

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ჯ. გრიგალაშვილი

ლექციების კონსპექტი
(ნაკრები)

თბილისი 2013

სარჩევი.	2
მართვის ავტომატიზირებული სისტემების თანხლება და დიაგნოსტიკა	
ლექცია 1. მართვის ავტომატიზირებული სისტემების საიმედოობა	3
ლექცია 2. ძირითადი ცნებები და განსაზღვრებები	5
ლექცია 3. მტყუნებათა კლასიფიკაცია	8
ლექცია 4. მას–ის საიმედოობის მაჩვენებლები.	10
ლექცია 5. მას–ის ტექნიკური დიაგნოსტიკა. აღგორითმი და მეთოდები. . . .	14
ლექცია 6. მას–ის პროგრამული საიმედოობის პრინციპები.	17
ლექცია 7. მას–ის დიაგნოსტიკა და პროგრამული საიმედოობა.	19
არამკაფიო სიმრავლეები მართვის სისტემებში	
ლექცია 1. Fuzzy Logic Toolbox არამკაფიო ლოგიკის პაკეტი MATLAB-ში	25
ლექცია 2. ზოგადი ცნებები	28
ლექცია 3. ოპერაციები არამკაფიო სიმრავლეებზე ლოგიკური ოპერაციები .33	
ლექცია 4. ალგებრული ოპერაციები	37
ლექცია 5. პროექტი დასაბუთება	39
ელექტრონიკა	
ლექცია 1. ისტორიული მიმოხილვა	46
ლექცია 2. ნახევარგამტარების ელექტროგამტარობა	59
ლექცია 3. P-n გადასვლები.	68
ლექცია 4. ბიპოლარული ტრანზისტორები	82
ლექცია 5. ველიანი ტრანზისტორები..	93
ლექცია 6. უკუ კავშირები.	103
ლექცია 7. ტრენინგ პროგრამები.	110
კომპიუტერების არქიტექტურა	
ლექცია 1. კომპიუტერული ტექნიკის განვითარების მიმოხილვა	117
ლექცია 2. კომპიუტერების კლასიფიკაციის მეთოდები.	122
ლექცია 3. კომპიუტერის ბლოკ-სქემა. ფონ ნეიმანის მოდელი.	124
ლექცია 4. მანქანების არქიტექტურის დონეები.	127
ლექცია. 5. პროცესორები	133
ლექცია. 6. მურის კანონი	140
ლექცია 7. პარალელიზმი პროცესორთა დონეზე	151

მართვის ავტომატიზირებული სისტემების (მას) თანხლება და დიაგნოსტიკა

ლექცია 1. მართვის ავტომატიზირებული სისტემების საიმედოობა

მართვის ავტომატიზირებული სისტემების (მას) საიმედოობისა და უსაფრთხოების ქვეშ იგულისხმება მისი დაცულობა შემთხვევითი ანდა წინასწარ განზრახული ჩარევისაგან, რაც გამოიხატება ინფორმაციის დატაცებასა და ცვლილებაში (პროგრამული საიმედოობა), ანდა აპარატურის ელემენტების მტყუნებებიდან გამომდინარე (აპარატურული საიმედოობა) მისი შრომისუნარიანობის დარღვევაში რის შედეგადაც შეიძლება დაირღვას მართვის ავტომატიზირებული სისტემების ფუნქციონირების ნორმალური პროცესი.

შეიძლება აგრეთვე ითქვას, რომ მას-ის ფუნქციონირების ეფექტიურობა მნიშვნელოვანწილად დამოკიდებულია როგორც სისტემის შემადგენლობაში მყოფი ცალკეული მოწყობილობების, ასევე იმ აპარატურისაგან საიმედოობისაგან, რომლებიც ამ მოწყობილობების ურთიერთკავშირს უზრუნველყოფს.

ძირითადი მიზეზები, რამაც განაპირობა საიმედოობის პრობლემების მიმართ მომეტებული ინტერესი, არიან: 1) აპარატურის რაოდენობის ზრდა და რთული მას-ის გამოჩენა, 2) მაკომპლექტებელი ელემენტების უფრო ნელი ზრდა, 3) აპარატურის მიერ შესასრულებელი ფუნქციების მნიშვნელობების ზრდა, 4) ექსპლუატაციის პირობების გართულება.

საიმედოობის საერთო თეორიის ქვეშ მოიაზრება სამეცნიერო დისციპლინა, რომელიც სწავლობს აპარატურის მტყუნებების წარმოშობისა და აღდგენის კანონზომიერებებს და იკვლევს ტექნიკური საშუალებების საიმედოობის გაზრდის სხვადასხვა ღონისძიებების ეფექტურობას.

საიმედოობის თეორია სწავლობს საიმედოობის კრიტერიუმებსა და რაოდენობრივ მახასიათებლებს, ელემენტებისა და სისტემების საიმედოობის ანალიზის მეთოდებს, ელემენტებისა და სისტემების სინთეზის მეთოდებს წინასწარ მოცემული საიმედოობით, ტექნიკური საშუალებების საიმედოობის გაზრდის მეთოდებს პროექტირებისა და ექსპლუატაციის ეტაპებზე, აპარატურის გამოცდის მეთოდებს საიმედოობაზე.

მას-ში გამოყენებული ელემენტები შეიძლება დაყოფილ იქნას *პირველად ელემენტებად*, (რადიოელემენტები, ძრავები და სხვ, და იმ

ელემენტებად (*მეორადი ელემენტები*), რომლებიც თვითონ შედგებიან პირველადი ელემენტებისაგან. *სისტემა* კი შედგება პირველადი და მეორადი ელემენტების ერთობლიობისაგან.

ჩვეულებრივად, პირველადი ელემენტების საიმედოობის მახასიათებლების დადგენას ახდენ ან ფიზიკური პროცესების ანალიზის, ან გამოცდები ჩატარებით, ანდა ექსპლუატაციის გამოცდილებიდან გამომდინარე. დანარჩენი ელემენტებისათვის, მათ რიცხვში სისტემებისათვისაც კი საიმედოობის მახასიათებლებს იგებენ ამ პირველადი ელემენტების საიმედოობიდან გამომდინარე გაანგარიშების მეთოდებით.

მას-ის ელემენტები და სისტემები შეიძლება იმყოფებოდნენ ორ მდგომარეობაში: შრომისუნარიანობის, ანდა შრომისუნარობის მდგომარეობაში. შრომისუნარიანობის ცნება ეს საიმედოობის თეორიის ერთერთი ძირითადი ცნებაა.

შრომისუნარიანობა – ეს სისტემის ან ელემენტის ის მდგომარეობაა, რომლის დროსაც მათ შეუძლიათ შეასრულონ მოცემული ფუნქციები, ამასთანავე ინარჩუნებენ მოცემული პარამეტრების მნიშვნელობებს ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტაციის მიერ დადგენილ საზღვრებში.

მტყუნება – ეს სისტემის ან ელემენტის შრომისუნარიანობის დარღვევაა.

შეშფოთება – კი არის სისტემის ან ელემენტის ის მდგომარეობა, რომლის დროსაც შიგა ან გარე რაიმე ზემოქმედების მიზეზებით ისინი დროებით წყვეტენ თავისი ფუნქციების შესრულებას. ამ შემთხვევაში აპარატურის სწორი მუშაობა აღდგება თვითნებურად, გარე ძალის ჩარევის გარეშე.

მაშასადამე *შეშფოთება* - ეს თვითმოშორებადი მტყუნებაა, რომელსაც მიყვავართ შრომისუნარიანობის მცირე ხნით დაკარგვასთან. ხოლო, თუ კი სისტემის შემადგენლობაში გამოყენებულია კომპიუტერი, მაშინ შეშფოთებამ შეიძლება გამოიწვიოს მასში არსებული მონაცემების ან მმართველი პროგრამული კოდის დამახინჯება, რასაც მიყვავართ სისტემის არასწორ ფუნქციონირებასთან. პრობლემის სირთულე მდგომარეობს იმაში, რომ შეშფოთება მოქმედებს მცირე ხნის განმავლობაში, და ინფორმაციის დამახინჯების ფაქტის დადგენა რთული საქმეა. მტყუნებათა წარმოშობის სპეციფიკის გათვალისწინებით შეიძლება ცალკე განიხილებოდეს საიმედოობის გაანგარიშების მეთოდები და საიმედოობის უზრუნველყოფის მეთოდები შეშფოთებების პირობებში.

მას-ის აპარატურული საიმედოობა განისაზღვრება ისეთი თვისებებით, როგორცაა “უმტყუნობა”, “თავშენახულობა”, “რემონტოვარგისიანობა” და “აღდგენითობა”.

მას-ის პროგრამული საიმედოობისა და უსაფრთხოების ქვეშ იგულისხმება მისი დაცულობა მის ნორმალურ ფუნქციონირებაში წინასწარგანზრახული ანდა შემთხვევითი ჩარევისაგან, რაც შეიძლება გამოიხატებოდეს ინფორმაციის დატაცებასა ან შეცვლასთან.

მას-ის ეკონომიური ეფექტურობა განისაზღვრება მისი აპარატურული და პროგრამული საიმედოობით.

საიმედოობის შემცირება იწვევს როგორც იძულებით გაჩერებებს ასევე ავარიულ სიტუაციებს. საიმედოობის გაზრდა ზრდის სისტემის ფასს და მისი ექსპლუატაციის ხარჯებს.

საიმედოობის ეკონომიურად მიზანშეწონილი დონე აირჩევა სტრუქტურით და ფუნქციებით მსგავსი ვარიანტების ერთმანეთთან შედარებით. (საიმედოობის ოპტიმიზაციის კრიტერიუმები).

ლექცია 2. ძირითადი ცნებები და განსაზღვრებები

მართვის ავტომატიზირებული სისტემები შეიცავს განსაზღვრული რაოდენობის კომპიუტერებს, სამრეწველო კონტროლერებს, ჩარხებისა და სამრეწველო რობოტების რიცხვული პროგრამული მართვის მოწყობილობებს, სატრანსპორტო საშუალებების მართვის საშუალებებს და სხვა ტექნოლოგიურ დანადგარებს, რომლებიც გაერთიანებულია ლოკალური გამოთვლითი ქსელების საშუალებით და უზრუნველყოფენ მართვის ინფორმაციის შეგროვებას, დამუშავებას, შენახვას და გადაცემას.

მართვის ავტომატიზირებული სისტემების საიმედოობისა და უსაფრთხოების ქვეშ იგულისხმება მისი დაცულობა თავისი ფუნქციონირების ნორმალურ პროცესში შემთხვევით ან წინასწარგანზრახული ჩარევისაგან, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს მისი შრომისუნარიანობის დარღვევა ანდა ინფორმაციის დატაცება და ცვლილება.

შემთხვევითი ჩარევის მაგალითებია:

- ავარიული სიტუაციები, რომლებიც გამოწვეულია სტიქიური უბედურებებით, ანდა ელექტროკვების გამორთვით;
- ელექტრული სქემების მტყუნებები ანდა შეშფოთებები;
- დაპროგრამირების შეცდომები;

- მომსახურე პერსონალის შეცდომები.

წინასწარგანზრახული ჩარევები – ეს ბოროტმგანმზრახველების მიზანმიმართული მოქმედებებია.

ინფორმაციის დატაცება დაკავშირებულია კონფიდენციალური ანდა საიდუმლო ინფორმაციის გახმაურებასთან.

ინფორმაციის ცვლილება ნიშნავს მის დამახინჯებას ანდა განადგურებას.

მართვის ავტომატიზირებული სისტემების შრომისუნარიანობის დარღვევა დამოკიდებულია მწარმოებლობის ან ფუნქციონალური შესაძლებლობების შემცირებასთან, ანდა მისი რომელიმე საინფორმაციო რესურსების გამოყენების ბლოკირებასთან.

სისტემის ტექნიკური საშუალებების საიმედოობა განისაზღვრება იმ თვისებებით, რომელიც განპიროვნებულია უმტყუნობის, შრომისუნარიანობის, - დიდხნოვანების ანდა თავშენახულობის ცნებებით.

უმტყუნობა – ეს სისტემის თვისებაა იძულებითი შეჩერებების გარეშე შეინარჩუნოს თავისი შრომისუნარიანობა დროის გარკვეული პერიოდის განმავლობაში, რომლის შეფასებაც ხდება ეგრეთწოდებული ნამუშევრობით და რაც ნიშნავს შესრულებული სამუშაოს ხანგრძლიობასა და მოცულობას პირველ მტყუნებამდე.

შრომისუნარიანობა – ნიშნავს სისტემის ისეთ მდგომარეობას, რომლის დროსაც ის ნორმალურად ასრულებს მასზედ დაკისრებულ ყველა იმ ფუნქციას, რაც გათვალისწინებულია ტექნიკური დოკუმენტაციის პარამეტრებით.

დიდხნოვანება – თვისებაა იყოს ექსპლუატაციაში დიდი ხნის განმავლობაში აუცილებელი ტექნიკური მომსახურებისა და რემონტის თანხლებით. სისტემის დიდხნოვანება იზომება მისი რესურსით (ნამუშევრობით ზღვრულ მდგომარეობამდე) და სამსახურის ვადით (ექსპლუატაციის კალენდარული ხანგრძლიობა ზღვრულ მდგომარეობამდე).

სისტემის ზღვრული მდგომარეობა განისაზღვრება მისი შემდგომი ექსპლუატაციის შეუძლებლობით, რაც შეიძლება სხვადასხვა მიზეზით იყოს გამოწვეული:

- წარმოიშვა მტყუნება, რის შედეგადაც აღდგენა შეუძლებელი ანდა არამიზანშეუწონელია;
- გამომდინარე უსაფრთხოებიდან;

- მისი შემდგომი ექსპლუატაციის ეკონომიური ეფექტიურობის დაბალი მაჩვენებელით.

რემონტოვარვისიანობა – ეს სისტემის მომარჯვებულობაა მტყუნებათა თავიდან აცდენის, აღმოჩენისა და ლიკვიდაციის მიმართ. რემონტოვარვისიანობა ხასიათდება იმ დროისა და საშუალებების ხარჯვით რაც საჭიროა მტყუნების შემდეგ სისტემის აღდგენისათვის და აგრეთვე სისტემის შენარჩუნებისათვის შრომისუნარიანობის მდგომარეობაში. ავტომატიზირებული სისტემები შეიძლება იყოს რემონტული და არარემონტული.

რემონტულ სისტემებს აქვთ სამსახურის ვადა (რესურსი), რომელიც განისაზღვრება სისტემის მუშაობის ეფექტიურობის შემცირებით და მისი შემდგომი ექსპლუატაციის მიზანშეწონილობით. არარემონტული არიან ისეთი სისტემები, რომელთა რემონტი შეუძლებელია, ანდა არ არის გათვალისწინებული ნორმატიულ-ტექნიკური, სარემონტო თუ საპროექტო დოკუმენტაციით.

თვითშენახვითობა - ეს სისტემის (და მისი შემადგენელი ელემენტების) თვისებაა, რომ შეინარჩუნოს თავისი პარამეტრები უცვლელად შენახვისა და ტრანსპორტირების გარკვეული ვადების განმავლობაში, გარკვეული გარემო პირობების ზემოქმედების პირობებში (ტემპერატურული რყევები, სინოტივის ზემოქმედება, ვიბრაციები და სხვ). ამ განმარტებებიდან გამომდინარე შემოგვა ეს საიმედოობის ზუსტი განსაძღვრა, რაც მდგომარეობს შემდეგში.

საიმედოობა - ეს სისტემის ან ელემენტების თვისებაა, შეასრულოს მოცემული ფუნქციები და ამასთანავე შეინარჩუნოს დროში დადგენილი საექსპლუატაციო მაჩვენებლები მოცემულ ზღვრებში, რაც შეესაბამება მოცემულ რეჟიმებსა და ექსპლუატაციის პირობებს, ტექნიკურ მომსახურებას, რემონტებს, სენახვას დას ტრანსპორტირებას.

გამომდინარე ყოველივე ზემოთქმულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ საიმედოობის ცნება არის ფუნდამენტალური ცნება, რომელიც მოიცავს ელემენტებისა და სისტემების ტექნიკური ექსპლუატაციის ყველა მხარეს. უპირველეს ყოვლისა საიმედოობა არის შემადგენელი ნაწილი უფრო ფართო გაგების როგორიცაა – ეფექტიურობა.

ეფექტიურობა – არის სისტემის ან ელემენტის თვისება შეასრულოს მოცემული ფუნქციები მოთხოვნილი ხარისხით. მასზე გარდა საიმედოობისა

გავლენას ახდენს აგრეთვე სიზუსტე ხელშეშლების მიმართ მდგრადობა და სხვ.

მას-ის ექსპლუატაციის პროცესში ასრულებენ მთელ რიგ სამუშაოებს, საიმედოობის გაზრდის მიმართულებით. ამ სამუშაოებს პროფილაქტიკური ეწოდებათ.

პროფილაქტიკური სამუშაოები – ეს აპარატურის გეგმური დათვალიერებისა და რემონტების სამუშაოებია, რომლის დანიშნულებაც საიმედოობის მოთხოვნილი მახასიათებლების უზრუნველყოფაა.

კითხვები თვითკონტროლისათვის

- 1. რა შედეგებამდე შეიძლება მიგვიყვანოს პროგრამული მას-ის პროგრამული პროდუქტის დატაცებამ, ცვლილებამ ანდა განადგურებამ?*
- 2. რით განსხვავდება მას-ის აპარატურული დარღვევები პროგრამულიდან და რა შეიძლება იყოს ამ დარღვევების შედეგი?*
- 3. რით განსხვავდება ერთმანეთისაგან მას-ის შემთხვევითი და წინასწარგანზრახული დარღვევები?*

ლექცია 3. მტყუნებათა კლასიფიკაცია

საიმედოობის თეორიის ერთერთი ძირითადი ცნებაა მტყუნების ცნება.

მტყუნება - არის ის მოვლენა რაც იწვევს სისტემის შრომისუნარიანობის ნაწილობრივ ანდა სრულ დაკარგვას.

მტყუნება შეიძლება დაკავშირებულ იქნას რაიმე დასახული ფუნქციის შესრულების დარღვევასთან (ფუნქციონირების მტყუნება), ან მომსახურე პერსონალის არასაკმარის კვალიფიკაციასთან, რის შედეგადაც სისტემა ვერ ასრულებს დასახულ ფუნქციებს დამაკმაყოფილებლად. მტყუნებები შეიძლება დაკავშირებული იყოს სისტემის პარამეტრების ანდა მახასიათებლების ცვლილებებთან, ანუ ერთერთი ძირითადი ფუნქცია სრულდება ცუდად (პარამეტრული მტყუნება).

მტყუნებების კლასიფიკაცია შეიძლება მათი ხასიათისა და თავისებურებების მიხედვით, აღმოცენების მომენტის მიხედვით და სხვ. შემდეგნაირად.

1. მტყუნების აღმოცენების მომენტამდე პარამეტრის ცვლილების ხასიათის მიხედვით ანსხვავებენ:
 - უცაბედ მტყუნებას;
 - თანდათანობით მტყუნებას.

2. სხვა მტყუნებებთან კავშირის მიხედვით:

- დამოუკიდებელი მტყუნება;
- დამოკიდებული მტყუნება.

3. მტყუნების აღმოცენების შემდეგ სისტემის გამოყენებადობის შესაძლებლობით:

- ნაწილობრივი მტყუნება;
- სრული მტყუნება.

4. მტყუნების აღმოფხვრის ხასიათით:

- მდგრადი მტყუნება;
- თვითმოცილებადი მტყუნება (შეშფოთება ანდა ურთიერთშენაცვლებითი მტყუნება).

5. გარე გამომჟღავნების არსებობით:

- თვალნათელი (ცხადი) მტყუნება;
- დამალული (არაცხადი) მტყუნება;

6. აღმოცენების მიზეზით:

- კონსტრუქციული მტყუნება;
- ტექნოლოგიური მტყუნება;
- ექსპლუატაციური მტყუნება.

7. წარმოშობის ბუნებით:

- ბუნებრივი მტყუნება;
- ხელოვნური მტყუნება.

8. აღმოცენების დროის მიხედვით:

- მტყუნება გამოცდებისას;
- მტყუნება საწყისი გაწყობითი მუშაობის პერიოდში;
- მტყუნება ნორმალური ექსპლუატაციის პერიოდში;
- მტყუნება ექსპლუატაციის პერიოდის შემდეგ.

კითხვები თვითკონტროლისათვის

1. რას ეწოდება მტყუნება ავტომატიზირებული მართვის სისტემებში?
2. რით განსხვავდება მტყუნება შეშფოთებისაგან?
3. რა პრინციპით კვალიფიციერდებიან მტყუნებები?

ლექცია 4. მართვის ავტომატიზირებული სისტემების საიმედოობის მაჩვენებლები

სისტემის ნორმალური ფუნქციონირების დარღვევა იწვევს მტყუნებას. მას – ის ფუნქციონირება ეს არის შრომისუნარიანობისა და მტყუნებების ინტერვალების ურთიერთმონაცვლეობა. ამ ინტერვალების ხანგრძლიობა შემთხვევითი სიდიდეა. ამიტომ მას – ის საიმედოობის მახასიათებლების აღწერისათვის გამოიყენება ალბათობის თეორიის, შემთხვევითი პროცესების თეორიის და მატემატიკური სტატისტიკის მათემატიკური აპარატი.

არსებობს ავტომატიკის სისტემების საიმედოობის მრავალრიცხოვანი მაჩვენებელი, რომელთაგან განვიხილავთ ზოგიერთ მათგანს.

უმტყუნობის მაჩვენებლები

რემონტული სისტემების საიმედოობის უმნიშვნელოვანესი მაჩვენებელია სიდიდე $P(T)$, რომელიც განსაზღვრავს იმის ალბათობას, რომ მტყუნებათა შორის ნამუშევრობა T_H გადააჭარბებს მოცემულ T დროს.

$$P(T) = P(T_H \geq T)$$

უმტყუნობის ერთერთი მაჩვენებელია სისტემის უმტყუნოდ მუშაობის ალბათობა $P(t)$, ანუ ალბათობა იმისა, რომ რაღაც t დროის (ნამუშევრობის) განმავლობაში არ იქნება არცერთი მტყუნება, და იგი კავშირშია მტყუნების ალბათობასთან $F(t)$ ანუ ალბათობასთან იმისა, რომ სისტემა, რომელიც შრომისუნარიანია დროის საწყის მომენტში, უმტყუნებს ერთჯერ მაინც მოცემული ნამუშევრობის განმავლობაში, და ეს კავშირი გამოიხატება მარტივი დამოკიდებულებით:

$$P(t) = 1 - F(t)$$

განაწილების ექსპონენციალური კანონისათვის (ეს განაწილება ყველაზე ხშირადაა გამოყენებული ავტომატიკის სისტემების საიმედოობის გამოკვლევებისათვის):

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_H}}$$

რემონტული სისტემების უმტყუნობის ძირითადი კრიტერიუმებია:

- ალბათობა იმისა, რომ მტყუნებათა შორის ნამუშევრობა $P(t)$ მეტი იქნება T -ს მოცემულ მნიშვნელობაზე;
- სისტემის მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრი (ანუ სისტემის მტყუნებების საშუალო რიცხვი დროის ერთეულში)

$$\lambda = \sum_{i=1}^r N_i \lambda_i$$

სადაც λ_i მტყუნებათა ინტენსიობაა;

- ნამუშევრობა მტყუნებაზე (სისტემას ორ თანმიმდევრულ მტყუნებათა შორის მუშაობის საშუალო ხანგრძლიობაა) $T_H = 1/\lambda$;
- გარანტირებული (გამა-პროცენტული) ნამუშევრობა მტყუნებამდე, ანუ იმის ალბათობა, რომ მოცემული ნამუშევრობის საზღვრებში სისტემის მტყუნება არ მოხდება.

რემონტოვარგისიანობის მაჩვენებლები

რემონტოვარგისიანობის მაჩვენებლებს განეკუთვნებიან:

- სისტემის აღდგენის ალბათობა $P(T_Z)$ მოცემული დროის T_Z განმავლობაში;
- აღდგენის საშუალო დრო P_B (რომელიც განსაზღვრავს მომსახურების მოცემულ პირობებში მტყუნების აღმოჩენასა და აღმოფხვრაზე დროის საშუალო კარგებს);
- აღდგენის გამა-პროცენტული დრო – ეს ის დროა, რომლის განმავლობაშიც სისტემის შრომისუნარიანობა პროცენტებში გამოსახული ალბათობით λ მთლიანად აღმოიფხვრება;
- მზადყოფნის კოეფიციენტი k_g - განსაზღვრავს იმის ალბათობას, რომ სისტემა წესრიგშია ნებისმიერი შემთხვევით აღებული დროის მომენტში, რომლებიც მდებარეობენ გეგმიური პროფილაქტიკური მომსახურების მონაკვეთებში და ფასდება მტყუნებაზე ნამუშევრობის დროის შეფარდებით მუშაობა-აღდგენის ციკლის საშუალო ხანგრძლიობაზე

$$k_g = \frac{T_H}{(T_H + T_H)}$$

ტექნიკური გამოყენების კოეფიციენტით k_{II} - რომელიც ფასდება მტყუნებაზე ნამუშევრობის დროის შეფარდებით მუშაობა-აღდგენა-პროფილაქტიკის ციკლის საშუალო ხანგრძლიობაზე

$$k_{II} = \frac{T_H}{(T_H + T_B + t_{pr})}$$

დიდხნოვანების მაჩვენებლები

სისტემის დიდხნოვანება ხასიათდება მისი რესურსით - იგი არის სისტემის მუშაობის საერთო დრო (ანდა მუშაობის მოცულობა) მუშაობის მთელი საერთო დროის განმავლობაში, იმ მომენტამდე როდესაც მისი შემდგომი ექსპლუატაცია შეუძლებელია ანდა ეკონომიურად არახელსაყრელია.

დიდხნოვანების ძირითადი მაჩვენებლებია:

- საშუალო რესურსი T_p - რესურსის მათემატიკური მოლოდინი;
- გამა-პროცენტული რესურსი - ჯამური ნამუშევრობა, რომლის დროსაც პროცენტებში გამოსახული λ ალბათობით სისტემა არ აღწევს თავის ზღვრულ მდგომარეობას;
- გამა-პროცენტული საერთო მუშაობა - ექსპლუატაციის კალენდარული ხანგრძლიობაა, რომლის დროსაც პროცენტებში გამოსახული λ ალბათობით სისტემა არ აღწევს თავის ზღვრულ მდგომარეობას.

თავშენახულობის მაჩვენებლები

თავშენახულობის მაჩვენებლები იძლევიან სისტემის (და მისი ელემენტების) შესაძლებლობების რაოდენობრივ მახასიათებლებს, რომლებიც უჩვენებენ, რომ შეინარჩუნონ თავისი ხარისხი მისი ტრანსპორტირებისა და შენახვის განმავლობაში. მისი ძირითადი მახასიათებლებია:

- თავშენახულობის საშუალო დრო (შენახვის ის საშუალო დრო, რომლის დროსაც სისტემის ანდა მისი ელემენტების პარამეტრების ცვლულება არ აჭარბებენ დასაშვებ სიდიდეებს);
- თავშენახულობის გარანტირებული (გამა-პროცენტული) შენახვის დრო, ანუ პროცენტებში გამოსახული λ ალბათობით მიღწეული თავშენახულობის დრო. ავტომატიკის სისტემების ნორმალური ფუნქციონირება დამოკიდებულია მისი შემადგენელი ელემენტების მოქმედებებზე, ანუ სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა დამოკიდებულია სისტემის ელემენტების უმტყუნო მუშაობის ალბათობებზე $P_i(t)$ და განისაზღვრება ფორმულით

$$P_i(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t)$$

სადაც N - ელემენტების რაოდენობაა.

მთელი სისტემის საიმედო მუშაობის უზრუნველყოფისთვის შემოტანილია სისტემის სიჭარბის ცნება.

განასხვავებენ სტრუქტურულ და ინფორმაციულ სიჭარბეს.

სტრუქტურული სიჭარბე განისაზღვრება სიგნალების გადაცემის დამატებითი არხებით (ერთერთი ელემენტის მტყუნებისას მის ფუნქციებს ასრულებს მეორე ელემენტი), რომელიც ნორმალური მუშაობის დროს არ გამოიყენება.

ინფორმაციული სიჭარბე განისაზღვრება სიგნალში დამატებითი ინფორმაციის არსებობით, რომელიც ყველა ელემენტის ნორმალური მუშაობის დროს არ გამოიყენება, და გამოიყენება მხოლოდ მტყუნების წარმოშობის დროს.

სიჭარბის შემოტანა ზრდის სისტემის საიმედოობას უმტყუნობის გაზრდის გზით.

რემონტოვარგისიანობის გაზრდა მიიღწევა უნიფიცირებული ბლოკური კონსტრუქციის გამოყენებით, აგრეთვე მტყუნებათა დიაგნოსტიკისა და ინდიკაციის გზით.

მართვის ავტომატიზირებული სისტემების საიმედოობა ძირითადად განისაზღვრება უმტყუნობისა და რემონტოვარგისიანობის თვისებების შეთანხმებით.

კითხვები თვითკონტროლისათვის

- 1. რას ეწოდება სისტემების შრომისუნარიანი მდგომარეობა?*
- 2. დაასახელეთ რემონტული სისტემების საიმედოობის ძირითადი მაჩვენებლები.*
- 3. რა იგულისხმება სისტემის სტრუქტურული და ინფორმაციული სიჭარბის ქვეშ?*

ლექცია 5. მას-ის ტექნიკური დიაგნოსტიკა. ალგორითმი და მეთოდები

მას-ის საიმედოობის უზრუნველყოფისა და შენარჩუნების ერთერთ უმნიშვნელოვანეს საშუალებას წარმოადგენს ტექნიკური დიაგნოსტიკა.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის ქვეშ იგულისხმება ცოდნის ის დარგი რომელიც ახორციელებს მას-ის რეჟიმებიდან ან მდგომარეობებიდან გადახრების აღმოჩენის მეთოდებისა და საშუალებების დამუშავებას, სისტემებში ან მის ელემენტებში დეფექტების აღმოჩენის და მათივე ლოკალიზაციის საშუალებების დამუშავებას.

დიაგნოსტიკების დროს უპირველესად ყოვლისა აუცილებელია დროის მოცემულ მომენტში სისტემის ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრა [7]. ეს იმას ნიშნავს, რომ საჭიროა შემოწმდეს სისტემის წესრიგში ყოფნა, და მისი შრომისუნარიანობა, ანდა მისი ფუნქციონირების სისწორე (გაირკვეს, არის თუ არა სისტემის პარამეტრები მოთხოვნილ საზღვრებში, სისტემამ ხომ არ განიცადა მტყუნება და სწორად ასრულებს თუ არა მასზე დაკისრებულ ფუნქციებს). თუ კი სისტემამ განიცადა მტყუნება მაშინ საჭიროა იმ დეფექტების აღმოჩენა, რაც არღვევს სისტემის მუშაობის სისწორეს, შრომისუნარიანობას, ანდა სწორ ფუნქციონირებას.

ამიტომ დიაგნოსტიკების ძირითადი მიზანი შეიძლება ჩამოყალიბდეს შემდეგნაირად: აუცილებელია სისტემის გამომავალი პარამეტრების შეფასება და მათი მოცემული მნიშვნელობებიდან გადახრის გამოვლენა. ამასთანავე საჭიროა მხედველობაში მიღებულ იქნას სასტემის მუშაობის რეჟიმების და მისი ექსპლოატაციის მთელი დიაპაზონი, და აგრეთვე გამომავალი პარამეტრების ცვლილებების შესაძლებლობები (ეგრეთ წოდებული პარამეტრული საიმედოობა).

განასხვავებენ ტესტურ და ფუნქციონალურ დიაგნოსტიკებს.

ტესური დიაგნოსტიკება საშუალებას გვაძლევს გავარკვიოთ სისტემის ტექნიკური მდგომარეობა მასზე ტესტური ზემოქმედების შედეგად. ამ შემთხვევაში ხდება სისტემისა და მისი ელემენტების პარამეტრების შემოწმება და მათი გადახრების მიზეზების დადგენა ტესტური ზემოქმედებების შედეგად.

ფუნქციონალური დიაგნოსტიკება შესაძლებლობას გვაძლევს გავარკვიოთ სისტემის ან მისი ელემენტების ტექნიკური მდგომარეობა მათზედ სამუშაო ზემოქმედებების შედეგად. სამუშაო ზემოქმედება აკონტროლებს სისტემის მიერ დაკისრებული ფუნქციების შესრულებას მოცემული პარამეტრებით და ავლენს მისი სწორი ფუნქციონირების დარღვევის მიზეზებს. ტესტური და ფუნქციონალური დიაგნოსტიკება სრულდება ეგრეთწოდებული დიაგნოსტიკების ალგორითმებით.

დიაგნოსტიკების ალგორითმი -
ეს საკონტროლებელ წერტილებში ელემენტარული შემოწმებებისა და იმ წესების ერთობლიობაა, რომლებიც ადგენენ მათი ჩატარების თანმიმდევრობას და აგრეთვე ამ შემოწმებების რეზულტატების ანალიზს, რის მიხედვითაც შესაძლებელია დადგინდეს სისტემა გამართულია ანდა სწორად

ფუნქციონირებს თუ გაუმართავ მდგომარეობაშია და დადგინდეს სისტემა ანდა მისი ელემენტები გაფუჭებულია თუ არა.

ტესტური დიაგნოსტიკების ალგორითმებში საკონტროლირებელი წერტილები დადგენილია წინასწარ, ისინი ერთიდაიგივეა ყველა შემოწმებისათვის და შეირჩევა მხოლოდ ტესტური ზემოქმედებები. რაც შეეხება ფუნქციონალური დიაგნოსტიკების ალგორითმებს წინასწარ გარკვეულია მხოლოდ შემაჯავლი ზემოქმედებები, საკონტროლირებელი წერტილები კი აუცილებელია შეირჩეს.

სხვადასხვა ელემენტარული შემოწმებების ჩატარებისას შეიძლება მოთხოვნილ იყოს სხვადასხვა დანახარჯები მათ რეალიზაციაზე. ამ შემოწმებებმა შეიძლება მოგვცეს სხვადასხვა ინფორმაცია სისტემის ტექნიკურ მდგომარეობაზე. ერთიდაიგივე ელემენტარული შემოწმებები შეიძლება რეალიზებულ იქნას სხვადასხვა თანმიმდევრობებით. ანუ დიაგნოსტიკების ერთი ამოცანის გადაწყვეტისთვისაც კი შეიძლება აკებულ იქნას რამდენიმე ალგორითმი. შესაბამისად დგება აუცილებლობა დიაგნოსტიკების ოპტიმალური ალგორითმების დამუშავებისა, რის დროსაც მათი რეალიზაციისათვის მოთხოვნილი დანახარჯები შემცირდებიან. (მინიმიზაციის ამოცანა ზოგიერთ შემთხვევებში შეიძლება ძალზედ გართულებული აღმოჩნდეს, მაგ. გამოთვლების სირთულით). დიაგნოსტიკების ეფექტურობა ფასდება დიაგნოსტიკების ალგორითმების და დიაგნოსტიკების საშუალებების ხარისხით.

დიაგნოსტიკების საშუალებები იყოფიან პირველ რიგში პროგრამულ და აპარატურულ საშუალებებად და აგრეთვე გარე (კონსტრუქციულად შესრულებულია სისტემიდან განცალკავებულად) და ჩაშენებულ (კონსტრუქციულად შესრულებულია, როგორც სისტემის შემადგენელი ნაწილი) საშუალებებად. ცნობილია აგრეთვე ხელის, ავტომატიზირებული და ავტომატური, სპეციალიზირებული და უნივერსალური დიაგნოსტიკების საშუალებები.

მას-ის დიაგნოსტიკების მეთოდები განისაზღვრება სხვადასხვა ფაქტორებით: დიაგნოსტიკების ობიექტების არჩევით (კვანძი, ბლოკი, ელემენტი და სხვ.). მოხმარებული დიაგნოსტიკური საშუალებებთან დამოკიდებული გამოყენებული დიაგნოსტიკური პარამეტრებით (დროული, ძალოვანი, ელექტრული, ვიბროაკუსტიკური და სხვ.).

დიაგნოსტიკებისას ძალზედ ფართოდაა გავრცელებული საკონტროლო ოსცილოგრამების მეთოდი. იგი დამყარებულია სხვადასხვა პარამეტრების დროის ფუნქციების გრაფიკების გამოყენებაში, რითაც ფასდება ცალკეული კვანძების, ბლოკებისა თუ მთელი სისტემის ტექნიკური მდგომარეობა და შრომისუნარიანობა [7].

საკონტროლო ოსცილოგრამების მეთოდის არსი მდგომარეობს შემდეგში. ადგენენ დიაგნოსტიკურ მოდელს, განსაზღვრავენ სხვადასხვა პარამეტრების დიაგნოსტიკურ ფასეულობას, აფასებენ დიაგნოსტიკებისათვის პარამეტრების გამოყენების შრომატევადობას, წინასწარ განსაზღვრავენ სადიაგნოსტიკო პარამეტრებს, ექსპერიმენტალურად განსაზღვრავენ პარამეტრების დეფექტების მიმართ მგრძობიარობას და მათ დიაგნოსტიკურ ფასეულობას, საკონტროლო ოსცილოგრამებისათვის ირჩევენ ძირითად დიაგნოსტიკურ პარამეტრებს, არკვევენ არჩეული პარამეტრების გარეგნულ სახესა და დამახასიათებელ ნიშანთვისებებს, ძირითადი პარამეტრების მრუდების ამპლიტუდურ მნიშვნელობებსა და დასაშვებ ზღვრებს, ადგენენ და ექსპერიმენტალურად ამოწმებენ საკონტროლო ოსცილოგრამებს, ავლენენ ურთიერთკავშირს მრუდების მახასიათებელ ნიშანთვისებებსა და დასაკვირებელი ობიექტების მდგომარეობებს შორის, აგროვებენ და შიფრავენ დეფექტებს, ადგენენ დიაგნოსტიკურ ბარათებსა და ინსტრუქციებს დიაგნოსტიკების შესრულებისათვის.

საკონტროლო ოსცილოგრამების მეთოდი შეიძლება რეალიზებულ იქნას როგორც დიაგნოსტიკური ხელსაწყოებით ასევე კომპიუტერის დახმარებით ავტონომიურ რეჟიმში. მეთოდი ხელსაყრელია გამოყენებულ იქნას აგრეთვე სპეციალიზირებულ საგამოცდო სტენდებზე მექანიზმებისა და კვანძების დამზადების ხარისხის შესამოწმებლად ექსპლუატაციის პირობებშიც.

დიაგნოსტიკების პროცესების ეფექტურობა უმეტესწილად განისაზღვრება სისტემის პროგრამული საშუალებებით.

კითხვები თვითკონტროლისათვის

- 1. რა შედეგს ტექნიკური დიაგნოსტიკის ცნებაში?*
- 2. დაასახელეთ დიაგნოსტიკების სახეები და მათი განმასხვავებელი ნიშნები.*

ლექცია 6. მას-ის პროგრამული საიმედოობის პრინციპები

საიმედო მას-ის შექმნის საჭიროება ითვალისწინებს კომპლექსური ღონისძიებების განხორციელებას, რაც მიმართული უნდა იყოს მის დაცვაზე მასზედ შემთხვევითი ან წინასწარგანზრახული ზემოქმედებისაგან, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს მართვის დაპროგრამირებული პროცესის დარღვევა.

ღონისძიებათა კომპლექსი შედგება:

- სამართლებრივი ნორმებისაგან;
- მორალურ-ეთიკური ნორმებისაგან;
- ადმინისტრაციულ-ორგანიზაციული ღონისძიებებისაგან;
- პროგრამულ-ტექნიკური საშუალებებისაგან.

1. სამართლებრივი ნორმები დაფუძნებულია კანონებზე, ბრძანებულებებზე, ნორმატიულ აქტებზე რომლებიც არეგულირებენ ინფორმაციასთან მოპყრობის წესებს და ადგენენ მათი დარღვევისთვის პასუხისმგებლობის ზომებს.

2. მორალურ-ეთიკური ნორმები განსაზღვრავენ მომსახურე პერსონალის მოქმედებას, რაც ტრადიციულად ჩამოყალიბებულ იქნა მოცემულ საზოგადოებაში.

3. ადმინისტრაციულ-ორგანიზაციული ღონისძიებები დაკავშირებულია მომსახურე პერსონალის შერჩევასა და მომზადებასთან, შეშვების რეჟიმთან, აღრიცხვის ორგანიზაციასთან, და დოკუმენტაციის (ინფორმაციის) გამოყენებასთან, აგრეთვე პერსონალის კონტროლის ორგანიზაციასთან, მოცემული ორგანიზაციისათვის პერსონალის გადაადგილების ფიზიკურ შეზღუდვასთან (კოდური გამღებები, ბლოკირებები და სხვ.).

4. პროგრამულ-ტექნიკური საშუალებები (პტს) დაკავშირებულია:

- ინფორმაციის დაშიფვრასთან;
- მას –ის მომხმარებელთა იდენტიფიკაციასთან (გამოცნობა) და აუტენტიფიკაციასთან (ნამდვილობის შემოწმება);
- ინფორმაციის ხელუხლებლობის კონტროლთან;
- მას –ში მომხდარი მოვლენების რეგისტრაციასა და ანალიზთან.

პერსონალური კომპიუტერების პირველ ოპერაციული სისტემებს (MS-DOS, Windows 3.1 ვერსიის ჩათვლით) არ გააჩნდათ თავიანთი საკუთარი თავის დაცვის საშუალებები. Windows NT და Windows 2000 ოპერაციულ სისტემებში კი უკვე გამოჩნდნენ ასეთი დაცვის პროგრამულ-ტექნიკური საშუალებები.

პროგრამულ-ტექნიკური საშუალებებს შეიძლება ჰქონდეთ დაცვის 5 დონე.

პირველი დონე. ამ დონეზე ოპერაციული სისტემა შესაძლებლობას აძლევს კომპიუტერის ინდივიდუალურ მომხმარებელს დაიცვას ინფორმაცია საკუთარი ტრადიციული დამხმარე პროგრამების (უტილიტების) გამოყენებით.

მეორე დონე. მას –ს აქვთ მომხმარებელთა მხოლოდ იდენტიფიკაციისა და აუტენტიფიკაციის სისტემები. ეს სისტემები ზღუდავენ მას –სთან დაშვებას შემთხვევითი ან უკანონო მომხმარებლებისაგან.

მესამე დონე. მას –ები უზრუნველყოფენ ინფორმაციის დაშიფვრას (ინფორმაციის დაშიფვრა დისკებზე). დაშიფვრა შეიძლება განხორციელებულ იქნას როგორც ფაილის დონეზე (არქ ტიპის არხივატორი), ასევე დისკის დონეზე (Discreet პროგრამა Norton Utilities პაკეტში).

მეოთხე დონე. მას –ები უზრუნველყოფენ კავშირების არხებში გადასაცემი ინფორმაციის დაშიფვრას. დაშიფვრა შეიძლება იყოს არხების მიხედვით (მთელი ინფორმაცია, სამომსახურო ინფორმაციის ჩათვლით) OSI სისტემის ბაზაზე (Open System Interconnection) და საბოლოო მხოლოდ კონფიდენციალური ინფორმაციის დაშიფვრისათვის (მაგრამ არა სამომსახუროსი).

მეხუთე დონე. მას –ები ახდენს როგორც ავტორის, ასევე თვით გადასაცემი ინფორმაციის აუტენტიფიკაციას (ტექსტის) სტანდარტიზირებული კოდის ანდა ელექტრონული ციფრული ხელმოწერის გამოყენებით.

კითხვები თვითკონტროლისათვის

- 1. რა განსხვავებაა საიედო მას-ის შექმნის სამართლებრივ და მორალურ-ეთიკური ნორმებს შორის.*
- 2. შეუძლიათ თუ არა ადმინისტრაციულ-საოპრგანიზაციო დონისძიებებს შეცვალოს საომედო მას-ის შექმნის პროგრამულ-ტექნიკური საშუალებები.*

**ლექცია 7 პერსონალური კომპიუტერების ბაზაზე
აგებული მართვის ავტომატიური სისტემების დიაგნოსტიკა და
პროგრამული საიმედოობა**

პერსონალურ კომპიუტერზე მუშაობის დროს და მისი გამოყენებისას ან როგორც მას-ის მმართველ მოწყობილობად, ან როგორც ინფორმაციის

გაცვლის მოწყობილობად ლოკალურ გამომთვლერლ ქსელში, ანდა საბოლოოდ, როგორც საიდუმლო ანდა კონფიდენციალური ინფორმაციის დროებითი (ან მუდმივი) დამახსოვრების მოწყობილობად აუცილებელია დაცულ იქნას მარტივი, მაგრამ მთელ რიგ შემთხვევებში საკმაოდ ეფექტური ღონისძიებები ინფორმაციის ანდა გამოყენებული პროგრამული უზრუნველყოფის დაცვისათვის.

ასეთ ღონისძიებებს შეიძლება მივაკუთნოთ:

1. კომპიუტერის მონიტორის დროებითი დაბლოკირება;
2. დრეკადი მაგნიტური დისკების გამოყენება ინფორმაციის დიდი ხნით შენახვისათვის;
3. ინფორმაციის რეზერვული კოპირება;
4. *სანაგვე ყუთის* და *მენიუ დოკუმენტის* გაწმენდა;
5. დისკების გაწმენდა თავიდან მოშორებული ფაილებისგან;
6. ინფორმაციის შენახულობის დიაგნოსტიკა;
7. ინფორმაციის დაცვა შემთხვევითი ცვლილებებისაგან;
8. ფაილებისა და პაკეტების გადამაღვა;
9. ინფორმაციის დაცვა პაროლით.

1. კომპიუტერის დროებით დატოვებისას თუ საჭიროა ინფორმაციის დაცვა არასასურველი, მაგრამ კომპიუტერულ ტექნოლოგიებში არც თუ ისე კარგად გათვითცნობიერებული პერსონებისაგან, არის შესაძლებლობა კომპიუტერის მონიტორის დროებითი ბლოკირებისა DOS-ის სრულეკრანულ რეჟიმში გადასვლის გზით. ამ რეჟიმში მონიტორის მთელი ეკრანი გამუქდება და დარჩება რამოდენიმე, არაფრის მოქმედი გამოუცდელი ადამიანისათვის, გამონათებული სიმბოლო.

DOS-ის ამ რეჟიმის გაშვებისათვის აუცილებელია გავიხსნათ **Start** მენიუ, ამოვირჩიოთ **Programs**, გაღებულ ფანჯარაში ავირჩიოთ **Seans MS DOS**. ეს გამოიწვევს მონიტორის მთელი ეკრანის გამუქებას.

რეჟიმიდან დაბრუნებისათვის აუცილებელია აკერიფოთ **EXIT (exit)** და დავაჭიროთ **Enter** კლავიშას.

თუ **Seans MS DOS** იხსნება სხვა ფანჯრებს ზევით პატარა ფანჯარაში, მაშინ აუცილებელია **DOS** მენიუს გამოძახებისათვის კლავიშთა კომბინაციის **ALT+Space** – ის დაჭერა, ავირჩიოთ იქ ბრძანება **Maximixe** და გავიმეოროთ **DOS** რეჟიმის გაშვება.

2. დრეკადი მაგნიტური დისკების გამოყენება ინფორმაციის დიდი ხნით შენახვისათვის შესაძლებლობას გვაძლევს ყოველთვის ხელთ გვქონდეს საიდუმლო ანდა კონფიდენციალური ინფორმაცია. ამისათვის კომპიუტერზე მუშაობის დამთავრების შემდეგ, აუცილებელია დავაკოპიროთ ინფორმაცია დრეკად მაგნიტურ დისკზე და აუცილებლად მოვაცილოთ კოპირებული ინფორმაცია კომპიუტერიდან.

ფაილის კოპირება დრეკად მაგნიტურ დისკზე:

- ჩავაყენოთ დისკეტა **A** დისკამპრავში;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარჯვენა კლავიშაზე **Start** ლილაკით;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით პუნქტზე **Explorer**;
- დავაწკაპუნოთ ორჯერ თავის მარცხენა კლავიშით საძიებელ პაპაკაზე;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარჯვენა კლავიშით დასაკოპირებელ ფაილზე;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით პუნქტზე **File**;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით პუნქტზე **Copy**;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით პუნქტზე **Floppy A**;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარჯვენა კლავიშით ფანჯრის თავისუფალ ადგილას:
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით პუნქტზე **Paste**

ფაილის მოშორება:

- დავაწკაპუნოთ თავის მარჯვენა კლავიშით ნიშანზე **My computer**;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით პუნქტზე **Explore**;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით საძიებელ დისკზე ფანჯარაში **Folders**;
- დავაწკაპუნოთ ორჯერ მარცხენა კლავიშით იმ ფოლდერზე სადაც არის საძიებო ფაილი;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარჯვენა კლავიშით იმ ფაილზე, რომელიც უნდა მოშორდეს;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით პუნქტზე **Delete**;
- უპასუხოთ კომპიუტერის შეკითხვას.

3. ინფორმაციის რეზერვული კოპირება ხორციელდება იმ შემთხვევებში როდესაც არსებობს პროგრამული უზრუნველყოფის ანდა დამუშავებაში მყოფი ფაილის წინასწარგანზრახული ანდა შემთხვევითი მოშორების ალბათობა, კომპიუტერში ვირუსის მოხვედრა ანდა სისტემის სრული შეშფოთების შესაძლებლობა.

ამ შემთხვევებში პროგრამული უზრუნველყოფის დაყენებისას აუცილებელია შეიქმნას საავარიო ან სისტემური დისკი. ამ დისკზე უნდა იყოს ის ინფორმაცია რაც საკმარისია, რომ ოპერაციულმა სისტემამ გაუშვას კომპიუტერი A დისკიდან, მასზედ უნდა იყოს აგრეთვე კომპიუტერის კონფიგურაციის ინფორმაცია. ეს დისკი უნდა ინახებოდეს უსაფრთხო ადგილას. სისტემურ დისკს არ შეუძლია ადადგინოს მონაცემთა ფაილები, რომლებიც იქმნებიან სხვადასხვა დანართების გამოყენებით როგორცაა ტექსტური პროცესორები, ელექტრონული ცხრილები, გრაფიკული რედაქტორები და სხვ. მას არ შეუძლია ადადგინოს ასევე ინფორმაციები, რომლებიც მიღებულია გარე წყაროებიდან.

არსებობს სარეზერვო კოპირების სპეციალური პროგრამები, რომლებიც გვაძლევენ მყარ დისკზე არსებული ინფორმაციის დრეკად დისკზე ინფორმაციის სწრაფი გადაწერის შესაძლებლობას. ამ სახის პროგრამებიდან ფართოდ გამოიყენება **Norton Backup** და **Fast Back Plus**.

4. **Windows**-ის სტანდარტული დაყენებების შესაბამისად კომპიუტერიდან მოშორებული ფაილები ფაქტიურად თავსდებიან ფოლდერში **Recycle Bin** (სანაგვე კალათა) და იმყოფებიან იქ მის სრულ გასუფთავებამდე. ეს საჭიროა იმიტომ, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში აუცილებელი ხდება შემთხვევით მოცილებული ფაილის აღდგენა. ამიტომ **Recycle Bin** ფოლდერში “მოშორებული” ფაილები შეიძლება არა მარტო გადავათვალიეროთ არამედ აღვადგინოთ კიდევ თავის ძველ ალაგას. შესაბამისად, ეს ფოლდერი საჭიროა პერიოდულად გაიწმინდოს იქ დაგროვებული “მოშორებული” ფაილებისგან, რადგან ისინი შეიძლება წარმოადგენდნენ გარკვეული წრის პიროვნებებისათვის განსაკუთრებულ ინტერესს. იგივე პრობლემა დგას ფაილების მოშორებისას მენიუსგან **Documents**.

ფაილის მოშორება სანაგვე კალათასაგან:

- დავაწკაპუნოთ ორჯერ თავის მარცხენა კლავიშით სანაგვე კალათის ფოლდერზე;

- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით იმ ფაილზე, რომელიც საჭიროა მოშორებულ იქნას;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით მენიუს სტრიქონში პუნქტ **File**-ზე ;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით მენიუს სტრიქონში პუნქტ **Delete**;
- უპასუხეთ კომპიუტერის შეკითხვას.

სანაგვე კალათის პერიოდული გაწმენდების ნაცვლად შეიძლება საერთოდ უარი ვთქვათ სანაგვე კალათის მომსახურებაზე თუ კი შესაბამისად ავაწყოთ მას.

სანაგვე კალათის აწყობა:

- დავაწკაპუნოთ თავის მარჯვენა კლავიშით ნიშანზე **Recycle Bin**;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით პუნქტზე **Properties**;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით ჩანართზე **Global**;
- დავაყენოთ გადამრთველი პუნქტზე **Use one setting for all drives**;
- დავაყენოთ მცოცარა **Maximum size of Recycle Bin** 10%-ზე;
- დავაყენოთ ალამი პუნქტზე **Display delete confirmation dialog**;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით **OK**.

თუ კი არ არის საჭირო სანაგვე ყუთის მომსახურება მაშინ დავაყენოთ გადამრთველი პუნქტზე **Do not move files tu the Recycle Bin. Remove files immediately when deleted**;

- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით **OK**.

მენიუსგან Documents მოშორებული ფაილების განადგურება

- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით ღილაკზე **Start**;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით პუნქტზე **Settings**;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით **Control Panel**;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით ფანჯარაში *Property* ჩანართში ნასტროიკა მენიუ;
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით ღილაკზე ოჩისტიტ
- დავაწკაპუნოთ თავის მარცხენა კლავიშით **OK**.

ამავე დროს აუცილებელია გვახსოვდეს, რომ ზემოთმითითებული ოპერაციების შესრულების შემდეგ მენიუ *Documents*-ში ნაღვურდება ყველა ფაილი.

5. დისკებში, რომლებშიც გამოიყენება ინფორმაციის შენახვისათვის, გამოიყენება მაგნიტური მასალები. ინფორმაცია ინახება დისკის ცალკეულ დამაგნიტებულ არეებში. დისკის ამ არეებს ეწოდება სექტორები. რამდენიმე სექტორი გაერთიანებულია კლასტერებში. სექტორები და კლასტერები წარმოქმნიან დისკის ბილიკებს. ფაილის ზომისა და განლაგების ადგილის შესახებ ინფორმაცია ფიქსირდება კატალოგების ბილიკებში. სრულებითაც არაა აცილებელი, რომ ერთი ფაილის ინფორმაცია განლაგებულ იქნას მომიჯნავე სექტორებში. ის შეიძლება მოთავსებულ იქნას დისკის ნებისმიერ ადგილას. როდესაც ფაილი, რომელიც ჩაწერილია დისკზე მოშორდება, ამ ფაილის მონაცემები მაინც რჩება დისკზე. ამ შემთხვევაში შორდება მხოლოდ ინფორმაცია ფაილის შესახებ კატალოგიდან. ფაილის მოშორების შემდეგ ის სექტორები რომლებშიც ისაა ჩაწერილი ხელმისაწვდომი ხდება ახლად შექმნილი ფაილებისთვის, რადგანაც კომპიუტერი აღიქვამს მათ როგორც თავისუფლებს. ახლად შექმნილი ფაილების მონაცემები გადაეწერება განადგურებული ფაილის მონაცემებს “ზემოდან” ძველი ინფორმაციის დამატებითი წაშლის გარეშე. ხოდა სწორედ ეს დროის მონაკვეთი ძველი ფაილის განადგურებიდან ახალი ფაილის ჩაწერამდე, რომლის მონაცემებიც შეიძლება იყოს ჩაწერილი მოშორებული ფაილის სექტორებში, შეიძლება გამოყენებულ იქნას უცხო პირების მიერ განადგურებული ფაილის აღდგენისათვის, რისთვისაც გამოიყენებენ სპეციალურ პროგრამა-უტილიტებს, მაგ. **Norton Unerase** [6].

განულებული ფაილის მონაცემების საბოლოო განადგურებისათვის გამოიყენებენ სპეციალურ პროგრამა-უტილიტებს, რომლებიც ავსებენ ამ სექტორებს, რომლებსაც ეს ფაილი იკავებდა ამ დისკზე ან ნულებით, ანდა შემთხვევითი რიცხვებით, ამასთან ამ ოპერაციებს ახორციელებენ რამდენჯერმე თანმიმდევრობით, სათანადო საიმედოობის უზრუნველსაყოფად. ასეთ უტილიტებს განეკუთვნებიან **McAfee Office 2000**, **Norton Utilities 2000** და **Quarterdesk Remove-It**.

6. ინფორმაციის შენახულობის დიაგნოსტიკა მდგომარეობს საიდუმლო ან კონფიდენციალური ინფორმაციის ფაილების მიმდენარე გამოყენების (გაღება) კონტროლში.

არამკაფიო სიმრავლეები მართვის სისტემებში

საკითხები

1. Fuzzy Logic Toolbox პაკეტის დანიშნულება და შესაძლებლობები;
2. არამკაფიო ინფორმაცია და ამოხსნები (დასკვნები);
3. არამკაფიო სიმრავლეები;
4. არამკაფიო ლოგიკის მიკუთვნების ფუნქციები;
5. ოპერაციები არამკაფიო სიმრავლეებზე;
6. ლოგიკური ოპერაციები;
7. ალგებრული ოპერაციები;
8. არამკაფიო ფარდობები;
9. ოპერაციები არამკაფიო ფარდობებზე;
10. ორი ფარდობის შეერთება;
11. ორი ფარდობის გადააკვეთა;
12. ორი ფარდობის ალგებრული გამრავლება;
13. ორი ფარდობის ალგებრული შეკრება;
14. ფარდობათა დამატება;
15. ჩვეულებრივი ფარდობა, უახლოესი არამკაფიოსთან;
16. კომპოზიცია (გადახვევა) ორი არამკაფიო ფარდობებისა;
17. (max-*)-კომპოზიცია;
18. არამკაფიო დასკვნები;
19. მამდანის ალგორითმი (Mamdani);
20. სუჯენოს ალგორითმი (Sugeno);
21. არამკაფიოებასთან დაყვანის მეთოდი;
22. გადაწყვეტილებათა მიღების სისტემის ეფექტურობა;
23. ჰიბრიდული ქსელები;
24. Fuzzy Logic Toolbox-ის გრაფიკული ინტერფეისი;
25. გრაფიკული ინტერფეისის შემადგენლობა;
26. არამკაფიო მათემატიკური სისტემის აგება;
27. ექსპერტული სისტემის აგება: რამდენი მივცეთ “ჩაისთვის”;
28. შედეგების ექსპორტი და იმპორტი;
29. მომხმარებლის მიკუთვნების ფუნქციის შექმნა;
30. ჰიბრიდული სისტემების გრაფიკული ინტერფეისი;
31. კლასტერიზაციის პროგრამის გრაფიკული ინტერფეისი;
32. Fuzzy Logic Toolbox-ისთან მუშაობა ბრძანებათა სტრიქონში;

33. ბრძანებათა სტრიქონში მუშაობის შესაძლებლობანი;
34. გრაფიკული ინტერფეისის პროგრამების გამოძახების ფუნქცია;
35. მიკუთვნების ფუნქციის დავალება;
36. არამკაფიო დასკვნის სისტემების ფუნქციები;
37. შექმნილი სისტემის შენახვის, გახსნის და გამოყენების ფუნქციები;
38. გრაფიკულ ფანჯრის გამოყენების ფუნქციები;
39. არამკაფიო სისტემების დასკვნის შექმნის, სტრუქტურის ნახვის და რედაქტირების ფუნქციები;
40. დამატებითი ფუნქციები;
41. ჰიბრიდული ქსელების შექმნისა და/ან სწავლების ფუნქციები ANFIS არქიტექტურით;
42. კლასტერიზაციის ფუნქცია;
43. FIS-სტრუქტურის გენერაციის ფუნქცია;
44. არამკაფიო დასკვნის სტრუქტურის გენერაციის ფუნქცია;
45. კლასტერების ცენტრის დაბრუნების ფუნქცია;
46. სერვისული ფუნქციები;
47. ინტერფეისის დიალოგიური ფანჯრების გამოძახების ფუნქცია;
48. Fuzzy Logic-ის მუშაობა Simulink-თან;
49. მაგალითი: ბაკში წყლის დონის კონტროლი;
50. არამკაფიო მოდელის გამოყენება Simulink-ის ბლოკების გამოყენებით;
51. Fuzzy Logic Toolbox-ის პაკეტის მუშაობის სადემონსტრაციო მაგალითები.

ლექცია 1. Fuzzy Logic Toolbox არამკაფიო ლოგიკის პაკეტი MATLAB-ში

Fuzzy Logic Toolbox პაკეტის დანიშნულება და შესაძლებლობები

არამკაფიო ლოგიკის პაკეტი – ეს გამოყენებითი პროგრამების პაკეტია, რომლებიც ეხება გაფანტულ ანუ არამკაფიო სიმრავლეებს და შესაძლებლობას იძლევა დავაპროექტოთ ეგრეთ წოდებული არამკაფიო ექსპერტული და/ან მმართველი სისტემები. პაკეტის ძირითადი შესაძლებლობებია:

- არამკაფიო დასკვნის სისტემების აგება (ექსპერტული სისტემების, რეგულატორების, დამოკიდებულებათა აპროქსიმატორების);

- ადაპტიური არამკაფიო სისტემების აგება (ჰიბრიდული ჰეირონული ქსელების);
- ინტერაქტიული დინამიური მოდელირება Simulink-ში.

პაკეტი შესაძლებლობას გვაძლევს ვიმუშაოთ:

- გრაფიკული ინტერფეისის რეჟიმში;
- ბრძანების სტრიქონის რეჟიმში;
- Simulink-ის პაკეტის ბლოკებისა და ხერხების გამოყენებით.

MATLAB 5.3.1 სისტემაში გამოიყენება ამ პაკეტის 2.0.1 ვერსია.

არამკაფიო ინფორმაცია და დასკვნები

ნამდვილად, ადამიანის ინტელექტის ყველაზე გასაოცარ თვისებად შეიძლება ჩაითვალოს სწორი გადაწყვეტილებების მიღების უნარი არასრული და არამკაფიო ინფორმაციის ვითარებაში. ადამიანის მიახლოებითი აზროვნების მოდელის აგება და მათი გამოყენება კომპიუტერული სისტემების მომავალ მოდელში წარმოადგენს დღეისათვის მეცნიერების ერთერთ უმნიშვნელოვანეს პრობლემას.

მნიშვნელოვან ნაბიჯი ამ მიმართულებით გადადგა კალიფორნიის უნივერსიტეტის პროფესორმა (ბერკლი) ლოტფი ა. ზადემ (Lotfi A. Zadeh). მისმა ნაშრომმა "Fuzzy Sets", რომელიც გამოქვეყნდა 1965 წ. ჟურნალში "Information and Control", №8, საფუძველი ჩაუყარა ადამიანის ინტელექტუალური საქმიანობის მოდელირებას და საწყისი ბიძგი მისცა ახალი მათემატიკური თეორიის განვითარებას.

ზადემ განავრცო სიმრავლის კლასიკური კანტორული ცნება, იმის დაშვებით, რომ მახასიათებელმა ფუნქციამ (სიმრავლის ელემენტის მიკუთვნების ფუნქციამ შეიძლება მიიღოს არა მხოლოდ 0-ის და 1-ის მნიშვნელობები, არამედ ნებისმიერი მნიშვნელობა $[0,1]$ ინტერვალში. ასეთ სიმრავლეებს დაარქვა მან სწორედ არამკაფიო (Fuzzy) სიმრავლეები. ლ. ზადემ შემოიღო აგრეთვე რამდენიმე ოპერაცია ამ არამკაფიო სიმრავლეებზე და შემოგვთავაზა უკვე ცნობილი ლოგიკური დასკვნის modus ponens და modus tollens მეთოდების განზოგადება.

შემოიღო რა შემდეგ **ლინგვისტიკური ცვლადის** ცნება და დაუშვა აგრეთვე ის, რომ მისი მნიშვნელობები (ტერმები) წარმოადგენენ არამკაფიო სიმრავლეებს, ზადემ შექმნა ინტელექტუალური საქმიანობის, მათ რიცხვში არამკაფიო და გაურკვეველი გამოთქმების, პროცესების აღწერის აპარატი.

ლ.ზადესა და მისი მიმდევრების შემდგომმა შრომებმა მყარი საფუძველი შეუქმნეს ახალ თეორიას და შექმნეს წინაპირობები არამკაფიო მართვის მეთოდების ფართო დანერგვისა საინჟინრო პრაქტიკაში.

უკვე 1990 წლისათვის ამ პრობლემატიკის ირგვლივ გამოქვეყნებული იყო 10000-ზე მეტი ნაშრომი, ხოლო მკვლევარების რიცხვმა მიაღწია 10 000, აქედან ა.შ.შ-ში, ევროპასა და სსრკ-ში 200-300 კაცს, დაახლოებით 1000 იაპონიაში, 2000-3000 ინდოეთში, და დაახლოებით 5000 ჩინეთში.

ამის შემდეგ დაიწყო დაიწყო არამკაფიო სიმრავლეებზე დამყარებული ახალი მოდელებისა მეთოდების გამოყენება მრეწველობაში. და მიუხედავად იმისა, რომ არამკაფიო მართვის სისტემების პირველი გამოყენება ევროპაში შედგა, უფრო ინტენსიურად მათი დანერგვა იაპონიაში ხდებოდა.

მათი გამოყენების სპექტრი ძალიან ფართოა: მეტროპოლიტენის მატარებლების გაჩერებისა და დაძვრის პროცესებსა, და სატვირთი ლიფტებისა და დომენური ღუმელის მართვისაგან დაწყებული დამთავრებული სარეცხი მანქანების, მტვერსასრუტების მაღალი სისწირის ღუმელების მუშაობის მოდელირებით დამთავრებული. ამასთანავე არამკაფიო სისტემები შესაძლებლობას გვაძლევენ ავამაღლოთ პროდუქციის ხარისხი რესურსო და ენერგო დანახარჯების შემცირების გზით და უზრუნველყოფენ უფრო მაღალ მდგრადობას ტრადიციულ ავტომატურ მართვის სისტემებთან შედარებით ხელისშემშლელი ფაქტორების ზემოქმედების მიმართ.

სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ ახალი მიდგომები შესაძლებლობას იძლევა გავაფართოოთ ავტომატიზაციის სისტემების გამოყენების სფერო კლასიკური თეორიის გამოყენებადობის მიღმა. საინტერესოა ლ. ზადეს აზრი ამ კუთხით: *”მე ვთვლი, რომ სიზუსტისაკენ მეტისმეტმა სწრაფვამ გამოიწვია ზემოქმედება, რამაც ნულამდე დაიყვანა მართვის თეორია და სისტემების თეორია, რადგანაც მას მივეყვართ იქიტკენ, რომ ამ კვლევები ამარეში მახვილდება მათზე და მხოლოდ მათ პრობლემებზე, რომლებიც ექვემდებარება ძუსტ ამოხსნებს. შედეგად მნიშვნელოვანი პრობლემების მრავალი კლასი, რომლებშიც მონაცემები, მიზნები და შეზღუდვები არიან ძალიან რთული ანდა ცუდად განსაზღვრულები მისთვის, რომ შესაძლებლობა იყოს ზუსტი მათემატიკური ანალიზი, რცებოდა და დარჩება გვერდზე იმ მიზეზით, რომ ისინი არ ექვემდებარებიან მათემატიკურ ტრაქტოვკას. იმისათვის, რომ ითქვას რაიმე მნიშვნელოვანი მსგავსი სახის პრობლემების შესახებ, ჩვენ უნდა უარი ვთქვათ ჩვენს მოთხოვნებზე სიზუსტის მიხედვით და*

დაუშვით ის შედეგები, რომლებიც არიან რამდენადმე არამკაფიონი ანდა გაურკვეველი”.

არამკაფიო სისტემების კვლევის ცენტრის წანაცვლებამ მათი პრაქტიკული გამოყენების მხარეს მიგვიყვანა მთელი რიგი პრობლემების დაყენებასთან, ისეთების, როგორცაა კომპიუტერების ახალი არქიტექტურა არამკაფიო გამოთვლებისთვის, არამკაფიო კომპიუტერების და კონტროლერების ელემენტური ბაზა, დამუშავების ინსტრუმენტალური საშუალებები, არამკაფიო მართვის სისტემების გაანგარიშებისა და დამუშავების ინჟინრული მეთოდები და მრავალი სხვა.

მკითხველებთან წარდგენილი სახელმძღვანელოს ძირითადი მიზანია-ბაკალავრების, მაგისტრანტების, დოქტორანტებისა და ახალგაზრდა მეცნიერ მუშაკების ყურადღების მიქცევა არამკაფიო პრობლემატიკაზე და მისცეს მათ საწყისი ცოდნა თანამედროვე მეცნიერების ერთერთ ყველაზე საინტერესო მიმართულებაში.

ლექცია 2. ზოგადი ცნებები

არამკაფიო სიმრავლების მათემატიკური თეორია შესაძლებლობას გვაძლევს აღვწეროთ არამკაფიო ცნებები და ცოდნები, შევასრულოთ ოპერაციები ამ ცოდნებზე და ჩამოვაყალიბოთ არამკაფიო დასკვნები. არამკაფიო მართვა განსაკუთრებით სასარგებლო აღმოჩნდა, როდესაც ტექნოლოგიური პროცესები ძალზედ რთულია საზოგადოდ მიღებული რაოდენობრივი მეთოდებით ანალიზისათვის, ანდა როდესაც ხელმისაწვდომი ინფორმაციის წყაროების ინტერპრეტაცია თვისობრივია, არაზუსტია, გაურკვეველია.

არამკაფიო ლოგიკა, რაზედაც დაფუძნებულია არამკაფიო მართვა, უფრო ახლოსაა ადამიანურ აზროვნებასთან და ბუნებრივ ენებთან, ვიდრე ტრადიციული ლოგიკური სისტემები. არამკაფიო ლოგიკა ძირითადად უზრუნველყოფს რეალური სამყაროს გაურკვეველობებისა და უზუსტობების ეფექტიური ასახვის საშუალებებს. საწყისი ინფორმაციის არამკაფიოების არეკვლის მათემატიკური საშუალებების არსებობა შესაძლებლობას გვაძლევს ავაგოთ მოდელი, რომელიც ადეკვატური იქნება რეალობასთან.

არამკაფიო სიმრავლებები

დაუშვით E – უნივერსალური სიმრავლეა, x - E -ს ელემენტია, ხოლო P – რაიმე თვისება. ჩვეულებრივი (მკაფიო) ქვესიმრავლე A უნივერსალური

სიმრავლისგან, რომლის ელემენტები აკმაყოფილებენ P თვისებას, განისაზღვრება როგორც მოწესრიგებული წყვილების სიმრავლე $A = \{\mu_A(x) / x\}$ სადაც $\mu_A(x)$ – მახასიათებელი ფუნქცია არომელიც იღებს მნიშვნელობას 1, თუ x აკმაყოფილებს P თვისებას, და 0 – წინააღმდეგ შემთხვევაში.

არამკაფიო ქვესიმრავლე განსხვავდება ჩვეულებრივისაგან იმით, რომ x ელემენტებისათვის E – დან არ არის ცალსახა პასუხი "და/არა" P თვისებასთან მიმართებაში. ამასთან დაკავშირებით A არამკაფიო ქვესიმრავლე E – უნივერსალური სიმრავლისაგან განისაზღვრება როგორც მოწესრიგებული წყვილების სიმრავლე მიკუთვნების მახასიათებელი ფუნქციით $\mu_A(x)$ (ან უბრალოდ *მიკუთვნების ფუნქციით*, (ინგლისურ ლიტერატურაში აღინიშნება აბრევიატურით **mf**), და რომელიც იღებს მნიშვნელობებს რაიმე სრულიად მოწესრიგებულ სიმრავლეში M (მაგ. $M = [0, 1]$).

მიკუთვნების ფუნქცია მიუთითებს იმას, თუ რა ხარისხით (ანდა დონით) არის დაკავშირებული x ელემენტი A სიმრავლეს. M სიმრავლეს უწოდებენ *მიკუთვნებათა სიმრავლეს*. თუ $M = [0, 1]$, მაშინ არამკაფიო ქვესიმრავლე შეიძლება განხილულ იქნას, როგორც ჩვეულებრივი მკაფიო სიმრავლე.

არამკაფიო სიმრავლის ჩაწერის მაგალითებია:

დაუშვათ $E = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$; $M = [0, 1]$; A კი არამკაფიო სიმრავლეა რომლისთვისაც:

$$\begin{aligned} \mu_A(x_1) &= 0,3; \\ \mu_A(x_2) &= 0; \\ \mu_A(x_3) &= 1; \\ \mu_A(x_4) &= 0,5; \\ \mu_A(x_5) &= 0,9. \end{aligned}$$

მაშინ A სიმრავლე შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც

$$A = \{0,3/x_1; 0/x_2; 1/x_3; 0,5/x_4; 0,9/x_5\}$$

ანდა,

როგორც

$$A = 0,3/x_1 + 0/x_2 + 1/x_3 + 0,5/x_4 + 0,9/x_5,$$

ანდა, როგორც

$$A = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \\ \hline 0,3 & 0 & 1 & 0,5 & 0,9 \\ \hline \end{array}$$

შენიშვნა: “+“ ნიშანი აღნიშნავს არა შეკრების, არამედ გაერთინების ოპერაციას.

არამკაფიო სიმრავლეების მაგალითები:

1. დაუშვათ $E = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$; $M = \{0, 1\}$. არამკაფიო სიმრავლე “რამდენიმე” შეიძლება განისაზღვროს შემდეგნაირად:

$$\text{“რამდენიმე”} = 0,5/3+0,8/4+1/5+1/6+0,8/7+0,5/8.$$

2. დაუშვათ $E = \{0, 1, 2, 3, \dots, n, \dots\}$; არამკაფიო სიმრავლე “მცირე” შეიძლება განისაზღვროს შემდეგნაირად:

$$\mu_{\text{“მცირე”}} = \frac{1}{n \left(1 + \left(\frac{n}{10} \right)^2 \right)}.$$

3. დაუშვათ $E = \{0, 1, 2, 3, \dots, 100\}$; და შეესაბამება ცნებას “ასაკი”, მაშინ არამკაფიო სიმრავლე “ახალგაზრდა” შესაძლოა განისაზღვროს გამოსახულებით

$$\mu_{\text{“ახალგაზრდა”}} = \begin{cases} 1, & x \in [1, 25], \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{x - 25}{5} \right)^2}, & x > 25. \end{cases}$$

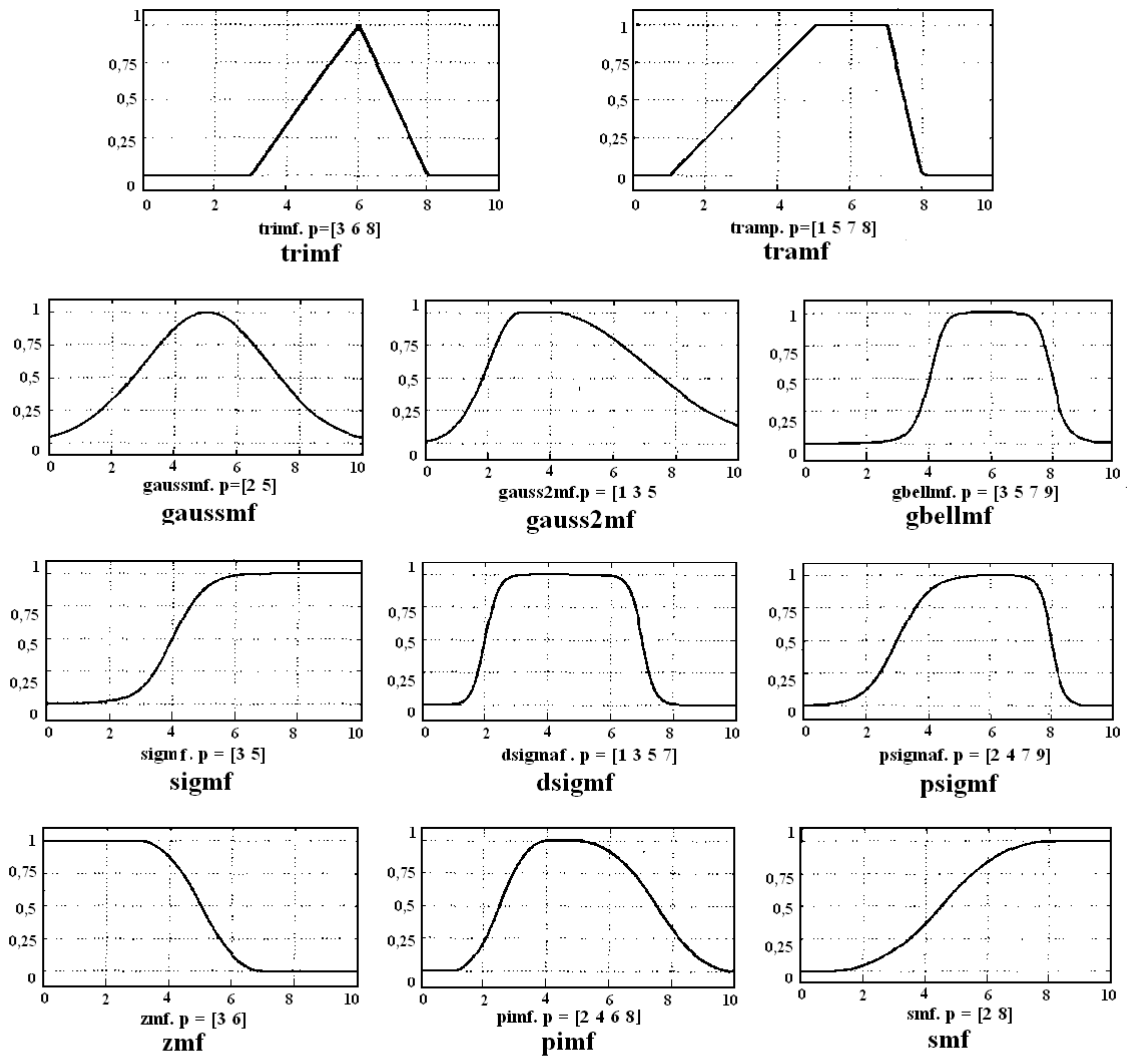
არამკაფიო ლოგიკის მიკუთვნების ფუნქცია

ზემოთ მოყვანილი მაგალითებისთვის გამოიყენება მიკუთვნების ფუნქციების დადგენის პირდაპირი მეთოდები, როდესაც ექსპერტი უბრალოდ მიაკუთვნებს $\mu_A(x)$ თვითოეული $x \in E$. ჩვეულებრივად, მიკუთვნების ფუნქციების დადგენის პირდაპირი მეთოდები გამოიყენება ისეთი ცნებებისათვის, რომელთა გაზომვაც შეიძლება: სიჩქარე, დრო, მანძილი, წნევა, ტემპერატურა და სხვ, ან როდესაც მოწოდებულია პოლიარული მნიშვნელობები.

პირდაპირი მეთოდების გამოიყენებისას გამოიყენება აგრეთვე ჯგუფური პირდაპირი მეთოდები, მაშინ, მაგალითად, როცა ექსპერტების ჯგუფს წარუდგენენ კონკრეტულ პიროვნებას და თვითოეულმა მათგანმა უნდა უპასუხოს ერთერთი პასუხი ორიდან, მაგ. "ეს კაცი მელოტი" ან "ეს კაცი არ არის მელოტი", - მაშინ დამადასტურებელი პასუხის განაყოფი ექსპერტების საერთო რიცხვზე გვაძლევს μ "მელოტი" -ის მნიშვნელობას წარდგენილი პიროვნებისათვის.

გარდა ზემოთ ნაჩვენები მიკუთვნებათა ფუნქციის მოცემის მეთოდებისა გამოიყენება აგრეთვე ტიპური ფორმები ფუნქციებისა, რომლებიც ქვემოთაა მოყვანილი. (ნახ. 1.1).

- სამკუთხოვანი (**trimf**)
- ტრაპეციული (**trapmf**)
- გაუსის (**gaussmf**)
- ორმაგი გაუსის (**gauss2mf**)
- განზოგადოებული ზარისმაგვარი (**gbellmf**)
- სიგმოიდური (**sigmf**)
- ორმაგი სიგმოიდური (**dsigmf**);
- ორი სიგმოიდური ფუნქციის ნამრავლი (**psigmf**);
- **Z**-ფუნქცია;
- **S**-ფუნქცია
- **Pi**-ფუნქცია



ნახ. 1.1. არამკავიო სიმრავლეების ტიპური მიკუთვნების ფუნქციები

მოყვანილი ფუნქციების კონკრეტული სახე განისაზღვრება მათ შესაბამის ანალიტიკურ გამოსახულებებში მოყვანილი პარამეტრების მნიშვნელობებით, მაგალითად:

$$\text{trimf}(x, a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right),$$

$$\text{trapmf}(x, a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{c-d}\right), 0\right),$$

$$\text{gaussmf}(x, \sigma, c) = e^{-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2},$$

$$\text{bellmf}(x, a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}},$$

$$\text{sigmf}(x, a, c) = \frac{1}{1 + \exp(-a(x - c))}$$

და სხვ.

ლექცია 3. ოპერაციები არამკაფიო სიმრავლეებზე ლოგიკური ოპერაციები

განვიხილოთ ძირითადი ლოგიკური ოპერაციები, რომლებიც შესაძლებელია არამკაფიო სიმრავლეებზე.

ჩართვა

დაუშვათ A და B – არამკაფიო სიმრავლეებია E უნივერსალურ სიმრავლეზე.

ამბობენ, რომ A არის B -ს შემადგენლობაში, თუ $\forall x \in E \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$.

აღინშევნა: $A \subset B$.

ზოგჯერ გამოიყენება ტერმინი “დომინირება”, ანუ, იმ შემთხვევაში როდესაც $A \subset B$, მაშინ ამბობენ, რომ B დომინირებს A -ზე.

ტოლობა

A და B – არამკაფიო სიმრავლეები ტოლია ერთმანეთის თუ $\forall x \in E \mu_A(x) = \mu_B(x)$.

აღინშევნა: $A = B$.

დამატება (შეესება)

ვთქვათ $M = [0,1]$, A და B – არამკაფიო სიმრავლეებია E უნივერსალურ სიმრავლეზე. A და B ავსებენ ერთმანეთს თუ $\forall x \in E \mu_A(x) + \mu_B(x) = 1$.

აღინშევნა: $B = \overline{A}$ ან $A = \overline{B}$

აქ ნათელია, რომ $\overline{\overline{A}} = A$ (დამატება განსაზღვრულია $M = [0,1]$ –ისთვის, მაგრამ ასევე ნათელია, რომ იგი შეიძლება განისაზღვროს ნებისმიერი მოწესრიგებული M - ისთვის).

გადაკვეთა

$A \cap B$ – ის უდიდესი არამკაფიო სიმრავლეა, რომელიც იმყოფება A –შიც და B –შიც.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)).$$

გაერთიანება

$A \cup B$ – ის უმცირესი არამკაფიო სიმრავლეა, რომელიც მოიცავს A –საც და B –საც.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)).$$

სხვაობა

$A - B = A \cap \bar{B}$ მიკუთვნების ფუნქციით:

$$\mu_{A-B}(x) = \mu_{A \cap \bar{B}}(x) = \min(\mu_A(x), 1 - \mu_B(x)).$$

დიზუნქციური ჯამი

$A \oplus B = (A - B) \cup (B - A) = (A \cap \bar{B}) \cup (\bar{A} \cap B)$ მიკუთვნების ფუნქციით:

$$\mu_{A \oplus B}(x) = \max\{\min\{\mu_A(x), 1 - \mu_B(x)\}; \min\{1 - \mu_A(x), \mu_B(x)\}\}$$

მაგალითები.

ვთქვათ:

$$A = 0,4/x_1 + 0,2/x_2 + 0/x_3 + 1/x_4;$$

$$B = 0,7/x_1 + 0,9/x_2 + 0,1/x_3 + 1/x_4;$$

$$C = 0,1/x_1 + 1/x_2 + 0,2/x_3 + 0,9/x_4$$

აქ:

$A \subset B$, ანუ A იმყოფება B -ში ან B დომინირებს A -ზე, C არ ედრება არც A -ს არც B -ს, ანუ $\{A, C\}$ და $\{B, C\}$ – წყვილები არიან არადომინირებული არამკაფიო სიმრავლეების წყვილები. $A \neq B \neq C$;

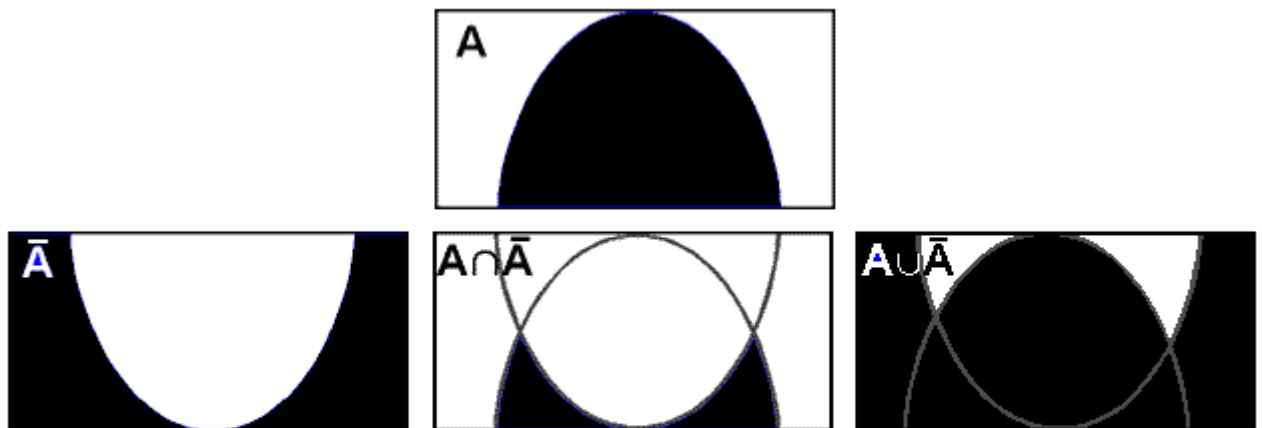
1. $\bar{A} = 0,6/x_1 + 0,8/x_2 + 1/x_3 + 0/x_4$;
2. $\bar{B} = 0,3/x_1 + 0,1/x_2 + 0,9/x_3 + 0/x_4$;
3. $A \cap B = 0,4/x_1 + 0,2/x_2 + 0/x_3 + 1/x_4$;
4. $A \cup B = 0,7/x_1 + 0,9/x_2 + 0,1/x_3 + 1/x_4$;
5. $A - B = A \cap \bar{B} = 0,3/x_1 + 0,1/x_2 + 0/x_3 + 0/x_4$;
6. $B - A = \bar{A} \cap B = 0,6/x_1 + 0,8/x_2 + 0,1/x_3 + 0/x_4$;
7. $A \oplus B = 0,6/x_1 + 0,8/x_2 + 0,1/x_3 + 0/x_4$.

არამკაფიო სიმრავლეებისათვის შეიძლება აგებულ იქნას ვიზუალური წარმოდგენა.

ამისათვის განვიხილოთ კოორდინატების სწორკუთხა სისტემა, რომლის ორდინატა ღერძზე გადაიზომება $\mu_A(x)$ - ის მნიშვნელობები, ხოლო აბსცისების ღერძზე ნებისმიერად განლაგებულია E ელემენტები. თუ კი E თავისი ბუნებით მოწესრიგებულია, მაშინ ეს მოწესრიგებულობა სასურველია შენარჩუნებულ იქნას აბსცისის ღერძზე ელემენტების განლაგებაში. ასეთი წარმოდგენები თვალსაჩინოს ხდის მარტივ ლოგიკურ ოპერაციებს არამკაფიო სიმრავლეებზე (ნახ. 1.2).

სურათის ზედა ნაწილში გაშავებული არე შეესაბამება არამკაფიო A სიმრავლეს, და თუ ზუსტად ვილაპარაკებთ ასახავს A -ს მნიშვნელობების არეს და აგრეთვე ყველა არამკაფიო სიმრავლეს, რომლებსაც A შეიცავს.

ნახაზის ქვედა ნაწილში ნახვენებია \bar{A} , $A \cap \bar{A}$, $A \cup \bar{A}$.



ნახ. 1.2. ლოგიკური ოპერაციების გრაფიკული ინტერპრეტაცია

უდაროპერაციების თვისებები

ვთქვათ A, B, C – არამკაფიო სიმრავლეებია, მაშინ ადგილი აქვს შემდეგ თვისებებს:

$$\left. \begin{aligned} A \cap B &= B \cap A \\ A \cup B &= B \cup A \end{aligned} \right\} - \text{კომუტატიურობას;}$$

$$\left. \begin{aligned} (A \cap B) \cap C &= A \cap (B \cap C) \\ (A \cup B) \cup C &= A \cup (B \cup C) \end{aligned} \right\} - \text{ასოციატურობას;}$$

$$\left. \begin{aligned} A \cap A &= A \\ A \cup A &= A \end{aligned} \right\} - \text{იდემპოტენტობას;}$$

$$\left. \begin{aligned} A \cap (B \cup C) &= (A \cap B) \cup (A \cap C) \\ A \cup (B \cap C) &= (A \cup B) \cap (A \cup C) \end{aligned} \right\} - \text{დისტრიბუტივობას;}$$

$A \cup \emptyset = A$, где \emptyset - ცარიელი სიმრავლეა, ანუ $\mu_{\emptyset}(x) = 0 \forall x \in E$;

$$A \cap \emptyset = \emptyset;$$

$A \cap E = A$, სადაც E – უნივერსალური სიმრავლეა;

$$A \cup E = E;$$

$$\left. \begin{aligned} \overline{A \cap B} &= \overline{A} \cup \overline{B} \\ \overline{A \cup B} &= \overline{A} \cap \overline{B} \end{aligned} \right\} - \text{დე მორგანის თეორემებია.}$$

მაგალითი სიმრავლეებისაგან განსხვავებით, არამკაფიო სიმრავლეებისათვის ზოგადად;

$$A \cap \overline{A} \neq \emptyset,$$

$$A \cup \overline{A} \neq E.$$

(რაც, კერძოდ ილუსტრირებულია ზემოთ არამკაფიო სიმრავლეების თვალსაჩინოთ ასახვის მაგალითზე).

შენიშვნა: ზემოთ მოყვანილი ოპერაციები არამკაფიო სიმრავლეებზე დამყარებულია **min** და **max** ოპერაციების გამოყენებაზე. არამკაფიო სიმრავლეების თეორიაში მუშავდება საკითხები განზოგადოებული, პარამეტრიზებული ოპერატორების გადაკვეთის, გაერთიანების და დამატების აგებისა, რომლებიც შესაძლებლობას იძლევიან მხედველობაში მიიღონ მრავალფეროვანი აზრობრივი განსხვავებები მათი შესაბამისი “და”, “ან”, “არა” კავშირებისა.

ერთერთი მიდგომა გადაკვეთისა და გაერთიანების ოპერატორების მიმართ არის მათი განსაზღვრა *სამკუთხოვანი ნორმებისა და კონორმების* კლასებში.

სამკუთხედური ნორმა (*t-ნორმა*) ეწოდება ორადგილიან ნამდვილ ფუნქციას $T: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, რომელიც აკმაყოფილებს შემდეგ პირობებს:

1. $T(0,0)=0$; $T(\mu_A, 1) = \mu_A$; $T(1, \mu_A) = \mu_A$ - შეზღუდულობას;
2. $T(\mu_A, \mu_B) \leq T(\mu_C, \mu_D)$ თუ $\mu_A \leq \mu_C$, $\mu_B \leq \mu_D$ - მონოტონურობას;

3. $T(\mu_A, \mu_B) = T(\mu_B, \mu_A)$ - კომუტატიურობას;
4. $T(\mu_A, T(\mu_B, \mu_C)) = T(T(\mu_A, \mu_B), \mu_C)$ - ასოციატიურობას.

სამკუთხედური ნორმების უმარტივესი შემთხვევებია:

$$\min(\mu_A, \mu_B) \quad \mu_A \cdot \mu_B$$

ნამრავლი

$$\max(0, \mu_A + \mu_B - 1).$$

სამკუთხედური კონორმა (t -კონორმა) ეწოდება ორადგილიან ნამდვილ ფუნქციას $\perp: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, შემდეგი თვისებებით:

1. $T(1,1) = 1$; $T(\mu_A, 0) = \mu_A$; $T(0, \mu_A) = \mu_A$ - შეზღუდულობას;
2. $T(\mu_A, \mu_B) \geq T(\mu_C, \mu_D)$, თუ $\mu_A \geq \mu_C$, $\mu_B \geq \mu_D$ - მონოტონურობას;
3. $T(\mu_A, \mu_B) = T(\mu_B, \mu_A)$ - კომუტატიურობას;
4. $T(\mu_A, T(\mu_B, \mu_C)) = T(T(\mu_A, \mu_B), \mu_C)$ - ასოციატიურობას.

t - კონორმის მაგალითებია:

$$\max(\mu_A, \mu_B) \quad \mu_A + \mu_B - \mu_A \cdot \mu_B$$

ნამრავლი

$$\min(1, \mu_A + \mu_B).$$

ლექცია 4. ალგებრული ოპერაციები

ახლა წარმოვადგინოთ ალგებრული ოპერაციები არამკაფიო სიმრავლეებზე.

ალგებრული გამრავლება A და B აღინიშნება ასე $A \cdot B$ და განისაზღვრება:

$$\forall x \in E \quad \mu_{A \cdot B}(x) = \mu_A(x) \mu_B(x).$$

ამ სიმრავლეებისა ალგებრული აჯამება აღინიშნება ასე $A+B$ და განისაზღვრება:

$$\forall x \in E \quad \mu_{A+B}(X) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \mu_B(x).$$

ალგებრული გამრავლების საფუძველზე განსაზღვრულია არამკაფიო A სიმრავლის აყვანა α ხარისხში, სადაც α - დადებითი რიცხვია. არამკაფიო სიმრავლე A^α განისაზღვრება მიკუთვნების ფუნქციით:

$$\mu_{A^\alpha}(x) = \mu_A^\alpha(x).$$

ხარისხში აყვანის კერძო შემთხვევებია:

- $CON(A) = A^2$ – კონცენტრირების ოპერაცია (შემჭიდროვება);
- $DIL(A) = A^{0.5}$ – გაწელების ოპერაცია.

ეს ოპერაციები გამოიყენება ლინგვისტიკურ გაურკვევლობებთან მუშაობის დროს.

არამკაფიო სიმრავლეების დეკარტის (პირდაპირი) გამრავლება. დაუშვათ:

A_1, A_2, \dots, A_n – არამკაფიო სიმრავლეებია E_1, E_2, \dots, E_n უნივერსალური სიმრავლეებისა შესაბამისად. დეკარტული ანუ პირდაპირი გამრავლება $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ არამკაფიო ქვესიმრავლეა $E = E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$ სიმრავლისა მიკუთვნების ფუნქციით

$$\mu_A(x_1, x_2, \dots, x_n) = \min\{\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2), \dots, \mu_{A_n}(x_n)\}.$$

არამკაფიო ფარდობები

ვთქვათ $E = E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$ – უნივერსალური სიმრავლეების პირდაპირი გამრავლებაა და M – მიკუთვნების რაიმე სიმრავლე (მაგალითად, $M = [0, 1]$).

ლექცია 12. პროექტი-დასაბუთება

სტუ -ში ინფორმატიკისა და კომპიუტერული ტექნოლოგიების ფაკულტეტზე, საინჟინრო კიბერნეტიკისა და ხელსაწყოთამშენებლობის დეპარტამენტში ხელოვნური ინტელექტის მიმართულებით ელექტრონული ინჟინერიის ლაბორატორიის შექმნის შესახებ.

Да, сегодня университет имеет безусловные преимущества в подготовке специалистов именно по этой специальности.

Обусловлено это наличием высококвалифицированных преподавателей и оснащенных по последнему слову техники лабораторий для - ученых инженеров – электронщиков. В чем же преимущества этой «новой» специальности?

Широчайшее поле возможности развития творческих способностей и трудоустройства, чего нет сегодня даже для экономистов. В этом и многом другом - конкурентные преимущества специальности.

აი ეს არის მცირე ამონარიდი, იმ პუბლიკაციიდან, რომელიც გაზეთ “Свободная Грузия“-ში გამოქვეყნდა 2008 წლის 31 ივლისს დიანა შერეშაშვილის მიერ და განთავსდა აგრეთვე ინტერნეტ საიტზე

<http://www.svobodnaya-gruzia.com/miscell/?p=9-10/06>

არადა ვის წინაშე მიაღწა ამ “преимущества“ –ს საქართველოს სახელმწიფო უნივერსიტეტმა? ვინ ჰყავთ მხედველობაში? საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი! დიახ, დიახ, მხოლოდ და მხოლოდ სტუ. აქ ლაპარაკი რომ იყოს წმინდა ფუნდამენტურ მიმართულებებზე როგორცაა მათემატიკა, ფიზიკა, ქიმია, ბიოლოგია, ფიზიოლოგია და სხვ. მაშინ გასაგები იქნებოდა მათი პათოსი, მაგრამ აქ ლაპარაკია წმინდა გამოყენებითი ხასიათის, საინჟინრო მიმართულების მეცნიერების, გამოყენებითი ელექტრონიკის შესახებ, რაც წესით და რიგით სტუ-ს პრეროგატივაა და ეს მეტად დამაფიქრებელი უნდა იყოს სტუ-ს და შესაბამისი ფაკულტეტების ადმინისტრაციისათვის.

მოგეხსენებათ დღეისათვის ელექტრონული ტექნოლოგიების ყველაზე მზარდ და დინამიურად განვითარებად მიმართულებას წარმოადგენს მიკროკონტროლერული სისტემები, რომლებიც უკვე გამოიყენებიან არა მარტო პროცესების კონტროლის, მართვისა და ინჟინრული მონიტორინგის, არამედ მონაცემთა მართვის, გადამუშავებისა და გადაცემის ამოცანების გადაწყვეტილებებში.

მათ შეხვდებით რეალური დროისა თუ ჩაშენებულ სისტემებში: სამხედრო, საინფორმაციო, სამზომ, სამედიცინო, საყოფაცხოვრებო, სათამაშო, საავტომობილო, სარკინიგზო, საავიაციო, სადარაჯო, ტექნოლოგიური პროცესების მართვის, ხელოვნური ინტელექტის, რობოტოტექნიკის,

მექატრონიკის, ქსელური აპარატურისა და კიდევ მრავალ სხვა ხელსაწყოებსა და მოწყობილობებში სამუშაოდ.

კოლოსალურია მიკროკონტროლერების ამჟამინდელი მსოფლიო წარმოების წლიური დონე ათამდე მილიარდი ცალი წელიწადში. შეიძლება ითქვას, რომ მიკროკონტროლერებით გაჯერებულია დღევანდელი ადამიანის ყოფიერება. ამის, დასამტკიცებლად ისიც კმარა თუ გავისხენებთ, რომ დღეისათვის ერთი საშუალო ამერიკელის ოჯახი აღჭურვილია ასამდე ასეთი მოწყობილობით.

მიკროკონტროლერების წარმოებაში ჩართულია ათობით ცნობილი ფირმა, რომლებიც უშვებენ ასობით სხვადასხვა დანიშნულებისა და შესაძლებლობების მქონე მიკროკონტროლერებს. ხოლო, მათი გამოყენება დამუშავებებში მოითხოვს არა მარტო დრმა ინჟინრულ ცოდნას კომპიუტერების არქიტექტურასა და სქემოტექნიკაში, არამედ დაპროგრამირების საფუძვლიან ცოდნას ასამბლერებისა და მაღალი დონის ენებზეც კი.

საკითხის მნიშვნელობიდან გამომდინარე მსოფლიოს თითქმის ყველა უმაღლეს ტექნიკურ სასწავლებლებში და სახელმწიფო უნივერსიტეტებშიც კი ბოლო წლებში იქმნებოდა მიკროკონტროლერული სისტემების შემსწავლელი სასწავლო-მეთოდური და საკონსულტაციო ცენტრები, ლაბორატორიები, ფასიანი თუ უფასო კურსები, რომლებიც უზრუნველყოფდნენ სათანადო სპეციალისტების, პროფესიული კადრებისა და პედაგოგების მომზადებასა და გადამზადებას ამ მიმართულებით.

დანართ-1-ში წარმოდგენილია მცირე ნაწილი უნივერსიტეტებისა მიკროკონტროლერების შემსწავლელი ზოგადი და სპეციალიზირებული კურსებით, ლაბორატორიებით და სასწავლო-საკონსულტაციო ცენტრებით. მათ შორისაა რუსეთსა და დსთ-ს სივრცის უნივერსიტეტებიც.

სამწუხაროდ საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ჯერ კიდევ ნაკლები ყურადღება ექცევა მიკროკონტროლერული სისტემების სწავლებას, ლაბორატორიების შექმნასა და მათ სათანადო აღჭურვას. ამ მხრივ საქართველოს სახელმწიფო უნივერსიტეტმაც კი გაგვისწრო, იხ. დანართი-2.

ფასდაუდებელია მიკროკონტროლერების როლი საინჟინრო მეცნიერებების განვითარების საქმეში. მიკროკონტროლერული სისტემების კვლევებსა დამუშავებებში გარდა უნივერსიტეტებისა ჩართულია აგრეთვე ათეულობით სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი, საპროექტო და

საკონსულტაციო ორგანიზაცია და დამოუკიდებელი ფირმა თავიანთი საწარმოო სიმძლავრეებით.

განსაკუთრებით ხელსაყრელია მათ ბაზაზე დაფუძნებული ინდუსტრიის განვითარება მცირე-საშუალო ბიზნისის, ისეთისა როგორც ჩვენი ქვეყანა, რადგან მათი გამოყენება არ მოითხოვს დიდ ფინანსურ დანახარჯებს და ეკონომიურად გამართლებულია. დღეისათვის უკვე არის ქვეყნები, რომელთა საბიუჯეტო შემოსავლების 80 პროცენტი მსგავსი ტექნოლოგიების ათვისებასა და რეალიზაციაზე მოდის.

უნდა აღინიშნოს, რომ მე მიკროკონტროლერული სისტემების კვლევებისა და დამუშავებების ლაბორატორიის შექმნის მიზნით არაერთხელ მივმართე ოფიციალურად სტუ-ს ადმინისტრაციის ხელმძღვანელობას, კერძოთ ბატონ რამაზ ხუროძეს - 2005 წელს, ბატონ არჩილ მოწონელიძეს - 2007 წელს, მაგრამ სამწუხაროდ საქმე წინ ვერ წავიდა. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ ბ-ნ რ. ხუროძის ბრძანებით (ბრძ. № 28 13.04.05წ), მაშინდელი №41 კათედრის გამგის პროფ. ზურაბ წვერაიძის წარდგინებით შეიქმნა მიკროკონტროლერული სისტემების შემსწავლელი “სასწავლო და საკონსულტაციო ცენტრი”, მაგრამ მაშინ შესაბამისი ფართის გამოხატვა ვერ მოხერხდა, ამას დაემთხვა უნივერსიტეტის რეფორმები და ეს საქმე შეფერხდა.

რაც შეეხება ჩემს გამოცდილებას მსგავს საქმიანობაში მოგახსენებთ, რომ 36 წელი ვიმუშავე ანალოგიურ სამეცნიერო მიმართულების მქონე ლაბორატორიაში, აქედან 6 წელი საინჟინრო თანამდებობებზე, 14 წელი სამეცნიერო თანამდებობებზე, ხოლო 16 წელი სამეცნიერო ლაბორატორიების გამგედ, აქედან ლოგიკური ანალიზისა და დიაგნოსტიკის ლაბორატორია, რომელიც მიკროპროცესორულ სისტემებზე იყო ორიენტირებული, შექმნილი იყო უშუალოდ ჩემი ინიციატივითა და საკავშირო ხელსაწყოთამშენებლობის სამინისტროს წარმომადგენლების ბატონების ივერი ფრანგიშვილისა და კეშეკის ხელშეწყობითა და თანადგომით.

ამ ხნის განმავლობაში მონაწილეობა მაქვს მიღებული მრავალ სამეცნიერო-კვლევით და საცდელ-საკონსტრუქტორო თემების დამუშავებაში, სერიულ წარმოებაში გაშვებასა და გაწყობის სამუშაოებში, მათ სამხედრო, სამრეწველო და საგანმანათლებლო ობიექტებზე დანერგვაში. ესენია ინფორმაციის მარეგისტრირებელი მოწყობილობები, სპეციალიზირებული და უნივერსალური გამოთვლელი მანქანები, ინფორმაციული კომპლექსები, ლოგიკური ანალიზატორები, სხვადასხვა პროცესების მართვის პულტები,

მეტალის მძებნელები. შეიძლება ითქვას, რომ ყოფილი საბჭოთა კავშირისა და სევ-ის ქვეყნების თბოელექტროსადგურების მძლავრი ენერგობლოკების 90% და ატომური ელექტროსადგურების 70% ჩემი მონაწილეობით შექმნილი ინფორმაციული კომპლექსებითაა აღჭურვილი. ხოლო, ჩემი საინციტივო საცდელ-საკონსტრუქტორო დამუშავება “ლოგიკური ანალიზატორი ლა-16”, საკავშირო ხელსაწყოთამშენებლობის სამინისტროს უმნიშვნელოვანეს სამუშაოთა გეგმაშიც კი იქნა ჩასმული, იწარმოებოდა სერიულად, იგი გამოფენილ იყო ყოფილი სსრ კავშირის თითქმის ყველა რესპუბლიკის ხელსაწყოთამშენებლობის სალონში, ბოლოს საკავშირო სახალხო მეურნეობის მიღწევათა გამოფენაზეც გაიგზავნა, სახელმწიფო პრემიაზეც უნდა წარდგენილიყო მაგრამ საბჭოთა კავშირის დაშლამ ყველაფერი ჩაფუშა.

ამ სამუშაოებისთვის მიღებული მაქვს საბჭოთა კავშირის წარჩინებული გამომგონებლისა (14 გამოგონება, აქედან ერთი მათგანი ღია ბეჭედაში გამოქვეყნების აკრძალვით) და ჩეხოსლოვაკიის წარჩინებული ენერგეტიკოსის წოდებები, გამოქვეყნებული მაქვს სტატიები, მოხსენებათა თეზისები, საინფორმაციო-სარეკლამო პროსპექტები. დაცული მაქვს დისერტაცია გრიფით “სამსახურებრივი გამოყენებისათვის”.

ჩემი დამუშავებები და გამოგონებები დანერგილი იყო აგრეთვე ჩვენი ქვეყნის, საქართველოს სამრეწველო და საგანმანათლებლო ობიექტებზე, კერძოდ: ხელსაწყოთამშენებლობაში, ჩარხმშენებლობაში, ელმაგალმშენებლობაში, სამხედრო მრეწველობაში, პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში, აგრეთვე სპეც. დანიშნულების ობიექტებზე.

ამჟამად ინტენსიურად ვმუშაობ მიკროკონტროლერული სისტემების კვლევებსა, დამუშავებებსა და გამოყენებებში. ბოლო ხუთი წლის განმავლობაში დამუშავებული და დანერგილი მაქვს სამი მოწყობილობა: “ადამიანის ფიზიკური რეაქციის გამზომი მოწყობილობა”, “ობიექტთა დაცვის მოწყობილობა” და “მეტალადმომჩენი”, მიღებული მაქვს საქართველოს ექვსი პატენტი, გამოქვეყნებული მაქვს ექვსი სამეცნიერო სტატია, გამოსული ვარ ოთხ საერთაშორისო კონფერენციაზე მოხსენებით და გამოქვეყნებული მაქვს შესაბამისი მასალები, გამოქვეყნებული მაქვს ერთი დამხმარე სახელმძღვანელო და ერთი მეთოდური მითითება, ხელმძღვანელობა მაქვს გაწეული ერთ წარმატებით დაცულ სამაგისტრო დისერტაციაზე, დამუშავებული მაქვს ორი საკონკურსო პროექტი საგრანტო

დაფინანსებისათვის, ერთი საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში, ერთი კი საქართველოს ეროვნულ სამეცნიერო ფონდში. იხ. დანართი 3.

როგორც ყოველივე ზემოთ აღნიშნულისაგან ჩანს, ვარ მოსული სტუ-ში დარგობრივი მეცნიერებიდან ინფორმაციული ტექნოლოგიების მიმართულებებით. მაქვს ცოდნა და გამოცდილება თანამედროვე ელექტრონული მოწყობილობების ლაბორატორიების შექმნაში და მის ბაზაზე მეცნიერულ დამუშავებებში, კვლევებში და დანერგვებში. მაქვს დიდი სურვილი, რომ ჩემი ეს ცოდნა და გამოცდილება გადავცე შესაბამისი სპეციალობის სტუდენტებს. მაქვს სურვილი ვასწავლო სტუდენტებს საგამომგონებლო საქმიანობა, რასაც ჩემი აზრით დიდი სახელმწიფო მნიშვნელობა აქვს. და ყოველივე ამისათვის გთხოვთ თანადგომასა და ხელშეწყობას სტუ-ს, შესაბამის სტრუქტურაში მიკროკონტროლერების შემსწავლელი სამეცნიერო ლაბორატორიის ჩამოყალიბების საქმეში.

უნდა აღინიშნოს აგრეთვე ერთი მეტად მნიშვნელოვანი გარემოება.

უკანასკნელ წლებში შეიმჩნევა მიკროკონტროლერების სულ უფრო ფართო გამოყენება ხელოვნური ინტელექტის ამოცანების გადასაწყვეტად. როგორცაა მაგ. სახეთა გამოცნობა, ხმის გამოცნობა, ნეირონული ქსელები და სხვ. ამ მიზნით შეირჩა და წარმატებით გამოიყენება შესაბამისი თეორიული ბაზაც, ეგრეთწოდებული არაკლასიკური ლოგიკა, კონკრეტულად არამკაფიო ლოგიკა (Fuzzy Logic) და გაუქმებადი ლოგიკა (Defeasible Logic), რაც ყველაზე უკეთესად შეესაბამება ხელოვნური ინტელექტის ამოცანებს. ქვემოთ მოყვანილია ის სამეცნიერო შრომები და გამოცემები, რომლებშიც განხილულია ეს ეგზოტიკური თეორიები და მათი გამოყენებები.

სამეცნიერო შრომები და სტატიები

1. B. Kosko// "Neural Networks and Fuzzy Systems--A Dynamic Systems Approach to Machine Intelligence"/ (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1992).
2. Michael A. Covington// Defeasible Logic on an Embedded Microcontroller /Proceedings, Tenth International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems (IEA-AI), 1999),
3. Ali Gulbag...// A neural network implemented microcontroller system for quantitative classification of hazardous organic gases in the ambient air, International Journal of Environment and Pollution, Volume 36, Number 1-3 / 2009
4. Mutlu Avcı... // GENERATION OF TANGENT HYPERBOLIC SIGMOID FUNCTION FOR MICROCONTROLLER BASED

5. David Drew ...// Autonomous Directional Rotary Artificial Intelligence Navigational System/

Cornell University, David Drew and Joanna Dai.mht

6. Brubaker, D.I.// Fuzzy-logic Basics: Intuitive Rules Replace Complex Math, / EDN, June 18, 1992.

7. Schwartz, D.G. and Klir, G.J.,// "Fuzzy Logic Flowers in Japan," IEEE Spectrum// July 1992.

8. Zadeh, L.A.// Fuzzy Sets// Information and Control, Vol. 8, pp. 338-353, 1965.

9. Zadeh, L.A., //Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes// IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-3, pp. 28-44, 1973.

10. Brubaker, D.I., //Fuzzy-logic Basics: Intuitive Rules Replace Complex Math,// EDN, June 18, 1992.

წიგნები

1. Bert van Dam //Artificial Intelligence// 2009//The book

2. Geoffrey I. Webb // AI 2004: //Advances in Artificial intelligence : 17th Australian Joint

3. George J. Klir, Bo Yuan// Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications

4. George J. Klir, et al // Fuzzy Set Theory: Foundations and Applications

5. N. M. Martin (Editor), L. C. Jain (Editor) //Fusion of Neural Networks, Fuzzy Systems and Genetic Algorithms: Industrial Applications

6. Guido J. Deboeck (Editor)//Trading on the Edge : Neural, Genetic, and Fuzzy Systems for Chaotic Financial Markets (Wiley Finance).

ამ არაკლასიკურ ლოგიკათა ზოგიერთი გამოყენებები მოიცავს:

- მართვას (რობოტოტექნიკას, ავტომატიკას, საყოფაცხოვრებო ელექტრონიკას);
- საინფორმაციო სისტემებს (მონაცემთა ბაზების მართვის სისტემებს, საინფორმაციის საძიებო სისტემებს);
- სახეთა გამოცნობას (გამოსახულებათა დამუშავება, მანქანური ხედვა);
- გადაწყვეტილებათა მხარდაჭერას (ადაპტიური სისტემები, სენსორული ანალიზი);

მოვიყვანოთ კიდევ ერთი ციტატა ზემოთაღნიშნული პუბლიკაციიდან.

“Специализация «электроника» обретает в Грузии второе дыхание. Расскажите об этом подробнее. Раньше такого рода специальность присутствовала в различных модификациях. И была представлена на разных кафедрах в том же ГПИ. А сегодня она получила новую реализацию в ТГУ. Электроника, это сплав научных достижений и современных технологий. Прежде всего, это умные электронные машины - они

снабжены «электронными мозгами», программами, созданными на основе сложнейших математических алгоритмов, миниатюрны и встроены в самые разнообразные объекты. От игрушек до сложных космических систем.”

აქ ავტორი კმაყოფილებით აღნიშნავს, რომ ადრე ეს სპეციალობა ფართოდ იყო წარმოდგენილი ГПИ -ში სხვადასხვა კათედრებზე, მაგრამ ახლა აქ, ჩვენთან ТГУ-ში მიიღო ახალი რეალიზაციაო.

მე ვფიქრობ, რომ ჩვენ, ანუ სტუ-მ უნდა დაიბრუნოს ძველი ავტორიტეტი ამ მიმართულებით. ამ მიზნით მიზანშეწონილად მიმაჩნია ელექტრონული ლაბორატორიის შექმნა ხელოვნური ინტელექტის მიმართულების (კათედრის) ბაზაზე, სადაც ჩემი აზრით დღეისათვის არის ყველაზე ფართო ასპარეზი თანამედროვე ელექტრონული ტექნოლოგიების გამოყენებისა იმ მეცნიერული კვლევებისა და რეზულტატების პრაქტიკული რეალიზაციების მიზნით, რაც მიღწეულია ამ კათედრის მეცნიერების მრავალწლიანი მოღვაწეობით, კათედრის გამგის ბატონ ოთარ ვერულავას ხელმძღვანელობით. დარწმუნებული ვარ, კათედრის მეცნიერების თეორიული კვლევების მრავალათეულწლიანი გამოცდილების - ხელოვნური ინტელექტის დარგში და ჩემი მრავალათეულწლიანი გამოცდილების - ელექტრონული მოწყობილობების დამუშავებების დარგში ერთობლივი გამოყენების შედეგად ხელოვნური ინტელექტის ელექტრონული ლაბორატორია წარმატებით შეასრულებს მასზე დაკისრებული ამოცანების გადაწყვეტილებებს, კერძოთ ჯერ ერთი ადგილით მაღალკვალიფიციურ სპეციალისტებს, მკვლევარ ექსპერიმენტატორებს მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვადასხვა დარგებში და მეორე, შევასრულებთ ჩვენი ქვეყნისა და საზოგადოებისათვის რეალურ პრაქტიკულ დამუშავებებს, რითაც ხელს შეუწყობთ სტუ-ს ფინანსური მდგომარეობის გაუმჯობესებას.

ლაბორატორია, ანალოგიურად მსგავსი საზღვარგარეთული სტრუქტურებისა, უნდა შედგებოდეს ცხრა სამუშაო ადგილისაგან, აქედან ერთი ხელმძღვანელისთვის ხოლო რვა კი სტუდენტებისთვის. თვითოეული ადგილი უნდა იყოს ადჰურვილი პენტიუმის კლასის კომპიუტერისაგან და სხვადასხვა ფირმების – ატმელის, მაიკროჩიპის, ზაილოგის, მოტოროლას (ერთი მაინც თვითოეული ადგილებისთვის) ინსტრუმენტალური საშუალებებისაგან. ლაბორატორიის შემადგენლობაში უნდა იყოს აგრეთვე ერთი 16 არხიანი ლოგიკური ანალიზატორი, ერთი ორარხიანი ოსცილოგრაფი, ერთი ერთარხიანი ოსცილოგრაფი, ერთი ლაბორატორიული

რეგულირებადი კვების წყარო, ცხრა 12 ვოლტიანი მცირე სიმძლავრის კვების წყარო, ერთი 12 ვოლტიანი დამტენი.

თვითოველ სამუშაო ადგილს უნდა გააჩნდეს აგრეთვე სხვადასხვა ფართობის მქონე ტექნოლოგიური ბეჭვლითი დაფები მაკეტების ასაწყობად, მიკროკონტროლების სხვადასხვა კომპლექტები, ელექტრონული ელემენტები (წინააღმდეგობები, კონდესატორები, დიოდები, ტრანზისტორები, შუქდიოდები, შვიდსეგმენტიანი ინდუქტორები და სხვ.), აგრეთვე შრომის საშუალებები (სარჩილავი, კალა, კანიფოლი, ფლუსი, პინცეტი, ლანცეტი, მკენეტარა).

ელექტრონიკა

ლექცია 1. ისტორიული მიმოხილვა

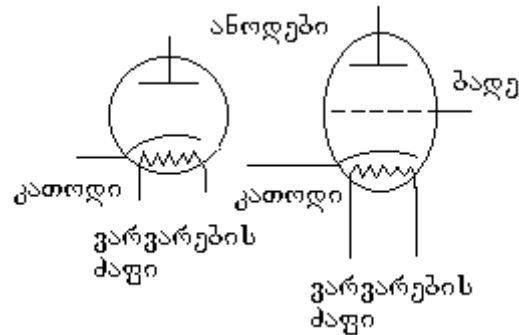
რა არის ელექტრონიკა?- ელექტრონიკა არის ინფორმაციის გადაცემა, მიღება, დამუშავება და შენახვა ელექტრული მუხტების დახმარებით. იგი არის მეცნიერებაც, ტექნიკური ხერხებიც, მრეწველობაც.

რაც შეეხება ინფორმაციას, იგი წარმოიშვა მას შემდეგ როცა წარმოიშვა კაცობრიობა. ადამიანის აზროვნება, მეტყველება, სასიგნალო კოცონები, სიმაფორული ტელეგრაფი თუ სხვ. – ეს ყველაფერი ინფორმაციის მიღება, გადაცემა, დამუშავება და შენახვაა. ეს ყველაფერი კი უკვე 5000 წელია არსებობს. მაგრამ მხოლოდ ახლახან, მე-18 საუკუნის ბოლოს იქნა გამოგონილი ტელეფონი და ტელეგრაფი, რომლებიც წარმოადგენენ ინფორმაციის გადაცემისა და მიღების მოწყობილობებს ელექტრული სიგნალების დახმარებით. მათი გამოგონებით დაიწყო ელექტრონიკის განვითარება, ანუ იმ ელექტრონიკისა როგორც მას დღეს უწოდებენ.

1895 წელს პოპოვმა გამოიგონა და ააწყო რადიოს მოქმედი მოდელი, რომელიც იყო ინფორმაციის უმავთულოდ გადაცემის ელექტრონული მოწყობილობა. ჰერცმა ჩაატარა ცდები რაქდიოტალღების გავრცელების შესახებ, მარკონიმ განავითარა და გამოიყენა ეს ცდები რადიოს ასაგებად, რომელსაც საშუალება ჰქონდა ამოერჩია გადამცემი რადიოსადგური გამოსხივების ტალღის სიგრძის მიხედვით.

მაგრამ დასაწყისში არ არსებობდა კარგი გამაძლიერებელი ელემენტი ელექტრული მოწყობილობებისათვის. ამიტომ ელექტრონიკის ნამდვილი განვითარება დაიწყო 1904 წლიდან, მას შემდეგ როდესაც გამოგონილ იქნა რადიომილაკი-დიოდი, 1907 წელს კი რადიომილაკი-ტრიოდი. მათი გამოსახულებები მოცემულია ნახ. 1-ზე. მარცხნივ გამოსახულია რადიომილაკი – დიოდი, რომელიც შედგება ჰერმეტიული ბალონისაგან, ხოლო ბალონის შიგნით ვაკუუმია და რამოდენიმე მეტალის კონსტრუქცია გარეთ გამოშავალი გამომყვანებით - ელექტროდებით. ერთი მათგანი ვარვარების ძაფია, რომელშიც დენის გატარებით ახორციელებენ მის გახურებას 700-2300°C. ეს ძაფი ახურებს კათოდს, რომელზედაც მიწოდებულია უარყოფითი ძაბვა და ამიტომ კათოდი გამოაფრქვევს ელექტრონებს. ანოდზე მიერთებულია დადებითი ძაბვა. მათ შორის (კათოდსა და ანოდს შორის) ძაბვათა სხვაობა საკმაოდ დიდია (100-300 ვ) და ამიტომ ის ელექტრონები

რომლებიც გამოიტყორცნებიან კათოდის მიერ მიიზიდებიან ანოდის მიერ და შესაბამისად მილაკში გაივლის დენი.



ნახ. 1

თუ კი ძაბვის პოლარობას შევცვლით, მაშინ ელექტრონები ცივი ანოდიდან არ ამოიტყორცნებიან, და ამიტომ დენი მილაკში არ გაივლის. აქედან ჩანს, რომ დიოდმა შეიძლება შეასრულოს ცვლადი დენის გამართვის ფუნქცია.

ნახაზის მარჯვნივ გამოსახულია რადიომილაკი – ტრიოდი. აქაც ყველაფერი ისეთივეა რაც დიოდში, მაგრამ აქ არის დამატებითი ელექტროდი – მმართველი ბადე. ჩვეულებრივ ბადეზე მოდებენ უარყოფით პოტენციალს, რაც ხელს უშლის (განიზიდავს) კათოდიდან ამოფრქვეულ ელექტრონებს. შესაბამისად რაც უფრო მეტია ბადის უარყოფითი პოტენციალი, მით უფრო მცირე ელექტრონები გაძვრებიან კათოდიდან ანოდისაკენ. ამგვარად ბადის პოტენციალი გამოიყენება რადიომილაკში დენის სამართავად. ჩვეულებრივად მილაკში ბადე კათოდთან უფრო ახლოსაა განლაგებული ვიდრე ანოდთან, ამიტომ ბადის მცირე პოტენციალების ცვლილებით შეიძლება მილაკის დიდი დენების მართვა. თუ ანოდზე ძაბვა დიდი წინააღობის გავლით მიეწოდება, მაშინ ანოდზე პოტენციალი უფრო დიდად შეიცვლება ვიდრე ბადეზე. მაშასადამე ეს მოწყობილობა გამოდის ძაბვის კარგი გამაძლიერებელი.

რადიომილაკებმა განვითარების ძალზედ დიდი გზა გაიარეს. გამოჩნდნენ, უფრო სრულყოფილი ტეტროდები და პენტოდები, ანუ მილაკები ოთხი და ხუთი ელექტროდებით, რომლებსაც ჰქონდათ უფრო დიდი გაძლიერების კოეფიციენტები. შემდეგ დაიწყო უფრო რთული რადიომილაკების შექმნა ხუთზე მეტი ელექტროდებით: მათგან ყველაზე მეტი გავრცელება ჰქონდათ გაორმაგებულ დიოდებს, ტრიოდებს, დიოდ-ტრიოდებს და სხვ. გასმოჩნდნენ გაზით შევსებული მილაკები - გაზოტრონები. მათში

მოთავსებული იყო გაზი დიდი წნევის ქვეშ. ჩვეულებრივ ეს გაზი იონიზირდება, ანუ წარმოიქმნება იონები - ანუ ატომები ელექტრონების გარეშე, რომელთაც ჰქონდათ დადებითი მუხტი. ასეთ მილაკებში დენის გავლა უფრო რთულია, რადგან იგი შეიძლება იყოს როგორც ელექტრონული ასევე იონური. მილაკების ზომები კი იყო ძალზედ განსხვავებული ერთმანეთისაგან: დაწყებული თითისსიმსხო მინიატურულიდან დამთავრებული უზარმაზარ ადამიანის სიმაღლემდე.

ტრიოდის გამოგონებამ დიდი როლი ითამაშა ელექტრონიკის განვითარებაში. მეორე მსოფლიო ომისთვის რადიომილაკების მსოფლიო წლიურმა წარმოებამ რამდენიმე მილიონს გადააჭარბა. გამოგონილ იქნა და შეიქმნა ინფორმაციის გადაცემისა და მიღების მრავალი მოწყობილობა. მაგ. ტელეფონი და ტელეგრაფი, რადიომიმღები და რადიოგადამცემი. პატენონების მაგივრად გამოჩნდნენ ფირფიტების ელექტრონული დამკვრელები, მაგნიტოფონები. დაიწყო სატელევიზიო ტექნიკის განვითარებაც.

მაგრამ ყველაფერი ეს ჯერ კიდევ ნაწილია ელექტრონიკის ამოცანებისა. სად არის ინფორმაციის დამუშავება, ელექტრონიკის ყველაზე რთული, მნიშვნელოვანი და საინტერესო ფუნქცია. ნათელია, რომ ეს ამოცანა შეიძლება წარმატებით გადაწყვიტოს მხოლოდ გამომთვლელმა მოწყობილობამ.

მეორე მსოფლიო ომის დასაწყისისთვის უკვე გამოჩნდნენ ელექტრონული არითმომეტრები, ინფორმაციის ციფრული დამუშავებლები. მაგრამ ელექტრონიკის ამ სფეროს ნამდვილი განვითარება დაიწყო ელექტრონული გამომთვლელი მანქანების (ეგმ) გამოჩენისთანავე. ეს ამბავი მოხდა 1948 წელს, როდესაც ამერიკის შეერთებულ შტატებში შეიქმნა პირველი ეგმ-ი რადიომილაკებზე, რომლის სახელწოდებაც იყო ენიაკ-ი. ქვემოთ მოყვანილია ამ ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის ზოგიერთი პარამეტრი:

რადიომილაკების რაოდენობა	18000 ცალი
სხვა ელემენტების რაოდენობა	100 000 ცალი
წონა	30 ტონა
ფართი	100 მ. კვადრატი

გაფანტული სიმძლავრე	100 კვტ
სწრაფქმედება	10 000 ჰც

როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს ეგმ-ი იყო გრანდიოზული ნაგებობა. მაგრამ მას ჰქონდა თანამედროვე გამომთვლელი მანქანის ყველა ნიშანი. მახსოვრობა, რომელიც შეიცავდა მონაცემებს და მათი დამუშავების პროგრამას, არითმეტიკულ - ლოგიკური მოწყობილობა, გარე მოწყობილობებთან კავშირი. მაგრამ, რა თქმა უნდა მას ჰქონდა აგრეთვე ბევრი ხარვეზიც. ტექნიკის დღევანდელ დონეს თუ შევადარებთ ეს ეგმ-ი უფრო ნაკლებად რთულია ვიდრე თანამედროვე კალკულიატორი, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში თუ ეს კალკულიატორი პროგრამირებადია, მაგრამ წონის მიხედვით (30 ტონა 50 გრამთან შედარებით), დაკავებული ფართის, გაფანტული სიმძლავრის მიხედვით თანამედროვე კალკულიატორებს მნიშვნელოვნად უფრო უკეთესი მაჩვენებლები გააჩნიათ. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ის, რომ მათი სწრაფქმედება გაცილებით მეტია 1 მმ²-ზე, ანუ ასჯერ უფრო დიდია ვიდრე პირველი ეგმ - ის.

მაგრამ, კიდევ უფრო მნიშვნელოვანია პირველი ეგმ-ის მუშაობის ხანგრძლიობა, რომელიც ძირითადად დამოკიდებულია რადიომილაკის მუშაობის ხანგრძლიობაზე. ეს პარამეტრი კი განისაზღვრება მტყუნებათა (ანუ მათი მწყობრიდან გამოსვლათა, გაფუჭებათა) ინტენსივობით, რომელიც ტოლია

$$\lambda = 10^{-5} \text{ ს}^{-1}$$

ეს ნიშნავს იმას, რომ 100 000 რადიომილაკიდან ერთი ცალი მაინც მწყობრიდან გამოვა 1 საათის განმავლობაში. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ერთი რადიომილაკის მუშაობის ხანგრძლიობა ტოლია

$$T = 1/\lambda = 10^5 \text{ ს}$$

ეს საკმაოდ დიდი ციფრია. მართლაცდა, თუ ჩავთვლით, რომ დღევანდელმა მაგალითად 25 საათია, მაშინ იგი 4 000 დღის ტოლია, ანუ დაახლოებით 12 წლის განმავლობაში იმუშაებს მწყობრიდან გამოუსვლელად. ეს თავისთავად ცუდი არაა თუ ერთდროულად მხოლოდ 5-10 რადიომილაკი მუშაობს, მაგრამ თუ კი ერთდროულად 18 000 რადიომილაკი მუშაობს მაშინ სიტუაცია მკვეთრად იცვლება. ყველა რადიომილაკი მუშაობს 12 წლის განმავლობაში, მაგრამ ისინი მწყობრიდან გამოდიან შემთხვევით, დროის ნაბისმიერ მომენტში. ერთი რადიომილაკის მწყობრიდან გამოსვლითაც კი

მწყობრიდან გამოდის მთელი მოწყობილობა. ამ შემთხვევაში მთელი მოწყობილობისათვის შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$\lambda_{საერ} = N * \lambda = 18\ 000 * 10^{-5} = 0,18\text{ ს}^{-1}$$

ხოლო მთელი მოწყობილობის მუშაობის ხანგრძლიობა ტოლი იქნება

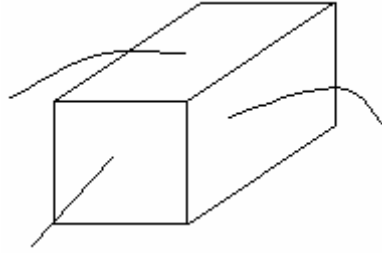
$$T_{საერ} = 5\text{ ს}$$

გამოდის, რომ ენიაკ-ის მუშაობის ხანგრძლიობა სულ 5 საათი ყოფილა! საშუალოდ ყოველ 5 საათში რომელიღაც რადიომილაკი შეიძლება გამოვიდეს მწყობრიდან. მოიძებნოს 18 000 რადიომილაკიდან ერთი გაფუჭებული რადიომილაკი არც თუ იოლი საქმეა. მას შემდეგ კი როდესაც იგი ნაპოვნია საჭიროა მისი შეცვლა და შემდეგ კი ეგმ-ის შემოწმება შრომისუნარიანობაზე. ყველაფერ ამას დასჭირდება კიდევ დაახლოებით 5 ს.

მაგრამ საჭირო იყო უფრო რთული ეგმ-ის შექმნა. თუ კი მას გავართულებდით ისეთნაირად, რომ გავზრდიდით რადიომილაკების რაოდენობას ვთქვათ 10-ჯერ, ამ შემთხვევაში მუშაობის ხანგრძლიობა იქნებოდა 0,5 ს. რემონტზე კი წავიდოდა კიდევ უფრო მეტი დრო. ეს კი ეგმ-ში გამოყენებული ელემენტების “რაოდენობათა კატასტროფა”.

ელექტრონიკის მთელი შემდგომი განვითარება დაკავშირებულია “რაოდენობათა კატასტროფა“-სთან ბრძოლასთან. ამისათვის საჭირო იყო რადიომილაკის მტყუნებათა ინტენსიობის შემცირება. მაგრამ რადიომილაკი რთული მოწყობილობაა. ჯერ ერთი მის შიგნით ღრმა ვაკუუმია, თუ ის დაიკარგება ეს გამოიწვევს ანოდური დენის შემცირებას, რადგანაც გაიზრდება ამ ელექტრონების შეჯახების რაოდენობა ჰაერის ატომებთან და იმ იონებთან, რომლებიც ამ შეჯახების შედეგად წარმოიქმნება. ნათურის ბაღე კი მავთულის სპირალია, რომელიც კათოდის გარშემოა დახვეული. იგი ძალიან სუსტია. ვერ იტანს გადატვირთვებს, ვიბრაციას. ვარვარების ძაფი გახურებულია მაღალ ტემპერატურამდე, ამიტომ გამოაფრქვევს არა მარტო ელექტრონებს, არამედ საკმაოდ ბევრ ატომებს, ე.ი. ძაფი განუწყვეტლივ ორთქლდება. ყველა ამ ხარვეზის თავიდან აცილება და ამით რადიომილაკის მუშაობის ხანგრძლიობის გაზრდა ვერ მოხერხდა.

და აი 1948 წელს გამოიგონეს ტრანზისტორი. ის თავიდან გამოიყურებოდა ისე, როგორც ეს ნახ. 2-ზეა ნახვენები.



ნახ. 2

ტრანზისტორი გაცილებით უკეთესია ვიდრე რადიომილაკი: უფრო მცირე ზომებისაა, მსუბუქია, არ არის ვარვარების ძაფები. მისი ზომები ერთ მილიმეტრზე მეტი არაა. ეს ნახევარგამტარის მთელი ნაჭერია, რომელიც საკმაოდ სალი მასალაა, სისალით იგი არ ჩამოუვარდება ფოლადსა და თუჯს. ამიტომ ტრანზისტორის მტყუნებათა ინტენსიობა ნაკლებია, დაახლოებით იგი უდრის:

$$\lambda = 10^{-7} \text{ ს}^{-1}$$

ტრანზისტორებმა ძალზედ სწრაფად მოიპოვეს პოპულარობა და გასაღების ბაზარი. უკვე 1949 წელს ამერიკის შეერთებულ შტატებში შექმნეს პირველი ტრანზისტორული ეგმ-ი რომელიც ენიაკ-ის ანალოგიური იყო, ეი უკვე ერთ წელში მას შემდეგ რაც გამოგონილ იქნა ტრანზისტორი. ილუსტრაციისათვის მოგვაქვს ციტატა ჟურნალ "Наука и жизнь"-იდან რაც გამოქვეყნდა 1986, № 2 –ში: “თუ ათვლის წერტილად მივიღებთ პირველ მანქანებს, მაშინ დღეისათვის ეგმ-ის შიგა მახსოვრობის მოცულობა გაიზარდა ასობით ჯერ, ათასობით ჯერ შემცირდა ენერჯის მოხმარება, ფასი. სპეციალისტებმა დაიანგარიშეს, რომ თუ კი ასეთივე ტემპებით განვითარდებოდა ავტომობილმშენებლობა, მაშინ “ვოლგის” კლასის მანქანა იმოდრავებდა თითქმის სინათლის სხივის სისწრაფით, მოიხმარდა რამდენიმე გრამ ბენზინს ას კილომეტრზე და მისი ღირებულება იქნებოდა რამდენიმე მანეთი” და ეს იყო სულ რაღაც 15 წლის წინათ.

ესლა ვნახოთ უფრო დაწვრილებით თუ როგორ იქნა გამოგონებული ტრანზისტორი. აღმოჩნდა, რომ ის გამოიგონეს მაშინ როდესაც იკვლევდნენ ორი p-π გადასვლის (ნახევარგამტარული დიოდების) ურთიერგავლენას, როცა ისინი განლაგებულ იყვნენ ძალზედ ახლო მანძილზე ერთმანეთთან.

ორი მეტალის ძალზედ მახვილ ნემსს ათავსებდნენ გერმანიუმის (ნახევარგამტარის) ზედაპირზე ძალზედ მცირე მანძილზე ერთმანეთთან და

შემდეგ მათში მცირე ხნის განმავლობაში ატარებდნენ დიდ დენს. ეს დენი იწვევდა ნემსების გახურებას დიდ ტემპერატურაზე რაც თავის მხრივ იწვევდა მათ შედუღებას ნახევარგამტარზე. ანუ სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ ამ დროს ხდებოდა ნახევარგამტარის გახურება, მეტალი ნაწილობრივ იხსნებოდა ნახევარგამტარში და იგი დიფუნდირდებოდა მის შიგნით. მეტალის შერჩევა ხდებოდა იმგვარად, რომ მისი ატომები ქმნიდნენ ელექტრონულ π -ტიპის ნახევარგამტარს. ამგვარად მიიღებოდა ორი p - π გადასასვლელი. და რადგანაც ისინი იყვნენ ძალზედ ახლოს, ამიტომ შედიოდნენ ურთიერთქმედებაში ერთმანეთთან და მიიღებოდა ტრანზისტორი.

პირველ ტრანზისტორებს სწორედ ამგვარად ამზადებდნენ და ამ ტექნოლოგიას უწოდებდნენ წერტილოვანს. მაგრამ მისი ხარვეზები თვალნათელი იყო მაშინვე. საქმე იმაშია, რომ ტრანზისტორების თეორიით p - π გადასასვლებს შორის მანძილი გაცილებით ნაკლები უნდა იყოს დიფუზიური მანძილის სიდიდეზე (თუ რა არის ეს ამას ჩვენ განვიხილავთ შემდეგ ლექციებში). ეს სიდიდე ძალზედ მცირეა, იგი დევს ერთიდან რამდენიმე ათეულ მიკრომეტრამდე (ჩვეულებრივად ამბობენ მიკრონებს) ზღვარში. ორი ნემსის ასე ახლოს ერთმანეთთან განლაგება შეუძლებელია. მიკრონი გაცილებით მცირეა ვიდრე ადამიანის თმის სისქე (დაახლოებით 50 მკმ).

შეიძლება დაუშვათ, რომ მანძილი ნემსებს შორის თანაზომადია ადამიანის თმის სისქისა და მაგალითად ტოლია 0,1 მმ, ანუ 100 მკმ. შემდეგ უნდა გავატაროთ ელექტრული განმუხტვის ნაპერწკალი ამ ნემსებს შორის, რომ მივიღოთ მათი გადნობა და მეტალის შერევა და დიფუზია. ეს პროცესი ძნელი განსახორციელებელია, ამიტომ ამ ტექნოლოგიით დამზადებული ბევრი ტრანზისტორი წუნდებულნი აღმოჩნდებოდნენ ხოლმე; ხან p - π გადასასვლები ერწყმოდნენ ხოლმე ერთმანეთს, ხან მათ შორი მანძილი იყო ხოლმე ძალზედ დიდი, ხოლო თვითონ ტრანზისტორის გაძლიერების კოეფიციენტი იყო შემთხვევითი სიდიდე.

საჭირო იყო ტრანზისტორების დამზადების ტექნოლოგიის გაუმჯობესება. პირველი ნაბიჯი ამ მიმართულებით გადადგმულ იქნა როდესაც წერტილოვანი ტექნოლოგია შეცვალეს შედნობის ტექნოლოგიით. ძირითადი კონსტრუქცია, რომელიც ამ მეთოდშია გამოყენებული: ორ გრაფიტულ ფირფიტას, რომელზედაც დატანილია მცირე ზომის ღრმულები მათში მოთავსებული ალუმინით გარს შემოაჭდობენ გერმანიუმის ფირფიტას π -ტიპის ელექტრონული ელექტროგამტარებლობით. ამ კონსტრუქციას

ათავსებენ ღუმელში, რომელშიც მაღალი ტემპერატურაა (600-800°C). ალუმინი ამ ტემპერატურაზე ღნება და დიფუნდირდება გერმანიუმში. როდესაც დიფუზია ღრმა ფენებში გავრცელდება პროცესს წყვეტავენ. ალუმინი არის აქციპტორი, ე.ი იქ სადაც დიფუზია მოხდა გერმანიუმი გადაიქცა p-ტიპის ხერეულურ ნახევარგამტარად.

მის შემდეგ მიღებულ ფირფიტას დაჭრიან ნაწილებად, რომლებიც შედგენილნი იქნებიან სამი სხვადასხვა ტიპის ელექტროგამტარებით (ტრანზისტორები), ჩადებენ კორპუსებში და მთავრდება კრისტალს ფეხებთან. ამით ტრანზისტორი დამზადებულია.

შედნობის ტრანზისტორები გაცილებით უკეთესია წერტილოვან ტრანზისტორებთან შედარებით: აქ დიფუზიის პროცესი უფრო მართვადია, უბრალოდ მყარდება ღუმელში მუდმივი ტემპერატურა და რეგულირდება დიფუზიის მიმდინარეობის დრო. ამგვარად წერტილოვანი ტექნოლოგია შეცვლილ იქნა შედნობის ტექნოლოგიით.

მიუხედავად ამისა, შედნობის ტექნოლოგიას აქვს გარკვეული ხარვეზები. მათ შორის ძირითადია ის, რომ დიფუზია ხდება სხვადასხვა მხარეს. გერმანიუმის ნახევარგამტარის ფირფიტის სისქეს ვერ იღებენ 0,5...1 მმ-ზე ნაკლებს რადგან ის გადაიქცევა დრეკადად, დაიწყებს დახვევას და დაკარგავს ბრტყელ ფორმას. ამგვარად გამოდის, რომ ფირფიტის სისქე სადაც ჯერ კიდევ შეიძლება დიფუზიის ჩატარება შეადგენს როგორც მინიმუმ 250 მკმ, ბაზის სისქე 1...5 მკმ-ია და იგი უნდა გაკეტდეს ზუსტი (სიზუსტით არანაკლებ 1 მკმ). საბოლოოდ ვიღებთ, რომ საჭიროა დიფუზიის ჩატარება 250 მკმ-ის სიღრმეზე სიზუსტით 1 მკმ. ეს კი ძალზედ რთული განსახორციელებელია.

ტრანზისტორების დამზადების ტექნოლოგიის თანდათანობით დახვეწის შემდეგ გადავიდნენ ეგრეთწოდებულ დიფუზიურ ტექნოლოგიაზე, რომელიც დაფუძნებულია ფოტოლითოგრაფიაზე.

ფოტოლითოგრაფიის მოკლე აღწერა. მის ამოცანას შეადგენს კრემნიუმის ზედაპირზე (ეს მასალა ყველაზე კარგად ესადაგება ფოტოლითოგრაფიის მეთოდს) დიფუზიისათვის შესაბამისი ნიღბის შექმნა, რომელიც დამზადდება ცალკე ლოკალურად. ამ ნიღბმა უნდა გაუძლოს ძალზედ მაღალ ტემპერატურას (1200...1300°C). ამ მიზნით გამოიყენება კრემნიუმის ჟანგი, რომლის მიღებაც ხდება ძალზედ მარტივად თვითონ კრემნიუმის დაჟანგვით მაღალ ტემპერატურაზე წყლის ორთქლისა და

ქანგბადის გამოყენებით. მისი სისქე დაახლოებით 1 მკმ-ია, მაგრამ ეს საკმარისია რათა არ მიეცეს შენარევის ატომებს ნახევარგამტარში დიფუნდირების საშუალება. ამის შემდეგ კრემნიუმის ქანგეულში აკეთებენ ნახვრეტებს (ფანჯრებს), რომლებიც განსაზღვრავენ სად უნდა მოხდეს ლოკალური დიფუზიები.

ფანჯრების დამზადებისთვის ჩვეულებრივ გამოიყენებენ ფოტორეზისტს - ეს კი პრაქტიკულად ფოტორეზისტია, რომელსაც აქვს გარკვეული თვისებები:

1. მან უნდა გაუძლოს გამსხნელი მჟავით მოწამვლას (ჩვეულებრივ ფოტორეზისტს ვერ უძლებს), რაც აუცილებელია კრემნიუმის დიოქსიდში ფანჯრების ამოწვისათვის.
2. მას უნდა ჰქონდეს დიდი გარჩევადობა (1000 ხაზზე მეტი 1 მილიმეტრზე, ანუ 1 მკმ-ზე ნაკლები).
3. მას უნდა ჰქონდეს დაბალი სიბლანტე, იმისთვის, რათა გაიშალოს 1 მკმ სისქის შრედ. (სხვაგვარად ასეთი მაღალი გარჩევადობა ვერ მიიღება).
4. მას უნდა ჰქონდეს შუქის დასხივების მიმართ მგრძობიარობა ულტრაიისფერ არეში (სინათლის ტალღის სიგრძე შეადგენს 0,3 მკმ).

ასეთი მრავალი განსაკუთრებული თვისება შეიძლება ჰქონდეს მხოლოდ განსაკუთრებულ ნივთიერებას. ესაა პლასტმასა, რომელიც სინათლის სხივის ზემოქმედებით იშლება, ანდა საპირისპიროდ, სინათლის სხივის ზემოქმედებით იქმნება. ასეთი ნივთიერება შექმნილ იქნა მრავალი სახეობის, მათ ფოტორეზისტები ეწოდებათ.

ამგვარად, ფოტოლითოგრაფიის პროცესში, ჩვენ შეიძლება შევქმნათ კრემნიუმის ქანგეული (კრემნიუმის ნახევარგამტარზე), შემდეგ მასზე დავიტანოთ ფოტორეზისტის ძალზედ თხელი ფენა, შემდეგ ფოტოშაბლონის გამოყენებით (ეს განსაკუთრებული ფოტოფირფიტაა, რომელზედაც არის ბევრი წინასწარ გაანგარიშებული და დატანილი მუქი და ღია ფერის ადგილები) გავანათებთ მას ულტრაიისფერი შუქით, შემდეგ გამოვამუშავებთ მას ანუ მოვაშორებთ განათებულ ადგილებს (ან საპირისპიროდ არა განათებულ ნაწილებს). მის შემდეგ მოვაშორებთ ამ ფანჯრებში არსებულ კრემნიუმის დიოქსიდს, (გამსხნელ მჟავაში მოწამვლა) და მოვაშორებთ თვითონ ფოტორეზისტს, რადგან მისმა ნარჩენებმა შეიძლება ხელი შეუშალოს დიფუზიის მაღალტემპერატურულ პროცესს. მის შემდეგ კი შეიძლება ცალმხრივი დიფუზიის განხორციელება.

აქედან გამომდინარეობს, რომ უფრო მარტივია გაკეთდეს ზუსტად რეგულირებადი ვიწრო ბაზური შრე, რისთვისაც ვახორციელებთ დიფუზიას დაახლოებით 5...6 მკმ-ზე, შემდეგ მეორად დიფუზიას 3...4 მკმ-ზე, შესაბამისად ბაზა იქნება დაახლოებით 2 მკმ-ის სისქის. დიფუზიის სიღრმე და ბაზის სისქე თანაფარდნი არიან, ამიტომ შეიძლება მათი ზუსტად გაკეთება (მთელი ფირფიტის სისქე შეიძლება იყოს ნებისმიერი, მაგ. 1 მმ. ფირფიტა (რომელსაც ეკლექტრონიკაში ჩვეულებრივ ჩიპსაც ეძახიან) შეიძლება დაჭრილ იქნას ცალკეულ ტრანზისტორებად. შემდეგ შემოწმებულნი და კარგი ტრანზისტორები მოთავსებულ იქნას კორპუსში.

რატომ შეძლო მხოლოდ ფოტოლითოგრაფიამ ბაზის სისქის ზუსტი დაყენების პრობლემას გადაჭრა? საქმე იმაშია, რომ თუ კი ბაზის სისქეს 5 მიკრონზე ნაკლებს ავიღებთ (თმის სისქის 0,1 ნაწილი), მაშინ შეუძლებელი იქნებოდა ასეთ არესთან კონტაქტის მიერთება. ლოკალური ემიტერული არეების დამზადებისას ეს კონტაქტი შეიძლება გაკეტდეს ზევიდან იმ ადგილას სადაც არ არის ემიტერი და სადაც შეიძლება იყოს გაცილებით მეტი ფართობი.

ამიტომ ფოტოლითოგრაფიისა და ლოკალური დიფუზიის მეთოდების განვითარებამ მიგვიყვანა ტრანზისტორების დამზადების დიფუზიური ტექნოლოგიის საყოველთაო აღიარებამდე.

60-70 წლებში ფართო გავრცელება ჰპოვა ტრანზისტორულმა ეგმ-მა БЭСМ-6 -მა. მაგრამ ისიც კი უმტყუნოდ მუშაობდა მხოლოდ 1-2 დღეღამე და შემდეგ გამოდიოდა მწყობრიდან. მის შემდეგ საჭირო იყო მისი რემონტი რომელზეც მიდიოდა დაახლოებით 1-2 დღე ღამე. ეტი რაღა გზა იყო? უნდა ამადლლებულიყო ტრანზისტორის საიმედოობა. და ეს პრობლემა გადაწყვეტილ იქნა.

თვითოეულ ტრანზისტორს სამი კონტაქტი აქვს, რომელსაც ამზადებენ ოქროს კონტაქტების მირჩილვით. ანუ სამი მინარჩილი კრისტალზედ, 3 მინარჩილი კორპუსის ფეხებთან, სამი კი უშუალოდ სქემასთან. სულ გამოდის 9 მინარჩილი. მეტად უანგეულ ნახევარგამტარულ ტრანზისტორებს 4 კონტაქტი აქვს, ამიტომ აქ უკვე 12 მინარჩილი გამოდის. რა იქნება თუ კი არ დავჭრით ტრანზისტორულ ფირმიტას ცალკეულ ტრანზისტორებათ და ეგრევე გამოვიყენებთ მათ სქემაში? საინტერესო იდეაა, ამით შესაძლებელია 3-ჯერ შემცირდეს კონტაქტების რაოდენობა. მაგრამ აქ არის სხვა პრობლემა. კერძოთ ყველა ტრანზისტორი დამოკლებული იქნება ერთმანეთთან

კოლექტორებითა და ბაზებით. ამითომ ისინი საჭიროა განვამხოლოდ ერთმანეთისაგან. ეს პრობლემაც გადაწყდა და არა ერთი მეთოდით!

თვითოეული დიფუზიის დროს საჭიროა დიფუნდირდეს ის შრე, რომელიც იყო უარყოფითი, ანუ მუხტის მატარებლების კონცენტრაცია აღმოჩნდება უფრო მეტი ვიდრე წინა შრის.. ე.ი. ყველაზე ნაკლები კონცენტრაცია უნდა იყოს ფირფიტაში. ჯიბეებში ის მეტია, ჯიბეებმა შეიძლება შეასრულოს კოლექტორების როლი, ამის შემდეგ შეიქმნება ბაზის არე, მასში მუხტის გადამტანების კონცენტრაცია უფრო მეტია ვიდრე კოლექტორულ არეში, შემდეგ კეთდება ემიტერული არე რომელშიც ყველაზე მეტია მუხტის გადამტანების კონცენტრაცია. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ კოლექტორული არის წინააღმდეგობა ყველაზე დიდია და ამითომ ძალზედ დიდია დროის მუდმივა RC, ანუ ტრანზისტორები მუშაობენ ძალზედ ნელა. ტრანზისტორების სწრაფქმედების გაზრდისათვის ორ ჯიბეზე საჭიროა თხელი ფენის გაკეთება, რომელთაც ექნება მუხტის მატარებლების დიდი კონცენტრაცია. ეს პრობლემა გადაწყვეტილ იქნა ფენების ეპიტაქსიალური დაზრდის გზით რომელსაც ისეთივე კრისტალური ორიენტაცია ჰქონდა რაც საფენს. ესაა ეპიტაქსია. შეიძლება დაშენდეს მონოკრისტალის თხელი ფენა, მაგრამ მუხტის გადამტანების განსხვავებული კონცენტრაციით.

შედგებად, ტრანზისტორის (ინტეგრალური მიკროსქემის) დამზადების სრული ციკლი გამოიყურება შემდეგნაირად.

1. პირველ ეტაპზე აკეთებენ დონორების ლოკალურ დიფუზიას, ამასთანავე ძლიერ დიფუზიას – რათა შეიქმნას დამალული ფენა.

2. მეორე ეტაპზე ასრულებენ ეპიტაქსიას ანუ ეპიტაქსიალური ფენის დაშენებას ელექტრონების დაბალი კონცენტრაციით (ელექტრონები მეტია, ვიდრე ხვრელები).

3. მესამე ეტაპზე ასრულებენ აქცეპტრონების ლოკალურ დიფუზიას ჯიბეებათ დაყოფისათვის.

4. ამის შემდეგ ისევ ასრულებენ აქცეპტრონულ დიფუზიას ბაზური არეების შექმნისათვის.

5. ამის შემდეგ საჭიროა ემიტერების შექმნა, ანუ დონორების ლოკალური დიფუზია. ერთდროულად ამზადებენ კოლექტორულ არესთან კარგ კონტაქტს-კოლექტორის შეგნით ძალზედ ლეგირებული არეის შექმნით.

6. და ბოლოს კრემნიუმის მთელ ზედაპირს იცავენ კრემნიუმის ქანგით, შემდეგ აკეთებენ მასზედ ფანჯრებს ტრანზისტორის კონტაქტებისთვის, შემდეგ აფრქვევენ მათზედ მეტალს, ზედმეტ მეტალს კი აშორებენ.

შემდეგ უნდა დაიჭრას ფორმიტა ცალკეულ მიკროსქემებად, ჩამაგრდეს კორპუსში, მიერჩილოს კონტაქტები.

აღმოჩნდა, რომ მიკროსქემის მტყუნებათა ინტენსიობა ნახევარგამტარული სტრუქტურით კი არ განისაზღვრება, არამედ ძირითადად დამოკიდებულია კონტაქტების რაოდენობაზე. ამიტომ მიკროსქემის მტყუნებათა ინტენსიობა აგრეთვე დაახლოებით 10^{-7} ს⁻¹-ია. ერთ მიკროსქემაზე შეიძლება გაკეთდეს ბევრი ტრანზისტორი. დღეისათვის მათმა რაოდენობამ შეიძლება რამდენიმე ათეულ მილიონს გადააჭარბოს.

ელექტრულ სქემებში ჩვეულებრივ ბევრი ელემენტია. როგორ დავამზადოთ ისინი?

დიოდად ჩვეულებრივ გამოიყენებენ ტრანზისტორს, რომელსაც არა აქვს ემიტერული არე, ანდა ჩვეულებრივ ტრანზისტორს დაუმოკლებენ ერთ p-n გადასასვლელს.

რეზისტორად გამოიყენებენ ბაზურ ანდა კოლექტორულ არეს, მაგრამ იგი უნდა გაკეთდეს საჭირო სიგრძისა და სიფართის საჭირო წინააღმდეგობის მისაღებად და შემდეგ მას მიუერთებენ 2 კონტაქტს.

კონდენსატორად გამოიყენებენ p-n გადასასვლელის პარაზიტულ ტევადობას, ანდა კონდენსატორს აკეთებენ კრემნიუმის ორქანგით, რომელსაც გამოიყენებენ დიელექტრიკად.

ინდუქტიობას მიკროელექტრონიკაში როგორც ასეთი არ აკეთებენ.

მიუხედავად ამ ყველაფრისა მიკროელექტრონიკას მაინც აქვს თავისი ზღვარი. ტრანზისტორების რიცხვის გაზრდა ერთ კრისტალზე უსასრულოდ შეუძლებელია, რადგანაც მათ აქვთ გარკვეული შეზღუდვები ზომების შემცირებაზე. კრისტალის ფართობსაც ძალზედ ვერ გავაფართოვებთ.

ამ შემთხვევაში არის გარკვეული იმედი იმისა, რომ პერსპექტივას მოგვცემს ფუნქციონალური ელექტრონიკა - ეს ის ელექტრონიკაა, რომელშიც ტრანზისტორის მარტივი ფუნქციები ჩანაცვლებულნი იქნებიან უფრო რთული ფუნქციებით, რომლებიც შეიძლება სრულდებოდნენ სხვადასხვა კრისტალებში, როგორიცაა ნახევარგამტარული, სეგნეტოელექტრული, მაგნიტო-ელექტრული და სხვ.

ლექცია 2. ნახევარგამტარების ელექტროგამტარობა

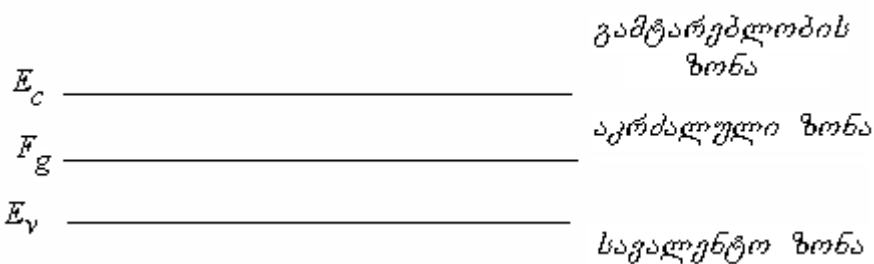
ცნობილია, რომ ელექტრული დენი არის ელექტრული მუხტების გადატანა ერთი ადგილიდან მეორეზე. ელექტრული მუხტი კი ელემენტარული ნაწილაკების თვისებებია. არსებობენ დადებითი და უარყოფითი მუხტები, რადგანაც ატომები შედგებიან დადებითად დამუხტული ატომის ბირთვისა და მის გარშემო მბრუნავი უარყოფითად დამუხტული ელექტრონებისაგან. ყველაზე ნაკლები მუხტი აქვს ელექტრონს. ისინი მიიზიდებიან ატომის ბირთვის მიერ. ბირთვის მუხტი გაცილებით დიდი აქვთ, მისი სიდიდე ელექტრონის მუხტის ჯერადია. მთლიანობაში ატომები ნეიტრალურნი არიან რადგან ელექტრონების რაოდენობა ტოლია ბირთვის მუხტისა. მაგრამ ელექტრონი ზოგჯერ შეიძლება მოწყვეტილ იქნას ატომისაგან, რაც შეიძლება მოხდეს მაგალითად მაღალი ტემპერატურების დროს. მაგალითად რადიომილაკში გახურებული კათოდი გამოსტყორცნის ელექტრონებს (რომლებიც 2000-ჯერ მსუბუქია ატომებზე), და ისინი მონაწილეობას იღებენ კათოდიდან ანოდისაკენ დენის გადატანაში.

მყარ სხეულებში სიტუაცია უფრო რთულია, რადგან ელექტრონები არ არიან თავისუფალნი. ცნობილია, რომ ცალკე ატომში ელექტრონი იმყოფება დადებითი მუხტის მიზიდულობის ველში. ეს შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც პოტენციალური ღრმული, იხ. ნახ. მარცხნივ. ნახაზზე ნახვენებია ენერგიის დამოკიდებულება კოორდინატისაგან ერთი ატომისათვის მარცხნივ და მთელი კრისტალისათვის მარჯვნივ. ერთი ატომის შემთხვევაში ეს უბრალოდ ენერგიის შემცირებაა ნულიდან უსასრულობაში უარყოფით უსასრულობამდე ატომის ცენტრში. ძალზედ მცირე ნაწილაკებისათვის პოტენციალურ ღრმულში გამოყენებადია კვანტური მექანიკის კანონები, და ამიტომ ყველაფერი ისე არ არის როგორც კლასიკურ მექანიკაში. აქ არსებობს დასაშვებ ენერგიათა დისკრეტული მწკრივი, რასთანაც შეიძლება ელექტრონების არსებობა ატომში. თუმც პაულის პრინციპიდან გამომდინარე თვითოეულ ენერგეტიკულ დონეზე შეიძლება მხოლოდ ერთი ელექტრონის არსებობა. კრისტალის შემთხვევაში კი, როდესაც ატომები განთავსებულია მკაცრად პერიოდულად და ერთმანეთთან ძალზედ მცირე მანძილზე სურათი იღებს მნიშვნელობას როგორც ეს ნახ. – ზე მარჯვნივაა ნახვენები (აქ სიმარტივისათვის ნახვენებია ერთგანზომილებიანი სიტუაცია და არა სამგანზომილებიანი, როგორც ეს სინამდვილეშია). აქ ჩანს, რომ პოტენციალური ღრმულების ერთმანეთზე

გადაფარვის გამო მათი სიმაღლე შემცირდა ნაპირა პოტენციალური ღრმულების გარდა. კვანტური მექანიკა გვეუბნება, რომ ძალზედ მცირე მანძილების შემთხვევაში ელექტრონებმა შეიძლება დაძლიონ ეს ბარიერი დამატებითი ენერჯის მინიჭების გარეშე. მაგრამ ალბათობა იმისა, რომ ისინი დაძლევენ ამ ბარიერს უკუპროპორციულია ბარბერის სიფართისა და სიმაღლისა ექცპონენციალურ ფორმაშიც კი. ამიტომ მხოლოდ და მხოლოდ ატომურ დონეზე ვლინდება კვანტური ეფექტი, რომელსაც ეწოდება გვირაბული ეფექტი.

შედგად ელექტრონებმა შეიძლება ყოველგვარი დამატებითი ენერჯის გარეშე შეაღწიოს ერთი ატომიდან მეორეში - მეზობელში, შემდეგ მესამეში და ა.შ.შ. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, აქ ხდება ელექტრონების განსაზოგადოებრიობა. მაგრამ პაულის პრინციპი კრავს ერთ ენერგეტიკულ დონეზე ერთზე მეტი ელექტრონის არსებობას. მას მივყვართ იქითკენ, რომ თვითოეული ენერგეტიკული დონე ატომში იხლიხება ენერგეტიკულ ზონად, რომელიც შედგება ისეთი რაოდენობის დონეებისგან, რამდენი ატომიცაა ამ კრისტალის ნაჭერში. ეს კი ძალზედ ბევრია, ერთ სმ³-ში დაახლოებით 10²³-ია.

ზონების რაოდენობა კრისტალში უნდა შეესაბამებოდეს დონეების რაოდენობას ატომში. მაგრამ ზონის სიგანე დონის სიღრმეზეა დამოკიდებული. რაც უფრო ღრმაა იგი მით ნაკლებია დონის სიგანე, იმიტომ რომ მით მეტია გვირაბის ეფექტში გადასალახავი ბარიერი. ყველაზე ღრმა დონეები პრაქტიკულად არ იხლიხებიან. ყველაზე ზედა დაკავებული დონეები დაიხლიხებიან ყველაზე მეტად, რადგან მათ აქვთ ყველაზე მეტი სიგანე. ნახევარგამტარებში ყველაზე საინტერესონი არიან ყველაზე მაღალი დაკავებული ზონა და შემდეგი ცარიელი ზონა. ამიტომ ატომების პოტენციალურ ღრმულებს ჩვეულებრივ არ ხაზავენ, და ყველა სახის სხვადასხვა ზონებიდან ხატავენ მხოლოდ ამ ორს.



E_v სიმვოლოთი აღნიშნავენ ბოლო შევსებული ზონის ზედა საზღვარს, ანუ სავალენტო ზონის ჭერს;

E_c სიმვოლოთი აღნიშნავენ პირველი ცარიელი ზონის ქვედა საზღვარს, ანუ გატარების დონის ფსკერს;

$E_g = E_c - E_v$ სიმვოლოთი კი აღნიშნავენ აკრძალული ზონის სიგანეს.

ამრიგად, ერთი შეხედვით ჩვენ ვხვდებით, რომ მყარ სხეულში არის დამუხტული ნაწილაკები-ელექტრონები, რომლებსაც შეუძლიათ მოძრაობა მასში. მაგრამ სინამდვილეში არც მთლად ასეა საქმე. ასე მაგალითად, ბევრი მყარი სხეული მეტალებია და ისინი კარგად ატარებენ დენს, მაგრამ სხვა საქმეა დიელექტრიკები, ისინი ცუდად ატარებენ დენს, არიან კიდევ ნახევარგამტარები, რომლებსაც უჭირავთ შუალედური მდგომარეობა მეტალებსა და დიელექტრიკებს შორის დენის გატარების „თვალსაზრისით..“

ამ სიტუაციას შეიძლება ახსნა მოექებნოს ელექტროგამტარებლობის ზონური თეორიიდან გამომდინარე.

დიელექტრიკებში ელექტრონები იმდენია, რომ ისინი სრულად ავსებენ სავალენტო ზონას, გამტარებლობის ზონა კი ცარიელია, იქ ელექტრონები არ არიან. ამიტომ გამტარებლობის ზონა დენს არ ატარებს, სავალენტო ზონას კი შეუძლია დენის გატარება, მაგრამ არ ატარებს, რადგან ელექტრონების ყველა მდგომარეობა ზუსტად სიმეტრიულია და თუ კი არის მდგომარეობა იმპულსით p , მაშინ მოიქებნება მდგომარეობა იმპულსით $-p$. თვითოეული ამ მდგომარეობათაგანი დენის გადამტანია, მაგრამ ამ დენების მიმართულებანი ურთიერთ საწინააღმდეგოა და ჯამური დენი ნულის ტოლია. თუ კი სავალენტო ზონა სულმთლად შევსებულია, მაშინ თვითოეული ელექტრონი ატარებს თავის მცირე დენს, მთელი კრისტალი კი არავითარ დენს არ ატარებს.

სხვა სურათი შეიმჩნება მეტალებში, სადაც ელექტრონების რაოდენობა იმდენია, რომ ისინი ავსებენ სავალენტო ზონას მხოლოდ სანახევროდ. ნულოვანი ტემპერატურას დროს კელვინის შკალით (ე.ი -273°C) ყველა ქვედა მდგომარეობა შევსებულია ელექტრონებით, ხოლო ყველა ზედა ცარიელია. მაგრამ მდგომარეობებს შორის მანძილი ძალზედ მცირეა და სისტემას მცირეოდენი ალგუნებაც კი, მაგ. პატარა ძაბვის მოდებამაც კი შეიძლება გამოიწვიოს ელექტრონების წანაცვლება წონასწორობის მდგომარეობიდან და ამით გამოიწვიოს ელექტრონების გავრცელების სიჩქარეების წონასწორობის

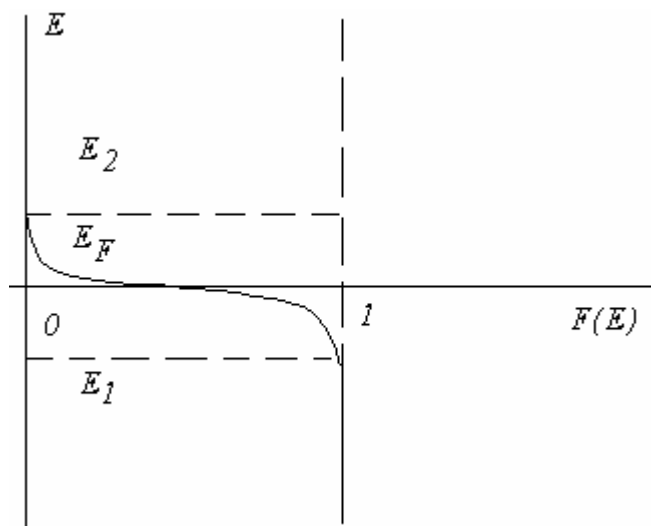
დარღვევა. შესაბამისად ძალიან მარტივად წარმოიქმნება ელექტრული დენი ანუ მიიღება ელექტროგამტარებლობა.

უფრო მაღალი ტემპერატურების დროს წარმოიქმნება რაღაც გადარეცხვა ელექტრონებისა მდგომარეობების მიხედვით, კერძოდ მიიღება ფერმი-დირაკის განაწილების ფუნქცია:

$$F(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)}$$

სადაც: $F(E)$ - ელექტრონის მიერ E ენერჯიის დონის დაკავების ალბათობაა:

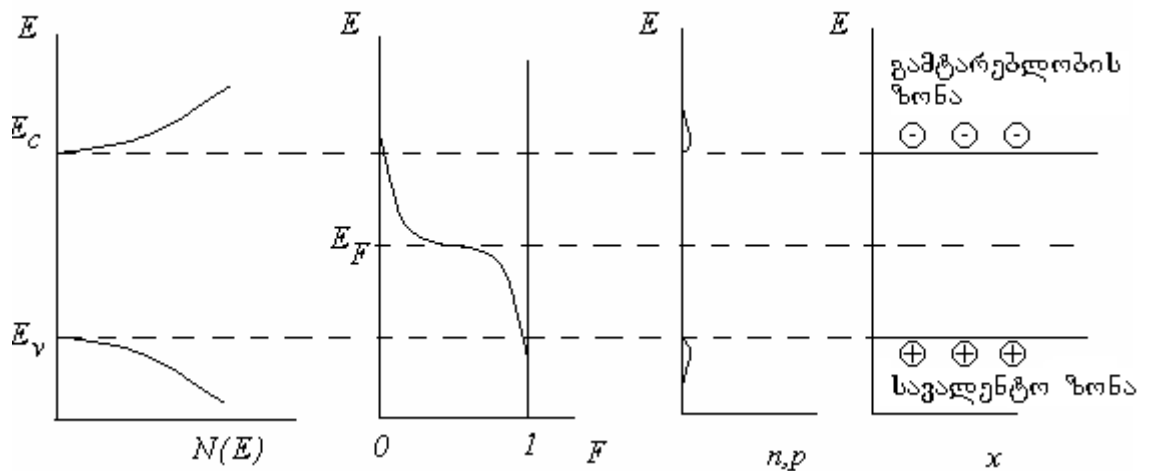
E_F - რაღაც კონსტანტაა, რომელსაც აქვს ენერჯიის განზომილება და ეწოდება *ფერმის დონე*. ეს ფუნქცია გამოიყურება შემდეგნაირად. (იხ. ნახ).



აქ ფუნქცია F გადაზომილია პორიზონტალურად, ხოლო მისი არგუმენტი - ვერტიკალურად. მარცხენა უწყვეტი ხაზი - $F(E)=0$; მარჯვენა პუნქტირული ხაზი - $F(E)=1$. თუ $E > E_2$ მაშინ ელექტრონების მიერ მდგომარეობის შევსების ალბათობა ნულის ტოლია - დენი არ არის. თუ $E < E_1$ $F(E)=1$, მაშინ ყველა მდგომარეობა შევსებულია და ეს ელექტრონები კრისტალის სიმეტრიიდან გამომდინარე ისევ არ ატარებს დენს. ხოლო, რაც შეეხება პუნქტირულ ხაზებს შორის არსებულ მდგომარეობებს - ისინი შევსებული არიან მაგრამ არა ყველანი, ამიტომ ამ ელექტრონებმა შეიძლება გაატარონ დენი. უწორედ ამიტომაც, მეტალები კარგად ატარებენ ელექტრობას.

სულ სხვანაირად არის საქმე დიელექტრიკებისა და ნახევარგამტარების შემთხვევაში. აქ ელექტრონების რაოდენობა საკმარისია მხოლოდ რამდენიმე ზონის შესავსებად, მათ შორის სავალენტოსიც. მაგრამ დანარჩენები, მათ რიცხვში კი სავალენტო ზონებიც ცარიელებია. ცხადია ცარიელი ზონები ელექტრულ დენს არ ატარებს. მაგრამ დენს არ ატარებს აგრეთვე სულმთლად შევსებულიც, რადგანაც კრისტალის სიმეტრიიდან გამომდინარე ყველა პატარა დენი ერთმანეთს აწონასწორებს.

მაგრამ რაც ზემოთ ითქვა ის სამართლიანია კელვინის შკალით ნულოვან ტემპერატურაზე (-273°C). უფრო მაღალ ტემპერატურებზე და მითუმეტეს ოთახის ტემპერატურაზე კი კრისტალის ატომების ტემპერატურული რხევებიდან გამომდინარე ამ ატომების ენერჯის ნაწილი გადაეცემა ელექტრონებს რაც განაპირობებს ენერჯის მიხედვით განაწილებას ფერმი-დირაკის ფუნქციის თანახმად. ელექტრონების ნაწილი (თუმც მცირე მათგანი) მიიღებენ საკმარის ენერჯიას იმისათვის, რომ გადალახონ აკრძალული ზონა და მოხვდნენ გამტარებლობის ზონაში. ეს სიტუაცია ილუსტრირებულია ნახაზებზე:



მარცხენა ნახაზზე წარმოდგენილია მდგომარეობის სიმჭიდროვე E – სგან დამოკიდებულებაში. ნულოვანი ენერჯის დროს იგი ძალზედ მცირეა, უფრო სწორად 2^{-1} -ის ტოლია იმიტომ, რომ ელექტრონის სპინი ტოლია $\pm \frac{1}{2}$, ანუ ერთ მდგომარეობაში იქნება ორი ელექტრონი სხვადასხვა სპინებით. ენერჯის ზრდით მდგომარეობის სიმჭიდროვე E_c (ანუ $E_v - E$ სავალენტო ზონისთვის) დონიდან ათვლილი ენერჯის კვადრატის პროპორციული ხდება.

მეორე ნახაზზე წარმოდგენილია ფერმი-დირაკის ფუნქცია. შემდეგ სურათზე კი წარმოდგენილია ამ ორი ფუნქციის ნამრავლი რომელიც აქ უკვე

წარმოადგენს ელექტრონების კონცენტრაციის დამოკიდებულებას ენერჯისაგან. აქედან ჩანს, რომ გამტარებლობის ზონაში ელექტრონების რაოდენობა მცირეა, რადგანაც მათ მიერ მდგომარეობების შევსების ალბათობა მნიშვნელოვნად ნაკლებია 1-ზე. ამითომ ისინი შეიძლება მოძრაობდნენ პრაქტიკულად როგორც ვაკუუმში, ისე, რომ თითქმის არ ურთიერთმოქმედებენ ერთმანეთთან.

სრულიად სხვა რამე შეიძლება ითქვას სავალენტო ზონის შესახებ: აქ უკვე მდგომარეობის შევსების ალბათობა პრაქტიკულად 1-ის ტოლია, ანუ თითქმის ყველა მდგომარეობა შევსებულია ელექტრონებით. ამ შემთხვევაში ძნელია მათი მოძრაობის აღწერა, რადგანაც პრაქტიკულად ისინი მუდმივად ხელს უშლიან ერთმანეთს, რამეთუ ელექტრონებს შეუძლიათ სადმე გადაინაცვლონ თუ იქ თავისუფალი მდგომარეობაა, მაგრამ იქ კი თითქმის ყველა მდგომარეობა შევსებულია.

ამითომ მოილაპარაკეს, რომ ცარიელი ადგილების მდგომარეობა აღწერონ-“ხვრელებით”, რომლებიც რაოდენობით მცირეა. (არ შეგვეშალოს ნახვრეტებთან). ხვრელები შეიძლება მოძრაობდნენ როგორც დამოუკიდებლად, ისე რომ თითქმის არ ეჯახებიან ერთმანეთს. მათი მოძრაობა შეიძლება აღიწეროს საკმაოდ მარტივად, ისევე როგორ ელექტრონების მოძრაობა გამტარებლობის ზონაში. მათი კონცენტრაცია აღიწერება მდგომარეობათა რაოდენობის ნამრავლით 1-ისა და ფერმი-დირაკის ფუნქციის სხვაობაზე. იხ. მესამე ნახაზი სავალენტო ზონაში.

ბოლო ნახაზზე წარმოდგენილია ენერჯის დამოკიდებულება კოორდინატისაგან. გამტარებლობის ზონის ფსკერზე არის ელექტრონების რაღაც რაოდენობა. სავალენტო ზონის ჭერში არის ხვრელების რაღაც რაოდენობა. მათ ელექტრონებისაგან განსხვავებით დადებითი მუხტი აქვთ. რადგანაც ელექტრონები იბადებიან სავალენტო ზონიდან გამოსვლისას ელექტრონის გამტარებლობის ზონაში, ამითომ მათი რაოდენობა ზუსტად ტოლია ხვრელებისა.

ფერმი-დირაკის ფუნქცია აღწერს ელექტრონების წონასწორობის მდგომარეობას. თუ მაგალითად რომელიღაც ტემპერატურაზე (მაგ. ოთახის ტემპერატურა) ელექტრონები არ არსებობენ, მაშინ წარმოიქმნება ელექტრონებისა და ხვრელების თერმოგენერაცია და შემდეგ ისინი განაწილდებიან ფერმი-დირაკის ფუნქციის მიხედვით. გენერაციის სინქარე დამოკიდებულია ტემპერატურისა და აკრძალული ზონის სიგანისაგან და

პრაქტიკულად არაა დამოკიდებული ელექტრონებისა და ხვრელების კონცენტრაციისაგან.

ამის პარალელურად წარმოიშობა უკუ პროცესი – ელექტრონებისა და ხვრელების რეკომბინაცია: წარმოვიდგინოთ, რომ ელექტრონის შემთხვევითი მოძრაობისას იგი შეხვდა ხვრელს. ელექტრონი ამ შემთხვევაში გამტარებლობის ზონიდან აღმოჩნდება სავალენტო ზონის რომელიმე მდგომარეობაში, ამ დროს სადაც გამოიყოფა ენერჯის სხვაობა და იმპულსების სხვაობა და ელექტრონი და ხვრელი ურთიერთგანადგურდებიან, ანუ როგორც ელექტრონიკაში ამბობენ, ისინი რეკომბინირებენ. ამ პროცესის სიჩქარე პროპორციულია np –ს ნამრავლზე, სადაც n – ელექტრონების კონცენტრაცია (ჩვეულებრივად см^3 -ში), ხოლო p ხვრელების კონცენტრაცია (ისიც см^3 -ში).

იმათთან დაკავშირებით, რომ დროის ზრდასთან ერთად ელექტრონებისა და ხვრელების გენერაციისას n და p იზრდებიან, ეს პროცესი ზრდის ელექტრონებისა და ხვრელების რეკომბინაციის სიჩქარეს. ეს ნიშნავს რომ პროცესი მიაღწევს იმ მდგომარეობას, რაც ხასიათდება ფერმი-დირაკის ფუნქციით. ამიტომ ჩვენ ვხედავთ, რომ ელექტრონებისა და ხვრელების გენერაცია ყოველთვის არსებობს, და ყოველთვის არსებობს რეკომბინაციაც, უფრადოდ წონასწორობაში ისინი მკაცრად ტოლნი არიან ერთმანეთისაგან.

ელექტრონების კონცენტრაცია გამტარებლობის ზონაში განისაზღვრება ფორმულით:

$$n = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{kT}\right)$$

სადაც N_c - მდგომარეობის ეფექტიური სიმკვრივეა გამტარებლობის ზონაში. ანალოგიურად:

$$p = N_v \exp\left(-\frac{E_F - E_v}{kT}\right)$$

სადაც N_v - მდგომარეობის ეფექტიური სიმკვრივეა სავალენტო ზონაში. ჩვენ ვიცით, რომ ელექტრონებისა და ხვრელების კონცენტრაცია ერთნაირია, ანუ $n=p=n_i$, გარდა ამისა,

$$np = n_i^2 = N_c N_v \exp(-E_g / kT)$$

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ ყველაფერი დამოკიდებულია ექსპონენტის წევრებისაგან. ასე მაგალითად ოთახის ტემპერატურისთვის მივიღებთ, რომ:

	E_g, eV	n_i, cm^{-3}
გერმანიუმი	0,66	$2 \cdot 10^{13}$
კრემნიუმი	1,12	10^{10}
გალიუმის არსენიდი	1,42	10^6

აქედან კარგად ჩანს, რომ აკრძალული ზონის სიგანის მცირე ცვლილებისას მკვეთრად იცვლება მუხტის მატარებლების კონცენტრაცია. ასე მაგალითად გერმანიუმში 1 კუბურ სანტიმეტრში ელექტრონების ან ხვრელების რაოდენობა იქნება $2 \cdot 10^{13}$, გალიუმის არსენიდში კი – სულ 10^6 , ე.ი. 10 მილიონჯერ ნაკლები. ამიტომ დიელექტრიკებსა და ნახევარგამტარებს შორის არ არის პრინციპული განსხვავება, არამედ აქ არის მხოლოდ რაოდენობრივი განსხვავება, დიელექტრიკებში უბრალოდ აკრძალული ზონის სიგანე მცირედით მეტია 1,6 ევ.

აქამდე ჩვენ მხედველობაში გვქონდა მხოლოდ აბსოლუტურად სუფთა კრისტალები, რომელთაც არავითარი მინარევები არ ჰქონდათ. სინამდვილეში კი მინარევები არსებობენ და თამაშობენ ძალზედ დიდ როლს. სუფთა ნახევარგამტარებს ეწოდებათ საკუთრივი, ხოლო მინარევებით – მინარევიანი. განვიხილოთ ყველაზე მარტივი მინარევები, რომლებიც გერმანიუმისა და კრემნიუმის ატომებისაგან განსხვავდება ერთი ვალენტობით (გერმანიუმისა და კრემნიუმის ვალენტობაა 4).

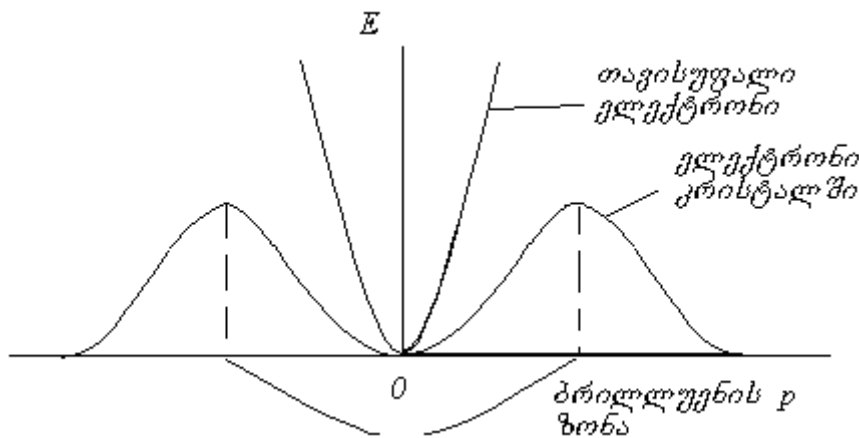
თუ კი არის 5 ელექტრონიანი მინარევი გარე ორბიტაზე, მაშინ გერმანიუმისა და კრემნიუმის კავშირებში მონაწილეობს 4 ელექტრონი, მეხუთე კი ზედმეტია, ის ადვილად სწყდება მინარევის ატომისაგან და შეუძლია თავისუფლად გადაადგილდეს კრისტალში. შესაბამისად ნახევარგამტარში აღმოჩნებიან ზედმეტი ელექტრონები, ხოლო რეკომბინაციიდან გამომდინარე ხვრელების რაოდენობა მცირდება. ამ დროს ხდება ფერმის დონის წანაცვლება ზემოთ, ელექტრონებისა და ხვრელების წონასწორობა იცვლება, ხოლო მათი ნამრავლი უცვლელი ჩება, იხ. ნახ. ამასთან ნარევს, რომელიც გასცემს ელექტრონს ეწოდება დონორი.

თუ კი ნახევარგამტარში სხვა 3 ვალენტიანი ნარევს შევიტანთ, მაშინ წარმოიშობა სხვა სიტუაცია: ოთხმაგი კავშირისათვის ნახევარგამტარის ატომებს არ ყოფნით ერთი ელექტრონი. მიტომ ნახევარგამტარი გასცემს

ერთელექტრონს, ელექტრონების რაოდენობა მცირდება, ხოლო რეკომბინაციიდან გამომდინარე ხვრელების რაოდენობა იზრდება. მას უჩვენებს ქვედა ნახაზი. ასეთ მინარევებს ეწოდება აქცეპტრონული.

დონორული ნარევიან ნახევარგამტარს უწოდებენ ელექტრონულს ანუ n ტიპის ნახევარგამტარს, ხოლო ნახევარგამტარს აქცეპტრონული ნარევით ეწოდება ხვრელური ანუ p ტიპის. ნიშანდობლივია, რომ ნახევარგამტარული ხელსაწყოები იყენებენ n და p ნახევარგამტარების ერთობლიობას, ამიტომ არ ცდილობენ სუფთა ნახევარგამტარებს მიღებას, არამედ ჩვეულებრივად გამოიყენებენ ნარევიან ნახევარგამტარებს.

ეხლა განვიხილოთ გამტარებლობის ზონის ელექტროგამტარობა. ჩვეულებრივ თავისუფალი ელექტრონი აღიწერება პარაბლური დისპერსიული მრუდით (ენერჯის დამოკიდებულება იმპულსისაგან), იხ. ნახ.



ელექტრონისათვის, რომელიც კრისტალშია მოთავსებული ყველაფერი სხვაგვარადაა. მართალია, იმპულსის ნულოვანი მნიშვნელობების სიახლოვეს ენერჯია აგრეთვე ჰგავს პარაბოლას, მაგრამ ნულისაგან მოშორებით ეს უფრო სინუსოიდაა ანუ პერიოდული მრუდია. ეს გაქნსხვავება კი პრინციპიალურია. თავისუფალი ელექტრონისათვის მასზედ ელექტრული ველის მოდებისას მისი ენერჯია განუწყვეტლივ მატულობს, ხოლო კრისტალში მდებარე ელექტრონისთვის იგი მატულობს მხოლოდ რაღაც მნიშვნელობამდე, ხოლო შემდეგ მცირდება. ელექტრონის სიჩქარე განისაზღვრება ენერჯის წარმოებულით იმპულსით. პარაბოლისთვის სიჩქარე ყოველთვის იზრდება (აქ ჩვენ არ განვიხილავთ ფარდობითობის თეორიას და ამიტომ არ ვიღებთ მხედველობაში ელექტრონის სიჩქარის სასრულოებს, რომელიც არ შეიძლება იყოს უფრო მეტი ვიდრე სინატლის სიჩქარეა). სინუსოიდის შემთხვევაში

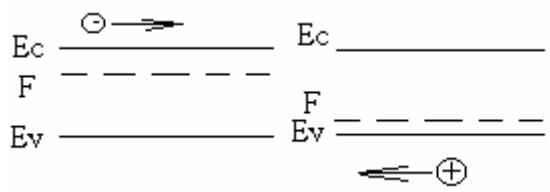
ელექტრონის სიჩქარე დასაწყისში იზრდება, შემდეგ აღწევს მაქსიმუმს, (მრუდის ყველაზე მეტად დამრეცი მონაკვეთი), შემდეგ ვარდება და აღწევს ნულის მდგომარეობას, შემდეგ იწყებს ცვლილებას უარყოფითი მიმართულებით და ა.შ.შ. გამოდის, რომ დისპერსიულობის მრუდის პერიოდულობის დამოკიდებულებიდან გამომდინარე, ელექტრონის სიჩქარემ განუწყვეტლივ უნდა იცვალოს მიმართულება და მთლიანობაში ის არ უნდა გადაადგილდებოდეს.

მაგრამ ეს ასე არ არის. კრისტალებში ძალზედ ბევრი სხვადასხვა ხარვეზებია: ელექტრონები და ხვრელები შეიძლება ეჯახებოდნენ ხოლმე ერთმანეთს, ფონონები (თბური რხევები) შეიძლება ურთიერთქმედებდნენ ელექტრონებთან და ხვრელებთან, დამუხტული და ნეიტრალური მინარევები მოქმედებენ ელექტრონებისა და ხვრელების მოძრაობებზე, ფონონები და სხვა ნაწილაკები აგრეთვე შეეჯახებიან ხოლმე მათ. ყველაფერი ეს ზღუდავს ელექტრონების თავისუფალ მოძრაობას. გამოდის, რომ აი ელექტრონი ცოტ-ცოტას აჩქარდა, რომ მაშინვე ხდება მისი შეჯახება რაიმესთან, და მან დაკარგა სიჩქარე.

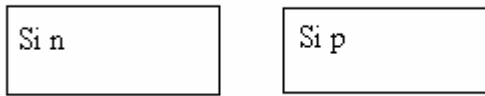
ლექცია 3. P-II გადასვლები

უხარმაზარი რაოდენობის ნახევარგამტარულ ხელსაწყოებში გამოყენებულია p-II გადასვლები (ზოგჯერ p-II გადასვლა არ არის საჭირო, მაგალითად ფოტოწინააღმდეგობებში, ანდა განის დიოდებში). ამიტომ ჩვენ ამჟამად განვიხილავთ მისი მუშაობის პრინციპს.

ამრიგად p-II გადასვლა ეს ისეთი ნახევარგამტარული სტრუქტურაა, რომელიც შეიცავს ელექტრონულ და ხვრელურ ნახევარგამტარულ არეებს. ამასთან ეს არეები მიღებულია ერთიან სტრუქტურაში დონორებისა და აქცეპტორების დიფუზიის შედეგად. მაგრამ ჩვენ პირობითად ჩავთვლით, რომ ეს ორი არე ჯერ ცალცალკე არსებობდნენ და შემდეგ მოხდა მათი შეერთება. მრიგად არის ორი არე, ელექტრონული და ხვრელური. ავაგოთ ზონური დიაგრამები ნახევარგამტარების ამ ორი ნაწილისათვის:

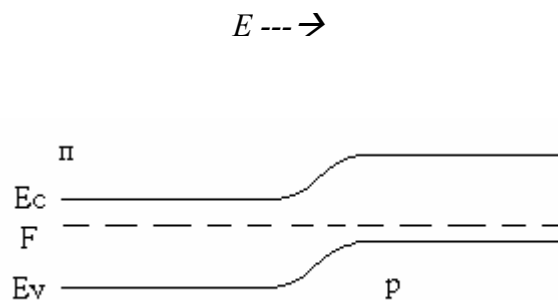


ისინი ერთნაირებია, რადგან ნახევარგამტარი ერთიდაიგივეა, მაგრამ ფერმის დონეები მდებარეობენ სხვადასხვა სიმაღლეზე, რადგანაც მარცხნივ n- ტიპის



ნახევარგამტარია და ფერმის დონე აკრძალული ზონის შუალედის ზემოთაა, ხოლო მარჯვნივ p- ტიპის ნახევარგამტარია ფერმის დონე აკრძალული ზონის შუალედის ქვემოთაა. თუ კი ახლა შევაერთებთ ამ ორ ნაწილს, მაშინ ელექტრონები რომლებიც მარცხნივ ბევრია დიფუნდირდებიან მარჯვნივ, ხოლო ხვრელები, რომლებიც მარჯვნივაა ბევრი დიფუნდირდებიან მარცხნივ (ნახაზზე ნაჩვენებია ისრებით. ქედან გამომდინარეობს საბოლოოდ, რომ სტრუქტურის მარცხენა ნაწილი დაიმუხტება დადებითად, ხოლო მარჯვენა უარყოფითად.

მაგრამ ამ დროს ელექტრონის ენერგია შემცირდება, ხოლო მარჯვნივ გაიზრდება, ანო მოხდება დიაგრამის მარცხენა ნაწილის წანაცვლება ქვემოთ, ხოლო მარჯვენა ნაწილის ზემოთ. ს პროცესი უნდა დამთავრდეს, როდესაც ფერმის დონეების ურთიერთ დამთხვევა ნახევარგამტარის მარცხენა და მარჯვენა ნაწილებში:



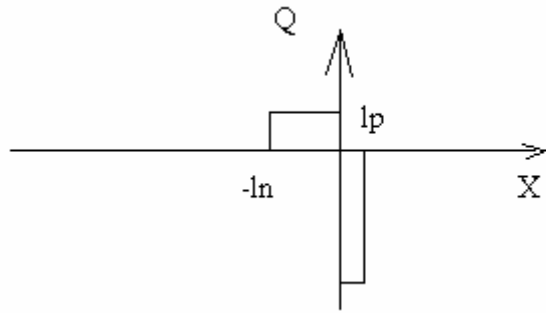
(წონასწორობის მდგომარეობაში ფერმის განტოლების დონეები რთული სისტემის სხვადასხვა ნაწილებში ერთმანეთს თანხვდებიან). ცინამდვილეში კი, ნახევარგამტარის მარჯვენა და მარცხენა ნაწილებს შორის წარმოიშობა ელექტრული ველი, პომელიც მიმართულია პლიუსიდან მინუსისაკენ, ანუ ისე როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები. ეს ელექტრული ველი იწვევს დრეიფული დენის წარმოშობას, რომელიც მიმართულია ისე, რომ ელექტრონები დიან მარჯვნიდან მარცხნივ, ხოლო ხვრელები კი – საწინააღმდეგოდ. ღაც მეტია ელექტრული ველი მით მეტია ეს დენი. ოლო ბოლო ის გააწონასწორებს

დიფუზიურ დენს, რადგან მიმართულებით იგი საწინააღმდეგოა. ამყარდება წონასწორობა (ერთდროულად არსებობენ ორი დიფუზიური დენი – ელექტრონებისა და ხვრელების და ორი დრეიფული დენი, რომლებიც ყველანი ერთმანეტან ტოლია).

ახლა განვიხილოთ მუხტების მატარებლების რაოდენობა (ელექტრონებისა და ხვრელების). არცხნივ და მარჯვნივ სადაც ზონური დიაგრამა ჰორიზონტალურია ისივი ბევრია, რადგან ფერმის დონეები ახლოსაა ზონების შესაბამის საზღვრებთან. ხოლო იქ, სადაც ეს საზღვრები მრუდდებიან, ფერმის დონე შორდება ერთ საზღვარს და უახლოვდება მეორეს. ახაზზე ჩანს, რომ n ტიპის არეში ელექტრონები გაცილებით ნაკლები ხდებიან, ვიდრე იყო მარცხენა არეში, ხოლო p ტიპის არეში ხვრელები გაცილებით ნაკლებია ვიდრე იყო მარჯვენა ნაწილში.

მაგრამ, მარცხენა ნაწილი ნეიტრალურია, რადგან მასში არის ასევე იონის მუხტები, ანუ დონორის ატომები. ეს ატომები ხისტადაა ჩამაგრებული კრისტალური მესერის კვანძებში და არ შეუძლიათ მოძრაობა, ანუ დენის გადატანა არ შეუძლიათ. მაგრამ მათი რაოდენობა ზუსტად ტოლია ელექტრონების რაოდენობის, ამიტომ ამ არეში არ არის მუხტები (თვითონ დიაგრამა გვეუბნება ამას: თუ ენერგეტიკული დონეების ხაზები ჰორიზონტალურია, მაშინ არ არის ელექტრული ველი, ანუ არ არის მუხტები, ანუ მათი ჯამი პოლარობის ჩათვლით ნულის ტოლია). იგივე შეიძლება ითქვას ნახევარგამტარის მარჯვენა ნაწილზეც: ხვრელებისა და აქცეპტრონების რაოდენობა მასში თანაბარია, თომც იცინი ბევრია, მაგრამ სრული მუხტი ნულის ტოლია.

სულ სხვა სიტუაციაა ნახევარგამტარის შუა ნაწილში, სადაც ზონები გამრუდებულია. უძრავი მუხტების რაოდენობა, დონორები და აქცეპტრონები ბევრია. ხოლო ელექტრონებისა და ხვრელების კი, იმასთან დაკავშირებით, რომ ზონის საზღვრებსა და ფერმის დონეს შორის მანძილი იზრდება - რამდენჯერმე მცირდება. ამიტომ, რომ ამ არეში არის მუხტები და პრაქტიკულად მათი რაოდენობა ტოლია უძრავი დონორებისა და აქცეპტრონების მუხტებისა.



პრაქტიკულად ეს სწორკუთხედებია, რადგანაც ელექტრონები და ხვრელები ამ არეში უმნიშვნელო რაოდენობისაა. ნახაზზე სწორკუთხედები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, რადგანაც დონორების სიმკვრივე მარცხნივ ნაკლებია, ვიდრე აქცეპტრონებისა მარჯვნივ (მიაქციეთ ყურადღება ფერმის დონის მდგომარეობას). მაგრამ სწორკუთხედების ფართობები მკაცრად ტოლი უნდა იყოს ერთმანეთისა, რადგანაც სრული მუხტები მარცხნივ და მარჯვნივ ტოლია ერთმანეთისა. ამიტომ ამ შემთხვევაში $l_n > l_p$.

შემოვიტანოთ მოცულობითი მუხტის არის (არე) ცნება (მმ). ს ის არეა სადაც რის მუხტი, ანდა რომელშიც იცვლებიან ელექტრული ზონები. მ ავის სიგანეა

$$l = l_n + l_p = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_n \Delta\phi_0}{qN_A}}$$

სადაც ϵ_0 - მსოფლიო კონსტანტაა, რომელიც ტოლია $1/(9 \cdot 10^9) \text{ ფმ}$,

ϵ_n - ნახევარგამტარის დიელექტრიკული მუდმივაა,

$\Delta\phi_0$ - პოტენციალების კონტაქტური სხვაობაა, ანუ სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, პოტენციალური ბარიერის სიმაღლეა, გაყოფილს ერთი ელექტრონის მუხტზე,

N_A - ერთობლივი კონცენტრაციაა, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$N_A = N_d N_a / (N_d + N_a)$$

სადაც N_d - დონორების კონცენტრაციაა n - ტიპის გამტარებლობის ნაჭერში,

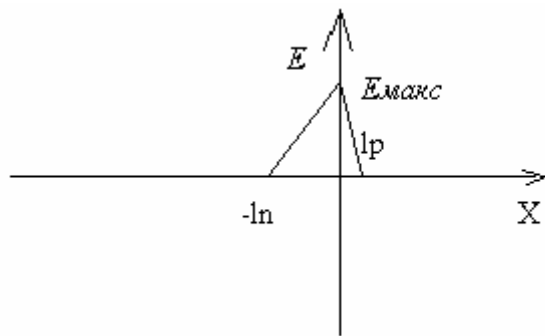
N_a - აქცეპტრონების კონცენტრაციაა p - ტიპის გამტარებლობის ნაჭერში.

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ N_A უფრო ახლოსაა იმ კონცენტრაციასთან, რომელიც ნაკლებია (თუ კი, მაგალითად, N_d - ა

ნაკლები, მაშინ იგი შეიძლება უგულვებელყოფილ იქნას მნიშვნელში N_A – სთან შედარებით, შემდეგ ეს N_A შეიძლება შევამციროთ და დარჩება მხოლოდ N_D).

შესაბამისად, მთელი მზა – ს არე განისაზღვრება იმ ნაწილით, რომლის მუხითაც ნაკლებია, იმიტომ რომ ის უფრო სქელია.

ელექტრული ველი შეიძლება გაირკვეს მუხტის სიდიდის ამ დამოკიდებულებით კოორდინატისაგან. უბრალოდ საკმარისია ადებულ იქნას ამ მუხტის ინტეგრალი. ამ შემთხვევაში მიიღება მრუდი, რომელიც შემდეგ ნახაზზეა გამოსახული.



ცხადია, რომ ელექტრული ველი იზრდება, თანაც იზრდება იგი სწორხაზოვნად, რადგანაც მუხტის სიმკვრივე მუდმივია, გაიზრდება E_{max} , და შემდეგ დავარდება ნულამდე, რადგანაც შემდეგ

$$E_m = \frac{qN_D l_n}{\epsilon_0 \epsilon_n} = \frac{qN_A l_p}{\epsilon_0 \epsilon_n}$$

მუხტს აქვს სხვა ნიშანი.

ელექტრული პოტენციალი აგრეთვე მოიძებნება ელექტრული ვეილს გამოსახულების ინტეგრირებით, ამასთან ცნობილია, რომ პოტენციალი მოიქცევა ასეთნაირად: ჰორიზონტალურად, სადაც არ არის მუხტები, (არის ნეიტრალობა), და პარაბოლურად, სადაც არის მუდმივი მუხტი და ელექტრული ვეილს ხაზოვანი ზრდა. ზუსტად ასევე იქცევა ენერგეტიკული დონე, რადგანაც იგი განისაზღვრება როგორც ელექტრონის მუხტის ნამრავლი ძაბვაზე (თუმცა აქ უნდა მხედველობაში მიღებულ იქნას, რომ ელექტრონის მუხტი უარყოფითია, და პოტენციალი აისახება ჰორიზონტალთან შეფარდებით).

ეხლა გავარკვიოთ, რა მოუვა p-n გადასვლას, მასზედ ძაბვის მოდებისას? ს დამოკიდებული იქნება იმაზე თუ სად მოვდებთ პლიუსს და

სად მინუსს. ითვლება, რომ თუ პლიუსს მოვდებთ p – არეში, ხოლო მინუსს n – არეში, მაშინ ეს იქნება p-n გადასვლის პირდაპირი წანაცვლება, თუ კი საწინააღმდეგოდ მოვდებთ ამ ძაბვებს, მაშინ იქნება უკუ წანაცვლება p-n გადასვლისა.

p-n გადასვლის პირდაპირი წანაცვლების (პლიუსი p – არეში) შემთხვევაში, ელექტრონის ენერგია p – არეში იზრდება, ხოლო n – არეში კი მცირდება, ამიტომ პოტენციალური ბარიერი მცირდება. ასევე მცირდება მოცულობითი მუხტის სიგანე ფორმულის მიხედვით?.

ამრიგად, p-n გადასვლაში არის დიელექტრიკული არე, რომელიც პირდაპირი წანაცვლების დროს მცირდება სისქეში, ამიტომ ამ არის ელექტრული წინააღმდეგობა მნიშვნელოვნად მცირდება.

უკუ წანაცვლების დროს, (პლიუსი n – არეში) ელექტრონის ენერგია მცირდება n – არეში მცირდება, ეს არე ზონაში წანაცვლებს ქვემოთ, ხოლო p-ზონა წანაცვლებს ზემოთ. არიერის სიმაღლე მცირდება, ასევე ზემოთ მოყვანილი ფორმულის ძალით იზრდება სივრცული მუხტის არის სიგანე (აქ საჭიროა იმის მხედველობაში მიღება, რომ ამ შემთხვევაში ფორმულაში ჩაჯდება U). ანუ ამ შემთხვევაში დიელექტრიკული ფენა p-n გადასვლის შიგნითი ზრდება, და ამიტ სტრუქტურის ელექტრული წინააღმდეგობა იზრდება მოდებული ძაბვის ზრდის (მოდულით) შესაბამისად.

$$l(U) = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_n (\Delta\phi_0 - U)}{qN_A}}$$

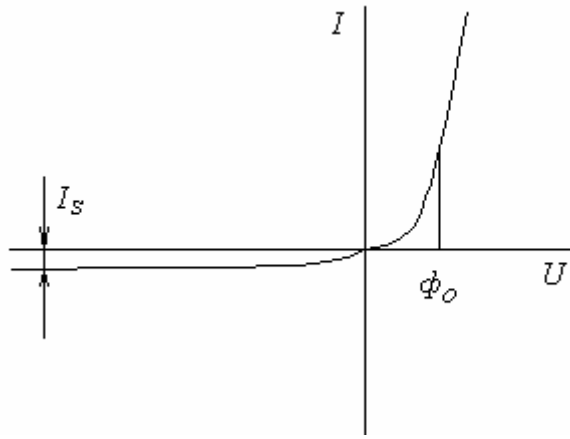
უფრო მკაცრ თეორიულ დასაბუთებას იძლევა ასეთი ფორმულა:

$$I = I_s [\exp(\frac{qU}{kT}) - 1]$$

სადაც I – დენია, რომელიც p-n გადასვლაში გადის;

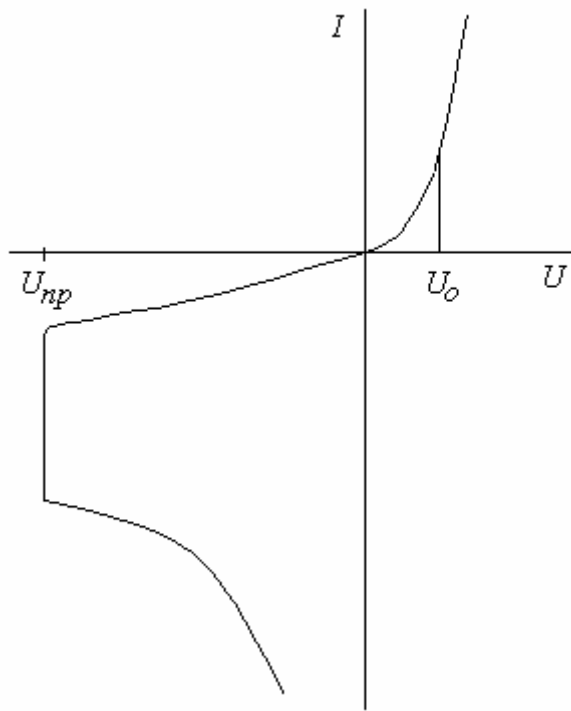
I_s – რაღაც მუდმივაა, რომელსაც დენის განზომილება აქვს და განისაზღვრება p და n ტიპის ელექტროგამტარებლობის მქონე მასალების თვისებებით.

ამ ფორმულის შესაბამისი მრუდი წარმოდგენილია ქვემოთ ნახაზზე.



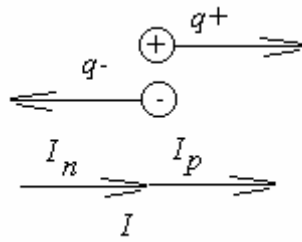
P-n გადასვლა, ანდა სხვაგვარად ნახევარგამტარული დიოდი, როგორც მას უწოდებენ, რომელსაც აქვს ასეთი ვოლტამპერული მახასიათებელი, გამოიყენება სხვადასხვა ანტენებიდან ანდა ელექტროქსელიდან მიღებული ელექტრული დენის გამართვისათვის. არდა ამისა ის ასევე ფართოდ გამოიყენება სხვა ნახევარგამტარულ მოწყობილობებში, სადაც გამოიყენება არა მართო ერთი p-n გადასვლა, არამედ 2, 3, და გაცილებით მეტი p-n გადასვლები, რომელთაც ჩვენ განვიხილავთ ქვემოთ. ამჯერად კი ჩვენ განვიხილავთ, p-n გადასვლების რეალური მახასიათებლები.

რეალური მახასიათებლები ძალზედ განსხვავდებიან იდეალურისაგან. ასე მაგალითად, პირდაპირ შტოშიარის რამდენიმე სხვაობა იდეალურისაგან, მაგრამ მთავარი ისაა, რომ ექსპონენტა ვრცელდება მხოლოდ U_{π} დაბვამდე. როდესაც $U > U_{\pi}$ პოტენციალური ბარიერი მთლად ქრება, და ამიტომ p-n გადასვლის ელექტრული წინააღმდეგობა ტოლი ხდება მხოლოდ p და n არეების ელექტრული წინააღმდეგობების ჯამისა, ხოლო თვითონ ფენის წინააღმდეგობა ქრება. მიტომ როდესაც $U > U_{\pi}$ ვოლტამპერული მახასიათებელი (ვამ) ხაზოვანია, ის. ნახაზი.



ასე, რომ პირდაპირ შტოში U_0 - ამდე ნარჩუნდება იდეალური მრუდი (ექსპონენტა), ხოლო შემდეგ კი იგი იღებს სწორხაზოვან ფორმას.

უკუ შტოში, ექსპონენტასთან ერთად, რომელიც ძალზედ სწრაფად გადადის გაჯერების მდგომარეობაში, არის კიდევ სხვა დენი, რომელიც გამოწვეულია მოცულობითი მუხტის არეში გენერირებული მუხტის მატარებლებით. საქმე იმაშია, რომ ოთახის ტემპერატურის დროს (და მით უფრო, მასზედ მაღალ ტემპერატურებზე) ნახევარგამტარში ყოველთვის იბადებიან ელექტრონები და ხვრელები (თერმოგენერაცია). ჩვეულებრივ ისინი, ცოტაოდენს გაივლ-გამოივლიან რა ნახევარგამტარში ხვდებიან ერთმანეთს და ილუპებიან (რეკომბინირებენ). აგრამ ის ელექტრონები და ხვრელები, რომლებიც დაიბადნენ მოცულობითი მუხტის ფენაში, ვერ ასწრებენ დადუპვას, რადგანაც იქ არის ელექტრული ველი, რომელიც გაქაჩავს მათ სხვადასხვა მხარეს. მაგრამ მაშინ, როგორც ეს ნახაზზეა ნმაჩვენები, p-n გადასვლის გავლით გაივლის ელემენტარული დენი. რაც მეტია მოცულობითი მუხტის ფენის სისქე, მით მეტია ჟამური დენი. ასე, რომ გაჯერების ჩვეულებრივ დენს, რომელიც არსებობს p-n გადასვლაში, ემატებაკიდევ დენი რომელიც პროპორციულია მოცულობითი მუხტის ფენის სისქისა, ანუ უკუ ძაბვის კვადრატული ფესვისა.



სხვადასხვა დიოდებში, რომლებიც დამზადებულია სხვადასხვა ნახევარგამტარებისაგან მოცულობითი მუხტის ფენის სისქე სხვადასხვაა, და ამიტომ მათ მიერ შეტანილი წვლილის ფარდობითი სიდიდე სხვადასხვაა. ჩვეულებრივ გერმანიუმის p-n გადასვლებში წვლილი მცირეა, ხოლო კრემნიუმის p-n გადასვლებში მეტი, და რეალურ კრემნიუმის დიოდებშიც უკუ დენი პრაქტიკულად ყოველთვის პროპორციულია ძაბვის მოდულის კვადრატული ფესვისა (დაახლოებით).

მაგრამ უკუ მიმართულების შემთხვევაში არის კიდევ ზოგიერთი ტავისებურებები, რომლებიც დაკავშირებულია მასთან, რომ p-n გადასასვლელზე ეცემა მეტი ძაბვა. ამიტომ რაღაც ძაბვასთან მიახლოების დროს ხდება ელექტრული გარღვევა ნახევარგამტარისა და იგი გამოდის მწყობრიდან.

ჩვენ აქ განვიხილავთ გარღვევის ერთერთ შესაძლებელ მეხანიზმს- ზვავისებურს. ამ შემთხვევაში, ელექტრული ველის საკმარისად დიდი დაძაბულობის დროს, ელექტრონი გამტარებლობის ზონაში ან ხვრელი სავალენტო ზონაში შეიძლება აჩქარდნენ, მანამდე, სანამ არ მოხდება მათი შეჯახება რაღაც დეფექტებთან, იმ ენერგიამდე, რომელიც საკმარისია ახალი ელექტრონებისა და ხვრელების დაბადებისთვის. სე, რომ ერთი ელექტრონის (ხვრელის) მაგივრად გაჩნდა სამი ნაწილაკი. თვითოეული ეს ნაწილაკი თავის მხრივ თვითონაც შეუძლიათ აჩქარდნენ, იმავე დიდ სიჩქარეებამდე და გასამმაგდნენ. თუ ელექტრული ველის დაძაბულობა იზრდება, ამიტომ ზვავისებური პროცესი იზრდება – გასამმაგება ხდება შემდეგშიც და ნაწილაკების რაოდენობა მკვეთრად იზრდება. ვოლტამპერულ მახასიათებელზე ამას შეესაბამება თითქმის ვერტიკალური მონაკვეთი – ძაბვა არ იზრდება დენი კი მძლავრად იზრდება.

ამის შემდეგ დგება თბური გარღვევის მომენტი, ანუ მივიღებთ იმას, რომ დენის ზრდით იმატებს დიოდის ტემპერატურა, ამას მივყვართ კონცენტრაციის მომატებამდე თერმოგენერაციიდან გამომდინარე, დენი ისევ

იზრდება, რაც იწვევს ტემპერატურის ახალ ზრდას და ასე შემდეგ მანამ ნიშნში არ დაიწვება. მ მონაკვეთზე ვოლტ – ამპერული მახასიათებელს აქვს უარყოფითი დახრა – ანუ დიოდის დინამიური წინააღმდეგობა უარყოფითია.

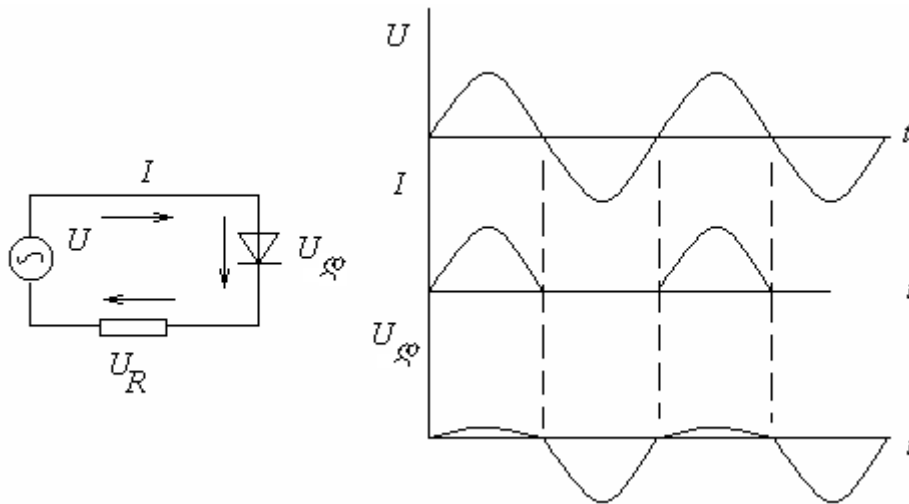
p-n გადასვლის სხვა პარამეტრებს მიეკუთვნება დიოდის პარაზიტული ტევადობა. იგი მიიღება იმიტომ, რომ p-n გადასვლაში ყოველთვის არის მოცულობითი მუხტის არე, ანუ არე, რომელშიც ყოველთვის არის მუხტი. ს მუხტი დამოკიდებულია მოდებულ ძაბვაზე. ნუ ეს არის ჩვეულებრივი კონდენსატორი. აგრამ ჩვეულებრივი კონდენსატორისაგან განსხვავებით p-n გადასვლას აქვს ტევადობა, რომელიც დამოკიდებულია ძაბვაზე. ამიტომ უფრო მოსახერხებელია ტევადობა კი არა, არამედ განვიხილოთ დინამიური ტევადობა p-n გადასვლისა.

$$C_{\text{ფ}} = \frac{dq}{dU} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_n S}{l}$$

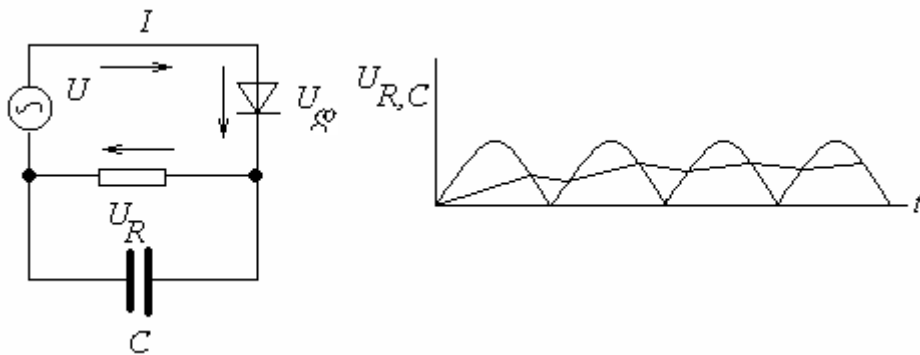
ეს ტევადობა თამაშობს დიდ როლს უკუ ძაბვის შემთხვევაში და მას ექოდება ბარიერული. თვალნათელია, რომ რაც მეტია უკუ ძაბვა, მით მეტია l და მით ნაკლები $C_{\text{ფ}}$. ირდაპირი წანაცვლებისას $C_{\text{ფ}}$ მაინც არსებობს, მაგრამ გაცილებით დიდ როლს თამაშობს დიფუზიური ტევადობა, რომელიც ცნდება იმასთან დამოკიდებულებით, რომ წარმოიშობა დიფუზია ელექტრონებისა და ხვრელებისა საწინააღმდეგო ტიპის ელექტროგამტარობასთან. აგრამ ამ ტევადობის განხილვა გაცილებით რთულია, და ჩვენ არ განვიხილავთ მას აქ.

ჩვენ განვიხილეთ რეალური თვისებები დიოდისა. ახლა კი განვიხილოთ დიოდის გამოყენება.

p-n გადასვლის ყველაზე მარტივი და თვალნათელი გამოყენებაა მისი გამმართველებად გამოყენება. მაგრამ ჯერ საჭიროა გაერკვეთ თუ რა საჭიროა ელექტრული დენის გამართვა. უპირველეს ყოვლისა ეს ცვლადი დენის გამართვაა, რაც საჭიროა სხვადასხვა სახის აპარატურის კვებისათვის მუდმივი დენით. ეს ჩვეულებრივ 50 ან 60 ჰც-ია, რაც საკმაოდ დაბალი სიხშირეა. ამიტომ ამ დიოდების სწრაფქმედება არ მოითხოვება, მაგრამ მოითხოვება საკმაოდ დიდი დენის გატარება, რაც მიიღწევა p-n გადასვლის საკმაოდ დიდი ზედაპირის გამოყენებით. ეს ეგრეთ წოდებული ძალოვანი დიოდებია. ენის გამართვა წარმოებს შემდეგი სქემის მიხედვით:



ელექტრომაგნიტური ძალის წყაროდან დენი გაივლის დიოდისა და შემდეგ დატვირთვის წინააღმდეგობის გავლით. დატვირთვის წინააღმდეგობაზე გამოიყოფა ძაბვა რომელიც ჩამოჰგავს დენის დიაგრამას, ე.ი ძაბვა იქნება ერთი ნიშნის, მაგრამ ძალზედ პულსირებული, რაც დაუშვებელია. რატომ უნდა შეიძლება სქემის გართულება ოთხი დიოდის გამოყენების გზით, ამ შემთხვევაში არ იქნება გამოტოვებები, მაგრამ იმპულსირება (პულსაცია) რჩება. ამისთავიდან ასაცილებლად იყენებენ სიგნალის ფილტრაციას, უმარტივეს შემთხვევაში კი იყენებენ კონდენსატორს:



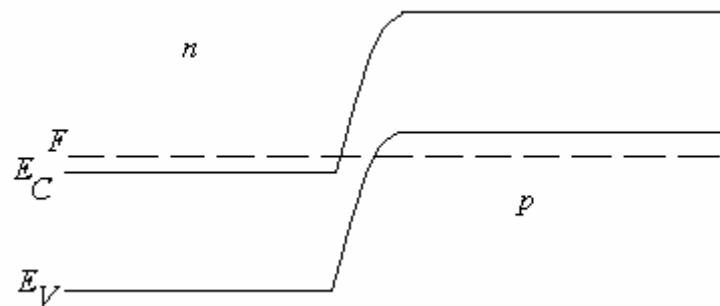
სხვა სიტუაცია წარმოიქმნება დიოდის გამოყენებისას რადიოსიგნალის გამართვისათვის. აქ უკვე სხვა სიხშირეებია – ასობით კილოგერციდან ასობით მეგაჰერცამდე. ამიტომ დიოდის მიმართ მთავარი მოთხოვნაა მისი მაღალ სიხშირეობა. ამიტომ დიოდებს აკეთებენ მცირე ფართობებზე და წერტილოვნებსაც კი, რომ შემცირდეს მათი პარაზიტული ტევადობა. აქ კიდევ შემორჩენილია წერტილოვანი დიოდები.

ზოგჯერ გამოიყენებენ დიოდის მახასიათებლის უკუ შტოს ვერტიკალურ მონაკვეთს ძაბვის სტაბილიზაციისათვის. დიოდები, რომლების სპეციალურად დამზადებულია ამ მიზნით იწოდებიან სტაბილიტრონებად. ძალზედ მნიშვნელოვანია დამზადდეს სტაბილიტრონები სხვადასხვა ძაბვებზე, ანუ

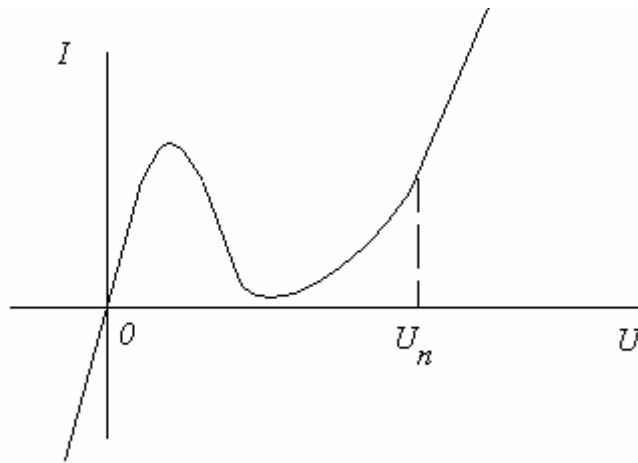
გააქტდეს p-n გადასვლა გარღვევის ძაბვის საჭირო მნიშვნელობისათვის. ეს მარტივად შეიძლება შესრულდეს საჭირო ხარისხის ლეგირების შერჩევით (p და n ტიპის დონორებისა და აქცეპტორების კონცენტრაცია).

p-n გადასვლის პარაზიტული ტევადობა ყოველთვის საზიანო არ არის. ზოგჯერ, როდესაც ტევადობა მნიშვნელოვანია, p-n გადასვლას იყენებენ კონდენსატორად. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ის, რომ ტევადობა შეიძლება ვარგულიროთ სხვადასხვა უკუ ძაბვის მოდების გზით. ამ მიზნისთვის სპეციალურად დამზადებული დიოდებს ვარიკაპები ეწოდებათ.

რამდენადმე განსხვავებული დიოდები მიიღებიან, როდესაც p და n არეები ძალზედ ლეგირებულნი არიან, ისე რომ ფერმის დონეები გამოდიან შესაბამის ზონებში:



მოცულობითი მუხტის არე ძალზედ პატარაა, რადგან დიდებია დონორთა და აქცეპტორთა მინარევების კონცენტრაცია. მიტომ ძალზედ დიდია ალბათობა იმისა, რომ ელექტრონები სავალენტო ზონიდან მაშინვე გადადიან გამტარებლობის ზონაში (და საწინააღმდეგოთ). ასეთ სტრუქტურაში მცირე ძაბვებისას გადიან ძალიან დიდი დენები. პირდაპირი მიმართულებით მცირე წანაცვლებისას ბარიერის სიმაღლე მცირდება, და ქრება სავალენტო ზონის და გამტარებლობის ზონის გადაფარვა, დენი მცირდება, ხოლო შემდეგ როდესაც ბარიერი საერთოდ ქრება, დენი ისევ იზრდება. ეს ეგრეთწოდებული გვირაბული დენია. ისი მახასიათებელი ნაჩვენებია ნახაზზე ქვემოთ:



გვირახული დიოდის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია ის, რომ მას აქვს მონაკვეთი უარყოფითი დიფერენციალური წინააღმდეგობით. ეს შესაძლებლობას გვაძლევს გავაკეთოთ მასზე ცვლადი სიგნალის მარტივი გენერატორი, თანაც ძალზედ მაღალსიხშირული (ზემაღალი სიხშირე (ზმს)).

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ის, რომ p - n გადასვლები შეიძლება ურთიერთქმედებდნენ სხვადასხვა გამომსხივებლებთან. თუ p - n გადასვლა ურთიერთმოქმედებს სინათლესთან მაშინ მას ფოტოდიოდი ექოდება.

ვანტური მექანიკიდან გამომდინარე სინათლე შეიძლება განვიხილოთ ორგვარად: ერთის მხრივ ეს ელექტრომაგნიტური ტალღაა, ხოლო მეორეს მხრივ იგი ნაწილაკების – ფოტონების ნაკადია. ნახევარგამტარისა და სინათლის ურთიერთქმედება მოსახერხებელია განვიხილოთ ფოტონებიდან გამომდინარე.

როდესაც ფოტონი მოხვდება ნახევარგამტარში, ის შეიძლება შეეჯახოს სავალენტო ზონის ელექტრონს. ამ დროს ფოტონი აძლევს ენერგიას ელექტრონს და ქრება. თუ კი ფოტონი სპექტრის ხილული ნაწილიდანაა, მაშინ მისი ენერგია სრულიად საკმარისია ელექტრონის და ხვრელის ფოტოგენერაციის მოსახდენად (ელექტრონი სავალენტო ზონიდან გადადის გამტარებლობის ზონაში, ხოლო ხვრელი რჩება სავალენტო ზონაში).

როდესაც ფოტონი ხვდება ნეიტრალურ არეში, მაშინ ახლადდაბადებული წყვილები (ელექტრონი და ხვრელი) ქაოტურად გადაადგილდებიან რა მცირე ხნის განმავლობაში კრისტალური მესერის გასწვრივ, შეიძლება ერთმანეთს შეხვდნენ და რეკომბინირდნენ. ქედან გამომდინარე, რადგანაც წყვილების სიცოცხლის დრო მცირეა, მათ მიერ

გამოწვეული ეფექტი ძალზედ სუსტია. სხვა საქმეა, თუ ფოტონი ჩაიყლაპება სივრცული მუხტის არეში – ასეთ შემთხვევაში დაბადებული წყვილები ამ არის ელექტრული ველის ძალით გაიყოფიან ერთმანეთისაგან, ისე რომ ერთი ფოტონის შთანთქმის შემდეგ $p - n$ გადასვლის გავლით გაივლის ერთი მუხტის დენი.

თუ ფოტოდირექტო ჩართულია მოკლედშერთულ წრედში, მაშინ რაც მეტია ფოტონების ნაკადი, მით მეტია ფოტოდენი, ასეთი ფოტოდირექტები გამოიყენებიან განათებულობის რეგისტრაციისათვის.

თუ კი ფოტოდირექტო ჩართულია ღია წრედში, მაშინ ფოტოგენერაცია იწვევს n არის დამუხტვას უარყოფითად და p არის დამუხტვას დადებითად. აგრამ ამ შემთხვევაში მცირდება პოტენციალური არბერის სიმაღლე, და შესაბამისად ელექტრული ველის სიდიდე მოცულობითი მუხტის არეში. ოლო ბოლო $p - n$ გადასვლაზე წარმოიქმნება პოტენციალთა სხვაობა, რომელიც ტოლია U_n პოტენციალების კონტაქტური სხვაობისა, და შემდგომი დაყოფა ფოტოგენერაციის წყვილებისა შეწყდება.

ეს მოვლენა ჩვეულებრივ გამოიყენება მზის ბატარიებში, სადაც გროვდება ასერტო ბატარეაში დიდი რაოდენობის იაფფასიანი დიდი ფართობის კრემნიუმის დიოდები, მათი პოტენციალების კონტაქტური სხვაობა შეადგენს 0,6 ... 0,8 ვოლტს.

ნახევარგამტარულ დიოდებს გამოიყენებენ აგრეთვე სინათლის შუქის გამოსხივებისათვის. ამ ფუნქციას ასრულებენ ეგრეთწოდებული შუქდიოდები. სამწუხაროდ არც გერმანიუმს და არც კრემნიუმს არ შეუძლიათ ფოტონების ბგამოსხივება, რადგან ისინი სწორზონური არ არიან. სწორზონურ ნახევარგამტარებს მიეკუთნება მაგალითად გალიუმის არსენიდი ($AsGa$), რომელიც გამოსახულია მარცხნივ, ხოლო Ge და Si მარჯვნივ.

გერმანიუმში და კრემნიუმში გვერდითი მინიმუმი განთავსებულია ცოტა ქვემოთ ძირითადისაგან და მას ავსებენ ელექტრონები, ამიტომ მათ შეუძლიათ რეკომბინაცია მხოლოდ ენერჯისა და იმპულსის გამოყოფით, $AsGa$ -ში კი სწორი ზონებია და ამიტომ რეკომბინაცია ხდება იმპულსის გამოყოფის გარეშე. (გამოიყოფა მხოლოდ ენერჯია). მიტომ გერმანიუმში და კრემნიუმში გამოიყოფიან ფოტონები (რომელსაც აქვს იგივე იმპულსი), ხოლო გალიუმის არსენიდში – ფოტონი (რომელსაც არ აქვს იმპულსი).

მაგრამ გალიუმის არსენიდში გამოსხივებული ტალღის სიგრძე 1 მკმ-ზე მეტია, ანუ იგი გამოასხივებს სპექტრის ინფრაწითელ არეში. ტალღის საუბრო

სიგრძე მიიღება გალიუმის ფოსფიდში, რადგანაც მას უფრო ფართო აკრძალული ზონა აქვს და ამიტომ იგი შეესაბამება ხილულ სხივს.

ლექცია 16. ბიპოლარული ტრანზისტორები

წინა ლექციაზე ჩვენ განვიხილეთ ერთი $p - n$ გადასვლის (დიოდის) მუშაობა. მაგრამ ცნობილია, რომ გაცილებით მეტი გამოყენებაა წვთ იმ ნახევარგამტარულ მოწყობილობებს, რომელთაც აქვთ სხვადასხვა ელექტროგამტარებლობის უფრო მეტი ფენები, რომლების განლაგებულია სხვადასხვა მონაცვლეობით. განვიხილოთ ერთერთი მათგანი ბიპოლარული ტრანზისტორი.

ბიპოლარული ტრანზისტორის მუშაობის პრინციპი დამყარებულია მასქედ, რომ $2 p - n$ გადასვლა განლაგებულია ისე ახლოს ერთმანეთთან, რომ ადგილი აქვს მალ ურთიერთგავლენას, რის შედეგადაც მათ შეუძლიათ ელექტრული სიგნალების გაძლიერება.

როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები ესაა სამი არე - n, p და n . (პრინციპში შეიძლება შებრუნებითაც იყოს - p, n და p). ყველა განმართება, რაც ეხება ერთი ტიპის ტრანზისტორს სამართლიანია მეორე ტიპის ტრანზისტორისთვისაც, იმ განსხვავებით, რომ ძაბვების პოლარობა მოდებული მათ გამომყვანებზე იქნება სხვადასხვა. სიმართლისათვის ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ $n - p - n$ ტიპის ტრანზისტორს, როგორც ნაჩვენებია ნახაზზე.

ამრიგად ნახაზზე გამოსახულია სამი ფენა: პირველი ესაა ელექტრონული ელექტროგამტარებლობის, რომელიც ძალზედ ლეგირებულია ამითომ უფრო მძლავრია, იგი აღინიშნება პლიუს-ემიტერით, მეორეა ხვრალური ანუ ბაზა და მესამე ისევე ელექტრონულია, მაგრამ უფრო სუსტად ლეგირებულია (იქ ელექტრონების კონცენტრაცია ყველაზე მცირეა) და მას ეწოდება კოლექტორი.

ბაზის სისქე L_b ანუ მანძილი ორ $p - n$ გადასვლას შორის, ძალზედ მცირეა. ის ბაზაში ელექტრონის დიფუზიურ სიგრძეზე ნაკლები უნდა იყოს, რომელიც ერთეულიდან ათეულობით მკმ-ია. ბაზის სისქე კი არ უნდა იყოს რამდენიმე ერთეულ მიკრონზე მეტი. (ადამიანის თმის სისქე ტოლია 20 ... 50 მკმ. უნდა აღინიშნოს, რომ ეს ახლოსაა ადამიანის თვალის გარჩევადობასთან, რადგანაც ჩვენ არ შეგვიძლია დავინახოთ არაფერი ამაზე ნაკლები, ვიდრე

სინათლის ტალღის სიგრძეა, ანუ დაახლოებით 0,5 მკმ). თრანზისტორის ყველა სხვა დანარჩენი ზომები დაახლოებით 1 მმ-ზე მეტი არ არის.

ტრანზისტორის ფენებს მიაწოდებენ ძაბვებს ისე, რომ ემიტერული p- n გადასვლა წანაცვლებულია პირდაპირი მიმართულებით, და მის გავლით გადის დიდი დენი, ხოლო კოლექტორული p- n გადასვლა წანაცვლებულია საწინააღმდეგო მხარეს, ისე რომ მის გავლით დენი არ უნდა გავიდეს. მაგრამ იმასთან დაკავშირებით, რომ p- n გადასვლები განთავსებულია ერთმანეთთან ახლო მანძილზე, ამიტომ მათ გავლენა აქვთ ერთმანეთზე და სურათი იცვლება: ელექტრონების დენი, რომლებიც გავიდნენ ემიტერული p- n გადასვლის გავლით, მიაღწევს კოლექტორულ p- n გადასასვლელს, და ამ უკანასკნელის ელექტრული ველით შეიზიდებიან კოლექტორში. მის შედეგად კარგ ტრანზისტორებისთვის პრაქტიკულად კოლექტორის მთელი დენი ტოლია ემიტერული დენისა. ენის კარგეები ძალზედ უმნიშვნელოა: იკარგება რამდენიმე პროცენტი და პროცენტის ნაწილიც კი.

განვიხილოთ უფრო დაწვრილებით დენების შემადგენელენი n- p- n ტიპის ბიპოლარულ ტრანზისტორში., რაც გამოსახულია ნახ:

ზედა დენი (დიდი მსხვილი ისარი მინუსით) – ეს კოლექტორების დენია ემიტერიდან კოლექტორისაკენ. ემიტერში ელექტრონები ბევრია, ამიტომ ეს დენი დიდია. ღოდესაც ელექტრონები შევლენ ბაზაში მის შემდეგ ისინი მოძრაობენ დიფუზიის ხარჯზე (ბაზაში ელექტრული ველი არ არის) – მარცხნივ ელექტრონები ბევრია, მარჯვნივ კი ცოტა. მაშასადამე ისინი მოძრაობენ მარცხნიდან მარჯვნივ. ბაზის ბოლოში ისინი ხვდებიან კოლექტორული p- n გადასვლის ელექტრული ველის არეში, რომლებიც გამოქაჩავენ ელექტრონებს ბაზიდან კოლექტორში. დადგანაც ეს ველი დიდია, ამიტომ ელექტრონების კონცენტრაცია ბაზაში უშუალოდ კოლექტორულ p- n გადასვლასთან პრაქტიკულად ნულის ტოლია. ამითომ ელექტრონების კონცენტრაციის გრადიენტი ბაზაში ძალზედ დიდია- მარცხნივ ის ძალზედ დიდია, მარჯვნივ – თითქმის ნული, ხოლო ბაზის სიგრძე ძალზედ მცირეა:

$$\text{გრადიენტი} = \frac{dn}{dx} = \frac{n_0 - 0}{l_b}$$

სადაც n_0 - ელექტრონების კონცენტრაციაა ბაზაში მარცხნივ (ემიტერთან),

ძალზედ დიდია. ამიტომ დიფუზიური დენი ძალზედ დიდია, ხოლო დრეიფული დენი საერთოდ არ არის.

სინამდვილეში ის არის, მაგრამ ძალზედ მცირეა. მართლაცდა ძაბვა კი მიექოდება ბაზას, მაგრამ გვერდიდან, და მცირე (ერთ ვოლტზე მეტი არა). ხოლო ელექტრული ველის დაძაბულობა გაიანგარიშება როგორც ძაბვის ფარდობა მანძილთან, რომელზედაც ეს ძაბვა მოედება. ჩვენ შემთხვევაში მანძილი – ეს ტრანზისტორის სისქეა იმ მიმართულებით, რომელიც პერპენდიკულარულია დიფუზიური დენის, და ეს სისქე 10 ... 1000 ჯერ მეტია L_D -ზე. ამიტომ დრეიფული დენი მნიშვნელოვნად მცირეა დიფუზიურის, მეორე მცირე ელექტრონული დენი ნახაზზე, რომელიც ნაჩვენებია წვრილი ხაზით და უხვევს ბაზური კონტაქტისაკენ.

მეორე მცირე დენი ელექტრონებისა – ეს ის ელექტრონებია, რომლებიც შეხვდნენ ბაზაში ხვრელებს და რეკომბინირდნენ. ხვრელები რომლებიც საჭიროა ამისათვის შეიძლება შემოედინონ ბაზური კონტაქტისაგან, რადგანაც ემიტერში და კოლექტორში ისინი არ არიან. ეს დენი თავიდან აღნიშნულია მინუსით, შემდეგ კი ის ხვდება ხვრელურ დენს, რომელიც აღნიშნულია პლიუსით, და გამოდის ბაზური კონტაქტისაგან.

ესამე მცირე დენი – ეს ხვრელების დიფუზიური დენია ბაზიდან ემიტერში. ის გაცილებით მცირეა ელექტრონების დიფუზიური დანისა (ემიტერიდან ბაზაში), იმიტომ რომ ელექტრონები ემიტერში გაცილებით დიდია, ვიდრე ხვრელებისა ბაზაში (გაგახსენებთ, რომ ემიტერი ყველაზე უფრო მეტად ლევირებული არეა n-p-n ტიპის ბიპოლარულ ტრანზისტორში).

ეს გამოსახულია უწვრილესი ხვრელური დანით, რომელიც ასევე შეიძლება დაიწყოს ბაზურ კონტაქტზე, და დამტავრდეს ემიტერულ კონტაქტზე.

ამრიგად, არის სამი პატარა დენი, რომლებიც ყეჭველად უნდა გადიოდნენ ბაზიდან ემიტერში; ეს არის ელექტრონების დრეიფული დენი (იგი უფრო მცირეა ვიდრე დიფუზიური), რეკომბინაციის დენი (ისიც მცირეა, რადგან მცირეა ბაზის სისქე) და დიფუზიის ხვრელური დენი (იგიც მცირეა, რადგანაც ხვრელების კონცენტრაცია ბაზაში უფრო მცირეა, ვიდრე ელექტრონების კონცენტრაცია ემიტერში). და არის დიდი დიფუზიური დენი ელექტრონებისა ემიტერისგან ბაზაში, რომელიც მიმართულია კონექტორული p-n გადასვლისაკენ და მისი ელექტრონული ველითმიიზიდება კოლექტორში.

ოლექტორული დენის სეფარდება ბაზურთან ეს ის მთავარი კოეფიციენტია ტრანზისტორისა, რომელიც გვიჩვენებს მის გაძლიერების შესაძლებლობებს:

$$\beta = \frac{I_{\sigma}}{I_{\kappa}}$$

რადგანაც $I_{\sigma} \gg I_{\kappa}$, ამიტომ ეს სიდიდე დიდი, ანუ ტრანზისტორი აძლიერებს დენს. ჩვეულებრივ β შეადგენს 10 – 300, იშვიათ შემთხვევაში (ზალიან ფართოხოლიან ტრანზისტორების მაგალითზე) β შეიძლება იყოს უფრო მცირე (დაახლოებით 2 – 5), ანდა უფრო მეტი, (5 000 – 10 000) რაც გააჩნიათ სუპერბეტა ტრანზისტორებს.

მრიგად, ტრანზისტორის ბაზის დენი ძალეზედ მცირეა, ამიტომ ემიტერის დენი პრაქტიკულად სულ მთლად გარდაიქმნება კოლექტორის დენად, და მხოლოდ მისი მცირე ნაწილი გარდაიქმნება ბაზის დენათ:

$$I_{\sigma} = I_{\kappa} + I_{\sigma} \quad I_{\sigma} \ll I_{\sigma}, I_{\kappa}$$

$$I_{\sigma} = I_{\kappa} + I_{\sigma} \quad I_{\sigma} \ll I_{\sigma}, I_{\kappa}$$

$$\alpha = \frac{I_{\kappa}}{I_{\sigma}} = \frac{I_{\kappa}}{I_{\kappa} + I_{\sigma}} = \frac{\frac{I_{\kappa}}{I_{\sigma}}}{\frac{I_{\kappa}}{I_{\sigma}} + 1} = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

β დაკავშირებულია α – სთან ფორმულით I_{κ}/I_{σ} :
და საწინააღმდეგოდ:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

რათქმა უნდა α ძალიან ახლოსაა ერთთანთან, მაგრამ $\alpha < 1$.

მრიგად, ნათელია თუ საიდან მიიღება დანის მიხედვით გაძლიერება ტრანზისტორში: თუ კი ბაზაზე მივაწოდებთ მცირე სიდიდის დენს, მაშინ ემიტერსა და კოლექტორში გაივლიან დენები, β და $\beta+1$ ჯერ მეტი ვიდრე ბაზაში. მაგრამ ელექტრონიკაში გაცილებით უფრო ხშირად გამოიყენება ძაბვის გამაძლიერებლები. როგორ მიიღება ეს?

ჩვეულებრივად მართავენ ტრანზისტორით, მის ემიტერულ p- n გადასვლელებზე, რომელიც პირდაპირი მიმართულებით არის წანაცვლებული, დენის ან ძაბვის მიწოდებით. ამასთან მასვე ძაბვის ვარდნა ძალზე დიდი არ არის – დაახლოებით პოტენციალების კონტაქტური სხვაობისა, რომელიც 0,6

... 0,7 ვოლტის ტოლია. სე იგი ძაბვის ცვლადი ნაწილი საერთოდ ძვეს 0,1 ვოლტის სიახლოვეში.

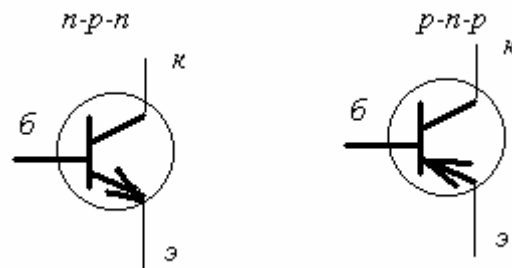
გამომავალი დენი, რომელადაც კოლექტორული დენი ითვლება საერთოდ არ არის დამოკიდებული კოლექტორზე მოდებულ ძაბვაზე, თუ კი იგი მთლად ნულთან ანდა უარყოფითი არ არის. ამიტომ თუ კი შევავრთებთ კოლექტორს ძაბვის წყაროსთან წინააღმდეგობის გავლით, მაშინ დენი I_k რომელიც გადის ამ წინააღმდეგობის გავლით და რომელიც დამოკიდებულია მხოლოდ შესასვლელზე მოდებულ ძაბვაზე, გამოყოფს ძაბვას ამ წინააღმდეგობაზე, მით მეტს, რაც მეტია ეს წინააღმდეგობა.

ნათელია, რომ მაქსიმალური გამოსასვლელი წინააღმდეგობა ტოლია წყაროს ძაბვისა E_n , რომელიც შეიძლება იყოს 5 ... 15 ვოლტი და შეიძლება მეტიც კი. დაუშვათ $E_n=10$ ვ, მაშინ

ამრიგად, ჩვენ გავიგეთ თუ რის ხარჯზე წარმოიქმნება ძაბვის მიხედვით გაძლიერების კოეფიციენტი. ეხლა განვიხილავთ ამას უფრო დაწვრილებით ტრანზისტორის კონკრეტული ჩართვის სქემების გათვალისწინებით.

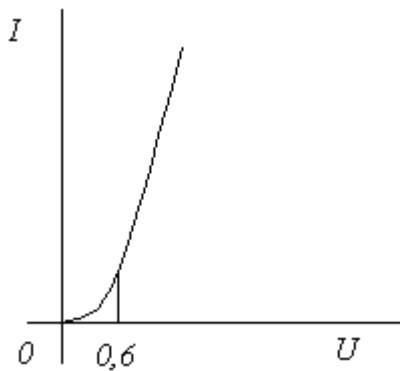
$$K_{აქვ} = E_n / U_{აქვ} = 10 ვ / 0,1 ვ = 100$$

ჩვეულებრივ სქემებში ბიპოლარული ტრანზისტორები ასეთნაირადაა გამოსახული:



როგორც ჩანს, ტრანზისტორის სქემატიური გამოსახულება საგნებით არ ჰგავს მის ნამდვილ კონსტრუქციას. მაგრამ ასეა მიღებული. წრეხაზი განასახიერებს ტრანზისტორის კორპუსს, ინდექსით "ნ" აღნიშნულია კონტაქტი ბაზასთან "კ" არის კონტაქტი კოლექტორულ არესთან, ხოლო "ე" – კი ემიტერულ არესთან. ისრის მიმართულება ემიტერულ კონტაქტთან უჩვენებს ტრანზისტორის ტიპს (n- p- n ან p- n- p).

გამაძლიერებელი კასკადის შესასვლელი არის ემიტერული p- n გაადასვლა ანუ ნ-ე კონტაქტები. პირდაპირი წანაცვლების დროს ეს პირდაპირი ძაბვა ემიტერული p- n გაადასვლისათვის ანუ ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელს (ვამ) აქვს ასეთი სახე:



თუ ტრანზისტორი ღიაა, მაშინ ძაბვა p- n გადასვლაზე დაახლოებით 0,6 ვოლტის ტოლია. თუ ის 0,1 ვოლტზე ნაკლებია, მაშინ დენი მცირდება. გამოვიანგარიშოთ, რამდენჯერ მცირდება დენი, თუ კი ძაბვა შემცირდება 0.1 ვოლტით. გავიხსენოთ, რომ $kT/q=0.026$ ვ, ამიტომ დენის ცვლილება შეიძლება მიახლოებით გავიანგარიშოთ ფორმულით:

$$I(0,6)/I(0,5) = \exp(0,1/0,026) \approx \exp(4) = 50$$

ამრიგად დენი დავარდება დაახლოებით 50 ჯერ, და შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ტრანზისტორის გავლით დენი არ გადის.

ესლა განვიხილოთ n- p- n ტრანზისტორის გამომავალი მახასიათებლები ანუ (ვამ) კოლექტორზე. დასაწყისში ჩავთვლით, რომ ტრანზისტორი ჩართულია საერთო ბაზის სქემით.

ჩვენ ვხედავთ, რომ ემიტერულ p- n გადასვლაზე მოდებულია პირდაპირი წანაცვლება: პლიუსი ბაზის კონტაქტზე, ხოლო მინუსი ემიტერულ კონტაქტზე. კოლექტორულ p- n გადასვლაზე მოდებულია უკუ ძაბვა. ამ შემთხვევაში კარგ ტრანზისტორში კოლექტორული დენი სულ უმნიშვნელოდ მცირეა ემიტერულზე. ამიტომ ვოლტამპერული მახასიათებლები უნდა იყოს ჰორიზონტალური.

ეს მარცხენა ნახაზია. წარმოდგენილია ოთხი ხაზი ემიტერის ოთხი დენისათვის. სინამდვილეში ისინი გამოიყურებიან ცოტა სხვაგვარად ის. მარჯვენა ნახაზი. (ჯერ ერთი უარყოფითი ძაბვის დროს (და იქნება პირდაპირი წანაცვლება კოლექტორული p - n გადასვლისათვის) დენი სწრაფათ ვარდება. ხოლო დადებითი ძაბვისათვის კოლექტორის დენები ცოტცოტა იზრდება, რაც ხდება იმიტომ, რომ ძაბვის ზრდით, იზრდება უკუ წანაცვლება კოლექტორულ p - n გადასვლაზე, ამავე დროს იზრდება მისი

მოცულობითი მუხტის არე, და ამიტომ მცირდება ბაზის ნეიტრალური ნაწილი. ს იწვევს მას, რომ სრული კოლექტორული დენი თანდათანობით იზრდება. ოლოს კი ხდება დენის მკვეთრი ზრდა, რომელიც დაკავშირებულია p - n გადასვლის გარღვევასთან.

უფრო ხშირად გამოიყენება სქემა საერთო ემიტერით. მ შემთხვევაში მრუდები მცირედ წაინაცვლებენ მარჯვნივ:

ამ შემთხვევაში ბაზაში და ემიტერში მიეწოდებატ ძაბვა ერთი ნიშნით, მაგრამ ბაზაძო მიეწოდება 0,7 ვოლტზე ნაკლები, ხოლო კოლექტორში 5 -15 ვ.

თუ კოლექტორულ წრედში ჩავრთავთ რეზისტორს, მაშინ დიდი დენების დროს ძაბვა შემცირდება და შეიძლება ნულსაც გაუტოლდეს. ამშემთხვევაში დამყარდება გაჯერების რეჟიმი: ძაბვა კოლექტორულ გადასასვლელზე გახდება პირდაპირი, დენი გაივლის კოლექტორიდან ბაზაში და ემიტერიდან ბაზაში, კოლექტორულ წრედში დენი შეწყდება, ხოლო ბაზაში დაიწყება ელექტრონების დაგროვება. ეს არის ეგრეთწოდებული გაჯერების რეჟიმი. გაჯერების რეჟიმი ძალიან უსიამოვნო მოვლენაა, რადგანაც ამ დროს ბაზაში მატარებლების დაგროვებით მკვეტრად უარესდება ტრანზისტორის სწრაფქმედება. სერთო ბაზის სქემაში ასეთი რამე არ ხდება.

აღვნიშნავთ აგრეთვე, რომ კოლექტორის დენის ზრდა, რომელიც მასზედ ძაბვის ზრდით არის გამოწვეული შეიძლება შეიძლებაქ დახასიათდეს კოლექტორის დიფერენციალური წინააღმდეგობით

$$r_{\kappa\theta} = \frac{\Delta U_{\kappa}}{\Delta I_{\kappa}}$$

დიფერენციალური კოლექტორული წინააღმდეგობა ასერთო ემიტერიან სქემაში (სე), რამდენჯერმე მცირეა ვიდრე სასერთო ბაზიან სქემაში (სბ).

ახლა განვიხილოთ უფრო დაწვრილებით ტრანზისტორის ჩართვის სამი ყველაზე ტიპური სქემა, ესენია: საერთო ემიტერით, საერთო კოლექტორით და საერთო ბაზით. ამ სქემებში საერთო ეწოდება იმ კონტაქტს, რომელიც დაკავშირებული მიწასთან პირდაპირ ან კვების წყაროს დაბალი წინააღმდეგობის გავლით. ხოლო სხვა კონტაქტებზე იქნება მიწოდებული და გამოსასვლელი სიგნალები.

საერთო ემიტერულ სქემებში შესასვლელი სიგნალი მიეწოდება ბაზაზე, ხოლო გამომავალი სიგნალი იხსნება კოლექტორისაგან. შქემა და გამომავალი მახასიათებლები გამოსახულია ნახაზზე:

აქედან ჩანს, რომ სქემა ძალზედ გართულდა, მაგრამ მთავარი რაც აქ არის – ეს R_k რეზისტორია, რომელიც განსაზღვრავს ძაბვის მიხედვით გაძლიერების კოეფიციენტს, და რომელიც ერთეული კოლომიდან მეგაომამდე ფარგლებში იცვლება. (რაც მეტია ეს რეზისტორი, მით მეტია გაძლიერება), ყველა დანარჩენი ელემენტი კი მეტ-ნაკლებად პირობითია.

R_m – რეზისტორი უპირველეს ყოვლისა აუცილებელია ტრანზისტორის თერმოსტაბილიზაციისათვის. ეს ხორციელდება მუდმივი დენის მიხედვით უკუ კავშირის წყალობით, რომელსაც ჩვენ ვემოთ განვიხილავთ. C_s – კონდენსატორი, რომელიც აშუნტებს ამ წინააღმდეგობას მუშა სიხშირეებზე, ისე რომ ცვლადი სიგნალის შემთხვევაში ეს რეზისტორი თითქოსდა საერთოდ არ არის. ეს კონდენსატორი რამდენიმე მიკროფარადია. იგი ჩვეულებრივ ელექტროლიტური კონდენსატორია.

C_p – ეს დამყოფი კონდენსატორებია, რომლებიც გამოჰყოფენ სიგნალების მუდმივ მდგენელებს შესასვლელებსა და გამოსასვლელებზე, გარე სიგნალებისგან. ჩვეულებრივ ეს რამდენიმე მიკროფარადია.

$R_{\delta 1}$ – ეს მნიშვნელოვანი რეზისტორია, რომელიც ტრანზისტორის მუსაობას მართავს და მისი მოვალეობაა ტრანზისტორის მუშა წერტილის დაყენება. ეს რეზისტორი აყენებს ბაზის დენის მუდმივ მდგენელს და მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია R_k წინააღმდეგობის სიდიდეზე.

$R_{\delta 2}$ – პრაქტიკულად არა საჭირო რეზისტორია, უბრალოდ იდგმება სქემაში უბრალოდ ტრანზისტორის დაცვისათვის გადაწვისაგან. ისი მნიშვნელობა უნდა იყოს დიდი, რადგან იგი შესასვლელის პარალელურად დგას და შეიძლება იგი დაამოკლოს. ჩვეულებრივ მისი სიდიდე 1 ან რამდენიმე კილომი, რადგან ტრანზისტორის შესასვლელი წინააღმდეგობა მცირეა.

R_H – დატვირთვის წინააღმდეგობაა, იგი რაც მეტია მით უკეთესია, რადგან იგი ჩართულია ტრანზისტორის გამოსასვლელის პარალელურად, და თუ იგი მცირე იქნება გამოსასვლელი სიგნალი დავარდება.

U_{ex} – ეს სიგნალია ტრანზისტორის შესასვლელზე. როგორც ნახაზიდან ჩანს შესასვლელზე ბევრი სხვადასხვა დეტალია რეზისტორები, კონდენსატორები. მაგრამ მუშა სიხშირეებზე კონდენსატორები ნაკლებ

წინააღმდეგობას უწევს სიგნალებს და ამიტომ ისინი კარგად ატარებენ ამ სიგნალებს. რაც შეეხება ორ პარალელურ რეზისტორს $R_{\delta 1}$ და $R_{\delta 2}$, ისინი საკმაოდ დიდებია ტრანზისტორის შესასვლელის წინააღმდეგობაზე, ამიტომ მხედველობაში ვიღებთ მხოლოდ მის წინააღმდეგობას.

ჩვეულებრივ თვითონ ტრანზისტორის საკუთრივ წინააღმდეგობები აღინიშნება პატარა ასოებით:

r_{δ} – ტრანზისტორის ბაზური არის წინააღმდეგობაა, იგი ჩვეულებრივ ძალიან მცირეა – რამდენიმე ომიდან ათეულობით ომამდე;

r_{ϵ} – ტრანზისტორის ემიტერული არის წინააღმდეგობა (ათეულობით ან ასეულობით ნაწილი ომისა) და ემიტერული p – n გადასვლის წინააღმდეგობაა რომელიც ჩვეულებრივ წანაცვლებულია პირდაპირი მიმართულებით. ღია ტრანზისტორის დროს ეს ჩვეულებრივად 10 ... 100 ომია.

ახლა შევაფასოთ r_{ϵ} წინააღმდეგობა პირდაპირ წანაცვლებული p – n გადასვლის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის ფორმულისაგან:

$$\frac{dI}{dU} = \frac{1}{r_{\epsilon 0}} = I_s \exp\left(\frac{qU}{kT}\right) = I_s \frac{q}{kT}$$

(ჩვეულებრივ, პირდაპირი წანაცვლების დროს ერთ ერთეულს ყურადღებას არ ვაქცევთ). შევაფასოთ დიფერენციალური სიდიდე r_{ϵ} გავაწარმოთ ფორმულა U -თი: ანუ

$$r_{\epsilon 0} = \frac{kT}{qI}$$

აქედან ჩანს, რომ p – n გადასვლის წინააღმდეგობა დამოკიდებულია მხოლოდ იმ დენზე, რომელიც მასში გადის. ასე მაგ. 1 მა დენის დროს ოთახის ტემპერატურისას (დაახლოებით 300⁰K) მიიღება 0,026B/10⁻³ = 26 ომი, ხოლო 10 მა-ს დროს კი 2,6 ომი.

მაგრამ ბაზის წინააღმდეგობა როგორც ტრანზისტორის შესასვლელი წინააღმდეგობა უფრო ძნელად განსასაზღვრავია. შაქმე იმაშია, რომ ბაზის დენი უნდა გაიზარდოს $\beta+1$ ჯერ(ეს ფარლობაა I_b/I_e). ამიტომ ძაბვაც, რომელიც ეცემა ემიტერულ p – n გადასვლაზე, გაიზრდება ამავე რიცხვჯერ: ამრიგად, ტრანზისტორის შესასვლელი წინააღმდეგობა ძალზედ იქნება დამოკიდებული β , r_{δ} და r_{ϵ} -ზე, ასევე ემიტერში გამავალ დენზე. მაგრამ ეს სიდიდე არც თუ ისე დიდია; თუ ჩავთვლით, რომ $\beta=100$, ხოლო დენი ტოლია 1

$$r_{ex} = r_{\delta} + (\beta+1)r_{\epsilon}$$

მილიამპერის, მაშინ ეს ქინააღმდეგობა დაახლოებით 2,6 კილომია, თუ კი დენი 10 მილიამპერია, მაშინ იგი 260 ომია, დიდ დენებზე უკვე საჭირო იქნება ბაზის წინააღმდეგობის დამატება.

$$I_{\sigma} = U_{ex} / r_{ex}$$

შესასვლელზე მოედება ძაბვა U_{ex} . დენი რომელიც ბაზაში გადის ტოლია:

$$U_{\text{ბსიX}} = E_n - R_k \beta I_{ex} = E_n - \frac{R_k \beta U_{ex}}{r_{ex}}$$

კოლექტორის გავლით გადის დენი $I_k = \beta I_{\sigma}$ გამოვთვალოთ პოტენციალი კოლექტორზე:

$$K_{ud} = \frac{dU_{\text{ბსიX}}}{dU_{ex}} = -\frac{R_k}{r_{ex}} \beta$$

ესლა ვიპოვოთ ძაბვის მიხედვით გაძლიერების კოეფიციენტი $K_u = U_{\text{ბსიX}}/U_{\text{ბX}}$, მაგრამ რადგანაც ამის გამოთვლა გაძნელებულია, მოვძებნით გაძლიერების დიფერენციალურ კოეფიციენტს:

აქედან ჩანს, რომ ძაბვის მიმართ გაძლიერების კოეფიციენტი უარყოფითია, ანუ გამოძაველი სიგნალი საწინააღმდეგო ფაზაშია შემავალთან, და საკმაოდ დიდია, რადგანაც $R_k \gg r_{ex}$ და $\beta > 10$.

საინტერესოა ასევე შევასრულოთ სქემის გრაფიკული გამოკვლევა. ეს შესაძლებლობას გვაძლევს შევასრულოთ მარჯვენა ნახაზი, სადაც მოცემულია გამ-ის ოჯახი.

$$E_n - R_k I_k = U_k$$

დაუშვათ, რომ ჩვენ შევძელით მოძებნა კონკრეტული გადაქვევება გრაფიკული მეთოდის დახმარებით. სიმარტივისათვის ვთვლით, რომ $R_s = 0$ $R_H = \infty$: ნათელია:

მარჯვნივ დავს ფუნქცია $U_k(I_k)$, ამ ფუნქციის ოჯახი არის ჩვენ გრაფიკზე. არცხნივ ასევე რაღაც ფუნქციაა I_k დან. მაგრამ ეს სწორი ხაზია, ეგრეთ წოდებული დატვირთვის ხაზი. ის განისაზღვრება კვების წყაროს ძაბვით და კოლექტორის წინააღმდეგობით ორი წერტილი, რომელთა გავლითაც გადის ეს სწორი არის:

I_k	U_k
0	E_n

E_k/R_k	0
-----------	---

დატვირთვის სწორი ხაზი აგრეთვე გამოსახულია ნახაზზე. მისი გადაკვეთა მრუდების ოჯახის ერთერთ მრუდთან ეს არის ჩვენი ამოცანის გრაფიკული გადაწყვეტა. და ეს გადაწყვეთა უფრო მართებულია, ვიდრე ჩვენი წინარე, რადგანაც ის ითვალისწინებს ნამდვილ გრაფიკებს.

ვთქვათ, შემავალი დენები ისეთებია, რომ მუშაობენ პირველი და მესამე მრუდები ოჯახიდან .

ახლა განვიხილოთ ტრანზისტორის ჩართვის სხვა სქემა.

ქ ტრანზისტორის შესასვლელზე ზუსტად იგივეა, რაც წინამდებარე სქემაში. კოლექტორში და ემიტერში კი განსხვავებულია! ოლექტორი შეერთებულია პირდაპირ კვების წყაროსთან, გამომავალი ძაბვა აღებულია ემიტერში ჩართული რეზისტორისგან.

ჩართვის ასეთი სქემა ძალზედ მოქმედებს სქემის შემავალ წინააღმდეგობაზე:

$$r_{ex} = r_o + (\beta + 1)(r_e + R_e)$$

თუ ტრანზისტორის შემავალი წინააღმდეგობა 3 კომ-ია, ხოლო $\beta=300$, მაშინ ფორმულის ძალით შემავალი წინააღმდეგობა იქნება დაახლოებით 1 მომ ანუ ეს ძალიან ბევრია.

რატომ მოხდა ასე? ეს მოხდა უკუ კავშირის ძალით. შაქმე იმაშია, რომ ტრანზისტორზე მოქმედებს ბაზასა და ემიტერს შორის პოტენციალთა

$$K_{ud} = \frac{1}{1 + r_e / R_e}$$

სხვაობა, და რაც მეტია ეს სხვაობა მით მეტია დენი ემიტერული $p - n$ გადასვლის გავლით, მით მეტია ზაბვის ვარდნა R_e რეზისტორზე, მაგრამ მით ნაკლებია პოტენციალთა სხვაობა ემიტერულ $p - n$ გადასვლაზე. კუ კავშირი 100 პროცენტია. ჩვენ შეიძლება გამოვთვალოთ გაძლიერების დიფერენციალური კოეფიციენტი შესაბამისი განტოლებების გადიფერენცირებებით. მივიღებთ: თუ $r_e = 30$ ომ, ხოლო $R_e = 3$ კომ, მაშინ $K_{ud} = 1/(1+30/3000)=0,99$. ჩანას, რომ K_{ud} 1-ზე ნაკლებია, მაგრამ ძალზედ ახლოსაა მასთან.

გამომავალი წინააღმდეგობა ძალზედ მცირდება R_e - სთან შედარებით.

თითქოსდა ასეთი მოწყობილობა მაინცდამაინც ძალიან საჭირო არ არის, რადგან გაძლიერების კოეფიციენტი ერთზე ნაკლებია. მაგრამ ის ფაქტი, რომ საერთო ემიტერულ სქემას ასეთი ცუდი მახასიათებელი აქვს გამოწვეულია იმით, რომ მას დაბალი შესასვლელი წინაღობა და მაღალი გამომავალი წინააღმდეგობა აქვს, ამიტომ გაძნელებულია ასეთი სქემების მიმდევრობითი შეერთება, რადგან ყოველი შემდგომი სქემა დაამოკლებს წინა სქემის გამომავალ სიგნალს. თუ კი საერთოემიტერულ სქემებს შორის ჩავრთავთ სქემებს საერთო კოლექტორით, მაშინ სე-ის სქემის მაღალი გამომავალი წინააღმდეგობა შეუთანხმდება სკ-ს სქემის ძალზედ დიდ შემავალ წინააღმდეგობას, ხოლო სკ-ის სქემის დაბალი გამომავალი წინააღმდეგობა შეუთანხმდება არა ძალზედ დაბალ შესასვლელ წინააღმდეგობას სე სქემისა.

ეს ხდება იმიტომ, რომ ძაბვის მიხედვით ერთეულგვანი გაძლიერება საერთო ემიტერული სქემისა, მას აქვს საკმაოდ დიდი გაძლიერების კოეფიციენტი დენის მიხედვით (დაახლოებით β).

არსებობენ კიდევ სქემები საერთო ბაზით. ისინი საკმაოდ იშვიათად გამოიყენება, ამიტომ მათ ჩვენ არ განვიხილავთ.

ჩვენ ქვემოთ მოვიყვანთ შედატრებითი მონაცემების ცხრილს ამ სქემების მიხედვით.

	r_{BX}	$r_{ВЫХ}$	K_u	K_i	K_p	შენიშვნა
ОЭ	საშუალო	მაღალი	დიდი	დიდი	ძალზე დიდი	სშირად გამოიყენება
ОК	ძალზე დიდი	ძალზე მცირე	1	დიდი	დიდი	სშირად არ გამოიყენება
ОБ	მცირე	ძალზე დიდი	დიდი	1	დიდი	იშვიათად გამოიყენება

ლექცია 5. ველიანი ტრანზისტორები

სამფენიანი p და n ტიპის სხვა მოწყობილობებია ველის ტრანზისტორები. კონსტრუქცია ველის ტრანზისტორებისა p – n გადასვლით წარმოდგენილია ნახაზზე:

როგორც ჩანს, აქაც სამი ფენაა n-, p- და n- ტიპის, (შეიძლება ეს მიმდევრობა საწინააღმდეგოდ იყოს დალაგებული p-, n- და p-ტიპებით). შესართავი (ნახაზზე აღნიშნულია შ ასოთი) და სათავეს შორის (ს) მოდებულია ძაბვა, ისეთი, რომ მუხტები (ამ შემთხვევაში ხვრელები) გამოედინებიან სათავიდან და ჩაედინებიან შესართავში. ეს ნიშნავს იმას, რომ შესართავზე მოდებულია უარყოფითი ძაბვა, ხოლო სათავე მიწდება. p- n ტიპის გადასვლის არსებობიდან გამომდინარეობს, რომ არხის არე ვიწროვდება, უფრო მეტადაც კი, რადგანაც აქ p- n გადასვლა სქელია, მას აქვს სივრცული მუხტის არე, რომელის ნახაზზე აღნიშნულია პუნქტირული ხაზით. ჩამკეტს მიეწოდება დადებითი ძაბვა, ისეთი, რომ p - n გადასვლა წანაცვლებულია უკუ მიმართულებით რითაც სივრცული მუხტის არე უფრო ფართოვდება, ხოლო არხის სიგანე ვიწროვდება. ეს იწვევს არხის დენის შემცირებას (მუხტების ნაკადი სათავიდან შესართავამდე) – ეს კი უკვე დენის რეგულირებაა, რაც იძლევა კიდევ გაძლიერების რეჟიმს.

ეს ტრანზისტორია p- ტიპის არხით, თუ კი ფენები საწინააღმდეგოდ დალაგდება მაშინ მიიღება n- ტიპის არხიანი ტრანზისტორი. მას ყველაფერი იგივე აქვს რაც წინას, ოღონდ არხში გაედინებიან ელექტრონები, შესართავზე მიეწოდება პლიუსი, ხოლო საკეტზე - მინუსი.

დაუბრუნდეთ p- ტიპის ტრანზისტორს. რადგანაც საკეტზე მიეწოდება უკუ ძაბვა, ამიტომ ის ცუდად ატარებს დენს (ეს არის p - n გადასვლის უკუ დენი), ანუ ველის ტრანზისტორის შემავალი წინააღმდეგობა ძალზედ დიდია. ველის ტრანზისტორის მართვა ხდება ძაბვით, ანუ ელექტრული ველით. ამით ის რაღაცაში ჰგავს რადიომილაკს. aQ , ისევე როგორც რადიონათურაში. ჩამკეტზე ძაბვის გაზრდით (მოდულით), სათავიდან შესართავისაკენ გამავალი დენი მცირდება. რაღაც ძაბვაზე $U_{\text{მზ}}=U_0$ სივრცული მუხტის არე ჩაიკეტება, და შესართავის დენი გაუტოლდება ნულს. ამ ძაბვას ეწოდება წაკვეთის ძაბვა.

გამომავალი და გარდამავალი მახასიათებლები წარმოდგენილია ნახაზზე: როგორც უბრალო დათვალიერებიდან ჩანს, შესართავის დენი - ძაბვისა და შესართავი - სათავის ძაბვერბის მახასიათებლები უნდა იყვნენ სწორხაზოვნები, ოღონდ მათი დახრა გახდება უფრო მეტი რაც უფრო მეტია ძაბვა ჩამკეტი – სათავისა. ეს ხდება იმიტომ, რომ ჩამკეტზე ძაბვის მატებისას არხის წინააღმდეგობა იზრდება. მაგრამ მრუდები სწრაფად იწყებენ გაჯერებას და გადიან თითქმის ჰორიზონტალურ მონაკვეთზე. ეს აიხსნება იმით, რომ ძაბვა, რომელიც ვარდება არხში, იცვლება 0-დან $U_{\text{მზ}}$ –

მდე, ეს კი ნიშნავს, რომ $p - n$ გადასვლაზე დაბვის ვარდნა სხვადასხვაა: სათავესთან ახლო არეში ის ტოლია U_{3H} , ხოლო შესავრთავთან კი - $U_{3H} + U_{CH}$ -ს, ანუ მეტია. ამრიგად ნახაზზე მარცხნივ მარჯვნივ სივრცული მუხტის არე ფართოა, ხოლო არხი შევიწროვებული. ამითომ გასაგებია, რომ არხის წინააღმდეგობა U_{CH} დაბვის ზრდით იზრდება, ხოლო მახასიათებლები ვარდებიან.

მარჯვენა ნახაზზე წარმოდგენილია სიტუაცია, როდესაც U_{CH} დაბვა იღებს ძალიან დიდ მნიშვნელობას, ანუ მაშინ როდესაც მოცულობითი მუხტის არეები ზედა და ქვედა $p - n$ გადასვლებისთვის ურთიერთშეხებაში მოდიან. ამ შემთხვევაში, თითქოსდა დენი არხში უნდა შეწყდეს, რადგანაც არხი წყდება. მაგრამ სინამდვილეში ყველაფერი სხვაგვარად ხდება. როგორც შემდეგი ნახაზიდან ჩანს მოცულობითი მუხტის არეში არის ელექტრული ველები, რომლებიც ისრებითაა ნაჩვენები, და ისინი მიმართულია ძირითადად n - ტიპისგან p - ტიპისკენ. მაგრამ იქ, სადაც მოცულობითი მუხტის არეები ერთმანეთს ერწყმიან, ეს ველი მიმართულია მარცხნიდან მარჯვნივ, ისე, რომ ხვრელები, თუ კიდევ ისინი არსებობენ, მარჯვნივ მოცულობითი მუხტის არედან, გამოიქაჩებიან არხიდან.

რადაც ახრით ეს ძალზედ ჰგავს შემთხვევას, რომელსაც ადგილი აწევს ბიპოლარულ ტრანზისტორებში: იქაც მუხტის მატარებლები დიფუნდირებენ კოლექტორისკენ, და შემდეგ კოლექტორული $p - n$ გადასვლის ძალზედ ძლიერი ელექტრული ველით გამოიქაჩებიან კოლექტორში.

ამ შემთხვევაში მოცულობითი მუხტის ველი გაცილებით დიდია ვიდრე p - არხის ველი. ამიტომ იმის შემდეგ, როცა მოცულობითი მუხტების არეები ერთმანეთს შეერწყმიან U_{CH} დაბვის შემდგომი ზრდა უზრუნველყოფილი იქნება მოცულობითი მუხტის ველის ზრდით. ხოლო p - არხის მარცხენა ნაწილი უცვლელი რჩება. აგრამ ზუსტად იგი განსაზღვრავს არხის დენს. მიტომ დენი. ველის ტრანზისტორის გავლით მეტად არ იცვლება. (დენი მცირედით კიდევ იზრდება, მაგრამ პირველი მიახლოებით შეიძლება ითქვას, რომ ის უცვლელია).

ეს კი არის გამომავალი მახასიათებლის მუშა მონაკვეთი - დენი განისაზღვრება ჩამკეტზე მოდებული დაბვით, მაგრამ არ არის დამოკიდებული შესართავზე მოდებული დაბვით, ანუ შეიძლება გამოყენებულ იქნას დაბვიოს გაძლიერებისათვის. ჩვეულებრივ ამ მონაკვეთზე მუშაობენ გამაძლიერებლები

ველის ტრანზისტორებში, ანუ გამოიყენება ის შემთხვევა, როდესაც მოცულობითი მუხტის არეები ერთმანეთს გადაფარავენ.

ძაბვას, საიდანაც იწყება დახრილი მონაკვეთი, ეწოდება გაჯერების ძაბვა:

$$U_{ch} = U_0 - U_{3H}$$

გარდა ამისა:

$$I_c = I_{c \max} (1 - U_{3H} / U_0)^2$$

სადაც $I_{c \max}$ - შესართავის მაქსიმალური დენია, რასაც ადგილი აქვს როდესაც $U_{3H} = 0$.

ველიან ტრანზისტორზე დამყარებული გამაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის მნიშვნელოვანია მისი სიმრუდის გარკვევა. (ბიპოლარულ ტრანზისტორების β კოეფიციენტის ანალოგიურად):

$$s = s_{\max} (1 - U_{3H} / U_0)$$

სადაც s_{\max} მაქსიმალური სიმრუდეა, რასაც ადგილი აქვს როდესაც $U_{3H} = 0$. იგი განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$s_{\max} = 2I_{c \max} / U_0$$

სიმრუდე გაიზომება მავ განზომილებით. იგი ჩვეულებრივ დევს 1 - დან 100-მდე დიაპაზონში. შესასვლელი წინააღმდეგობა კი შეადგენს $10^9 \dots 10^{12}$ ომს. სქემაზე ვეილს ტრანზისტორები აღინიშნებიან ასე:

ვეილს ტრანზისტორებში უხერხილობას ქმნის ის, რომ ჩამკეტის წრედის კვება (შესასვლელი) და შესართავის (გამომავალი) სხვადასხვა პოლარულია. ანუ საჭიროა ორი სხვადასხვა ბატარეის გამოყენება.

მაგრამ კონდენსატორის გამოყენებით ეს შეიძლება ადვილად იქნას თავიდან აცილებული როგორც ეს ნაჩვენებია ნახაზზე: ეს ტრანზისტორი n - არხითაა, ამიტომ შესართავზე მოდებულია დადებითი ძაბვა, ხოლო ჩამკეტზე - უარყოფითი. იგი მიიღება წანაცვლების ხარუზე, რომელიც სათავის წინააღმდეგობაზე გამოიყოფა. ჩველადი ციგნალის მიხედვით მისი სიდიდე სავსებით კომპენსირდება წინააღმდეგობის პარალელურად აგრეთვე კონდენსატორის ჩათვლით.

ჩვეულებრივ სრული სქემა შეიცავს აგრეთვე წინაარმდეგობასაც, რაც შესასვლელ წრედშია ჩართული, და რომლების განსაზღვრავენ სქემის

შესასვლელ წინააღმდეგობას. გამომავალი წინააღმდეგობა განისაზღვრება ტრანზისტორის შესართავის R_c წინააღმდეგობით და შესართავის დიფერენციალური წინააღმდეგობით, ანუ ტრანზისტორის გამომავალი მახასიათებლის დახრით.

ამ სქემის გაძლიერების კოეფიციენტი:

$$K_u = sR_c$$

მან შეიძლება რამდენიმე ასეულს მიაღწიოს.

ეს არის სქემა საერთო სათავით (სს). ბიპოლარული ტრანზისტორების ანალოგიურად არის სქემები საერთო შესართავით (სშ):

თითქოსდა, ეს მნიშვნელოვნად უფრო მართივი სქემაა, მაგრამ პრაქტიკულად იგი ისეთივეა როგორც სქემა სს, მაგრამ არ არის კონდენსატორი C_{π} . მიტომ უარყოფითი უკუკავშირის მოქმედება არ გამოირიცხება, და ამიტომ ძაბვის მიხედვით გაძლიერების კოეფიციენტი პრაქტიკულად 1-ის ტოლია. დენის მიხედვით გაძლიერების კოეფიციენტი 1-ზე მეტია, და გამომავალი წინააღმდეგობაც მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვიდრე სქემისა სს.

შესაძლებელია აგებულ ოქნას სქემა საერთო საკეტით, ანალოგიურად სქემებისა საერთო ბაზით ბიპოლარულ ტრანზისტორებში. მაგრამ გარდა ტექნიკური სირთულეებისა (ძნელია საერთო საკეტის გაკეთება, როდესაც არ არის საკეტში გამავალი დენი), არც არის ასეთი აუცილებლობა. რადგანაც ველის ტრანზისტორების შესასვლელი წინააღმდეგობები ძალიან დიდია და არ არის საჭირო თავიდან იქნას აცილებული გამომავალი სიგნალის დამოკლების ეფექტი მრავალკასკადა სქემებში.

მდნ (მჟნ) ველიანი ტრანზისტორები

მეტალ-დიელექტრიკ-ნახევარგამტარული, ანდა სხვაგვარად მეტალ-ჟანგეულ-ნახევარგამტარული (მჟნ) ველის ტრანზისტორები ძალზედ განსხვავდება ზემოთ განხილულისაგან როგორც მოქმედების პრინციპით, ისევე დამზადების ტექნოლოგიით. აგრამ საბოლოო მონაცემები (გარდამავალი და გამომაქვალ მახასიათებლები) მათი ძალზედ ჰგვანან ბოლო გრაფიკების მრუდეებს.

განვიხილოთ, მაგალითად, ნახევარგამტარი (კრემნიუმი, გერმანიუმი) p-ტიპის ელექტროგამტარებლობით. ჩავთვალოც, რომ მასზედ დატანილია დიელექტრიკის თხელი ფენა (ყველაზე ხშირად დაიზრდება გერმანიუმუს ანდა კრემნიუმის ჟანგეული). დიელექტრიკის ფენა უნდა იყოს ძალზედ მცირე. თუ

ნახევარგამტარების ტექნოლოგიაში გამოიყენება ჯანგულის დამცავი ფენა სისქით 1-დან 2-3 მკმ-ამდე, მაშინ ჩვენ ჩავთვლით, რომ დიელექტრიკის ფენის სისქე ძაღს 0,1 ... 0,3 მკმ-ის საზღვრებში.

დიელექტრიკის ზემოთ კი დატანილია მეტალიოს ფენა. ეტალსა და ნახევარგამტარს შორის მოდებულია ელექტრული ველი.

თხელი დიელექტრიკის შემთხვევაში ელექტრული ველი ადვილად შეადწევს ნახევარგამტარში. დას მოიმოქმედებს ეს ველი ნახევარგამტარში ადვილად გასაგებიას ზონური დიაგრამების გამოკვლევით:

ნახაზზე გამოსახულია სამი დამოკიდებულება ელექტრონისა კოორდინატებისაგან. არცხნივ ნახვენებია შემთხვევა, როდესაც მეტალზე (აღნიშნულია ასო M –ით) მოდებულია ნახევარგამტარის მიმართ უარყოფითი ძაბვა. ს ველი მიიძიდავს თავისკენ ხვრელებს, ხოლო ელექტრონებს განიზიდავს. სხვა სიტყვებით, რომ ვთქვათ, ზონური დიაგრამა აიღუნება ზევით, ხოლო წონასწორობის დამყარების შემტხვევაში ზედაპირთან ხვრელების რაოდენობა გახდება უფრო მეტი, ვიდრე იყო საწყის ნახევარგამტარში.

შუა სურათზე გამოსახულია დიაგრამა იმ შემთხვევისათვის, როდესაც მეტალზე ნახევარგამტარასთან შეფარდებით მოდებულია დადებითი ზაბვა, ამ შემთხვევაში ზონები გადაღუნულია ქვემოთ. ხვრელები ზედაპირთან გახდა უფრო მცირე, ვიდრე სიღრმეში, ხოლო ელექტრონები – მეტი. აგრამ ჯერ კიდევ ხვრელები ზედაპირთან უფრო მეტია ვიდრე ელექტრონები.

მარჯვენა ნახაზზე სიტუაცია კარდინალურად შეიცვალა: ძაბვა ისევ დადებითია, მაგრამ უკვე საკმაოდ დიდია იმისატვის, რომ ელექტრონები ზედაპირტან გახდნენ უფრო მეტი, ვიდრე ხვრელები. ნახევარგამტარი გაიყო ორ არეთ: სიღრმეში ეს ძველებურად p-ტიპია, ხოლო ზედაპირტან სიახლოვეს – n-ტიპია (მოხდა ელექტროგამტარებლობის ტიპების ინვერსია).

ესლა განვიხილოთ კონსტრუქცია, რომელის გამოსახულია მარცხნივ. ეს p-ტიპის ნახევარგამტარია (მაგ. კრემნიუმი), რომელშიც ფორმირებულია n-ტიპის ორი არე. ძემოდან, გარდა კრემნიუმის ჟანგულისა, დატანილია აგრეთვე კრემნიუმის ჟანგულის თხელი ფენა n -არეებს შორის. თუ ახლა მოვდებთ ძაბვას შესართავსა და სათავეს შორის, მაშინ არაფერი არ მოხდება: დენი არ წარმოიქმნება, რადგან ძაბვის ნებისმიერი ნიშნის შემთხვევაში ერთერთი მაინს p- n გადასვლა წანაცვლებული იქნება უკუ მიმართულებით

(ეს ისევე როგორც ბიპოლარულ ტრანზისტორში, ძალზე სქელი ბაზის შემთხვევასი-ორი p-n გადასვლა ცალცალკე).

ახლა მოდით მოვდოთ დადებითი ძაბვა საკეტზე საფენთან (პოდლოჟკა) მიმართებაში. (მარჯვნივ). თუ ეს ძაბვა მეტია რაღაც, ეგრეთწოდებულ ზღურბულ ძაბვაზე ($U_{\text{н}}$), მაშინ ხვრელები განიზიდებიან ზედაპირიდან ნახევარგამტარის სიღრმეში, ხოლო ელექტრონები მიიძიდებიან ზედაპირისაკენ, და ისინი იქ გახდებიან მეტნი ვიდრე ხვრელები, ამით ზედაპრთან ახლოს გამოჩნდება n-ტიპის ინდუცირებული ფენა. ეს ფენა შეიერთებს ორ საწყის n-ტიპის ფენას და შესართავსა და სათავეს შორის წარმოიშობა დენი. ამბობენ, რომ წარმოიქმნა n-ტიპის არხი.

რატომ უნდა შეიძლება p-n-p არეებიანი სტრუქტურის ადგება. მაშინ ყველა ზემოთქმული მისთვისაც სამართლიანო იქნება, მაგრამ აქ საკეტზე უნდა მოვდოთ უარყოფითი ძაბვა და არხიც p ტიპის იქნება. შემდგომში ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ n-არხიან მუხ ველის ტრანზისტორებს.

თვალნათელია, რომ ამ სტრუქტურას აქვს 4 კონტაქტი. ზოგჯერ ყველა ისინი გამოყენებულია. მაგრამ ხშირად სათავეს აერთებენ საფენთან, და ამრიგად რჩება მხოლოდ სამი კონტაქტი. სიმარტივისათვის ჩვენც განვიხილავთ მხოლოდ ამ შემთხვევებს.

ნახაზზე წარმოდგენილია მჯნ ველის ტრანზისტორის გარდამავალი და გამომავალი მახასიათებლები ჩაშენებული n-არხით. აქ ჩანს, რომ ამ შემთხვევაში ყველა პოტენციალი დადებითია. არდამავალი მახასიათებელი იქცევა ისე, როგორც პარაბოლის ნაწილი. შესართავის დენის დამოკიდებულება შესართავ-სათავეს ძაბვისაგან მოყვანილია მარჯვენა ნახაზზე. ეს მრუდები ძალზე ჰგავს p-n გადასვლის ველის ტრანზისტორის გამომავალ მახასიათებლებს, მაგრამ აქ შესართავის დენის და ძაბვისა შესატრთავზე ნიშნები ერთმანეთს ემთხვევა.

აქაც კიდევ, ისევე როგორც წინა შემთხვევაში, ისმება საკითხი, რატომ არ არიან მახასიათებლები სწორხაზოვანი, თითქოსდა ხომ ჩანს, რომ თითქოსდა მხოლოდ $U_{\text{н}}$ ძაბვაზეა დამოკიდებული გამტარებლობა? და შესაბამისად დაცულ უნდა იყოს ომის კანონი. ანუ შესართავის დენი პროპორციული უნდა იყოს შესართავ-სათავეზე მოდებული ძაბვისაგან.

აგრამ, ნახაზიდან ჩანს, რომ რაც მეტია შესართავ-სათავეზე მოდებული ძაბვა, მით მეტია არხის წინააღმდეგობა. ეს აიხსნება იმით, რომ არხში არის ძაბვის ვარდნა, და რადგანაც საკეტში არ არის არავითარი დენი, ამიტომ

ძაბვა საკეტის ყველა წერტილში ერთნაირია. თუ სათავე და საფენი გაერთიანებულია, მაშინ არხში სათავესთან ახლოს ძაბვა ნულის ტოლია. ხოლო შესართავთან ახლოს ტოლია U_{cu} . შესაბამისად პოტენციალთა სხვაობა საკეტში და საფენს შორის შემცირდება სათავიდან შესართავისკენ, არხს ექნება სხვადასხვა სისქე და ელექტროგამტარებლობა, როგორც ეს ნახაზზე ნაჩვენებია ნახაზზე მარცხნივ.

ლოგორც ეს ტეორიიდან მიიღება, შესართავის დენის დამოკიდებულებას საკეტსა და შესართავზე მოდებული ძაბვებისაგან აქვს შემდეგი სახე:

$$I_c = K[(U_{zn} - U_n)U_{cu} - \frac{1}{2}U_{cu}^2]$$

სადაც K – კოეფიციენტი, რომელიც ტრანზისტორის კონსტრუქციასა და ტექნოლოგიაზე დამოკიდებული, და აქვს A/B^2 განზომილება. ეს პარაბოლა $U_{cu} - I_c$ კოორდინატებში. ამასთან გადაბრუნებული და გამავალი კოორდინატთა სათავეში. ამ ფუნქციის მაქსიმუმი დევს

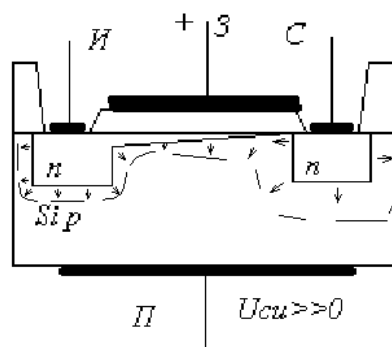
$$U_{cu} = U_{zn} - U_n$$

წერტილში

და შეადგენს

$$I_{c \max} = \frac{1}{2}K(U_{zn} - U_n)^2$$

მის შემდეგ უნდა დადგეს ვარდნა. მაგრამ გრაფიკზე ას ვარდნა არ ჩანს. რაშია საქმე? აღმოჩნდა, რომ მიზეზი იმაშია, რომ პ-ნ გადასვლაში არის მოცულობითი მუხტის არე, ხოლო მასში-ელექტრული ველი, რომელიც ნახაზზე ისრებითაა ნაჩვენები:



ყველა ისარს სხვადასხვა მიმართულება აქვს, მაგრამ არხის ბოლოს მიმართულება ყოველთვის ერთნაირია. ველი მიმართულია ისე, რომ ელექტრონები გამოიქაჩებიან არხიდან და ჩაედინებიან შესართავის არეში. ეს ველი საკმაოდ დიდია, ამიტომ ელექტრონების გამოქაჩვა დიდი ძალით ხდება.

ს თითქმის ისევე ხდება როგორც ველის ტრანზისტორებში p-n გადასვლით, ანდა ბიპოლარულ ტრანზისტორებში. ამ მიზეზით, შესართავზე დაბვის შემდეგი ზრდისას მთელი ეს ნაჭარბი დაბვა ვარდება შესართავის მოცულობითი მუხტის არეზე და იწვევს ელექტრონების გამოქანჯვას არხიდან შესართავში, ხოლო არხზე ვარდება ერთნაირი დაბვა და ამის შემდეგ დენი აღარ იცვლება. ამიტომ დენის ვარდნა არ ხდება, და არის მუდმივობა (სინამდვილეში დენის ზრდაც კი არის, მაგრამ ძალზედ ნელი ზრდა). ზუსტად ეს არეა ველის ტრანზისტორის გამომავალი მახასიათებლის მუშა მონაკვეთი, ანუ ტრანზისტორი ყოველთვის დაკეტილი არხით მუშაობას. შესართავის დენი ტოლია

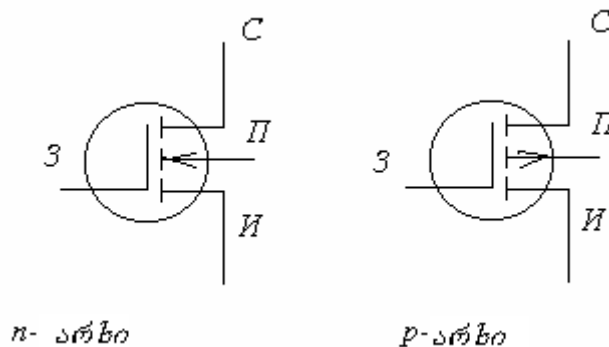
$$I_c = I_{c \max} = \frac{1}{2} K (U_{3n} - U_n)^2$$

ციცაბობა განისაზღვრება საკეტიზე არსებული დენის წარმოებულთ დაბვით

$$s = dI_c / dU_{3n} = K (U_{3n} - U_n)$$

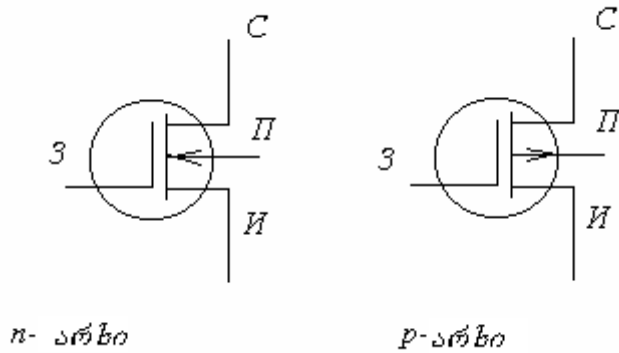
რაც მეტია დაბვა საკეტიზე, მით მეტია ციცაბობა. მაგრამ რეალურად საკეტი ძალძედ სწრაფად ირღვევა, რადგანაც ეს ძალზედ თხელი ფენაა კრემნიუმის უანგისა, ამიტომ ციცაბობა მცირედით მეტია, ვიდრე ველის ტრანზისტორების p-n გადასვლით. გარდა ამისა მუხნ ველის ტრანზისტორები ძალზედ ხშირად გაირღვებიან სტატიკური მუხტით, ამითომ ისინი უნდას მიერჩილის სკემებში დიდი სიფრთხილით. ჩვეულებრივ ველის ტრანზისტორის ყველა კონტაქტი შეერთებულია ერთმანეთთან მათი შენახვის, ან ტრანსპორტირების დროს და განმხოლოვებიან მხოლოდ მათი მირჩილვის დროს, სარჩილავი უნდა იყოს დამიწებული, და მას, ვინც არჩილებს უნდა ჰქონდეს ხელზე წამოცმული დამიწებული სამაჯური.

ქვემოთ ნაჩვენებია მუხნ ტრანზისტორების სკემატიური გამოსახულება n-არხით (მარცხნივ) და p-არხით (მარჯვნივ).



ასეთ ტრანზისტორებს ეწოდებათ მქნ ტრანზისტორები იზოლირებული არხით. შეიძლება კიდევ, მანმადე ვიდრე გავაკეთებდეთ საკეტის ქვედა დიელექტრიკს გაკეტდეს დონორების კიდევ ერთი დიფუზია n-არხიანი ტრანზისტორებისათვის ანდა აქცეპტორების p-არხიანი ტრანზისტორებისათვის, ეს იმისთვის, რომ შევქმნათ ჩაშენებული არხი. მაშინ მახასიათებლები მიიღებენ ასეთ სახეს:

ესლა ტრანზისტორებს აქვთ დენი საკეტზე ნულოვანი ძაბვის დროსაც კი, და არის შესაძლებლობა მისი მართვისა, ანუ მივიღოთ გაძლიერება. ასეთი ტრანზისტორები აღინიშნებიან თითქმის ისევე როგორც ტრანზისტორები ინდუცირებული არხით:



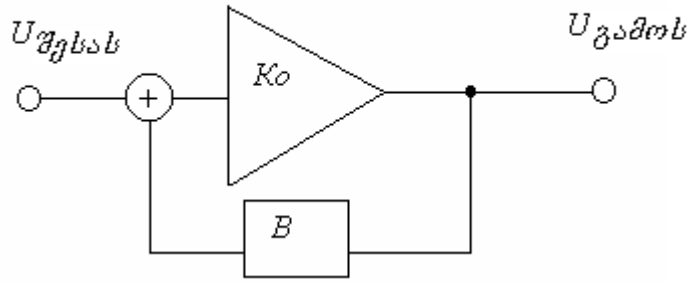
ინდუცირებული და ჩაშენებული არხებით დამზადებული ტრანზისტორების გამოყენებისას მიღებული სქემური გადაწყვეტილებები, მცირედ განსხვავდება p-n გადასვლიანი ველის ტრანზისტორების სქემური გადაწყვეტილებებიდან.

ლექცია 6. უკუ კავშირი

დღეს ჩვენ გამოვიკვლევთ ერთი შეხედვით ძალზედ საზიანო მოვლენას- უკუ კავშირს.

რა არის უკუ კავშირი. ეს ძალზედ მარტივია. ყველა სახის მოწყობილობაში, სადაც არის შესასვლელი და გამოსასვლელი, არის რაღაც პარაზიტული გავლენა გამომავალი სიგნალებისა შესასვლელ სიგნალებზე. თიტქოსდა ამასთან ბრძოლაა საჭირო. მაგრამ მოდით ჯერ განვიხილოთ, რასთან გვაქვს საქმე.

ნახაზზე ნაჩვენებია მოწყობილობა ერთი შესასვლელითა და ერთი გამოსასვლელით. (ეს მოწყობილობაა სამკუთხედი), უკუ კავშირი ნაჩვენებია ოთხკუთხედით და ეს უკუ კავშირი ემეტება ან აკლდება შესასვლელ სიგნალს:



დაუშვათ ჯერ გამომავალი სიგნალის ნაწილი ($B < 1$) აკლდება შესასვლელ სიგნალს. მაშინ ეს უარყოფითი უკუ კავშირია (უუკ), და გამაძლიერებლის შესასვლელზე იქნება სიგნალი

$$U_{ex}^0 = U_{ex} - BU_{სსlx}$$

მაგრამ როგორც ვიცით K – გამაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტია, და რა თქმა უნდა ის ერთზე მეტია. მიტომ

$$U_{სსlx} = K_0 U_{ex}^0$$

ამ ორი განტოლებიდან სეიდლება გამოვთიშოთ $U_{სსlx}^0$, მივიღებთ:

$$U_{სსlx} = K_0 (U_{ex} - BU_{სსlx})$$

ხლა ჭეგვიძლია დავაჯგუფოთ შესასვლელი და გამოსასვლელი ძაბვები და მოვძებნოთ მათი ფარდობა, ანუ გაძლიერების კოეფიციენტი უკუ კავშირის გათვალისწინებით:

$$K_{oc} = \frac{U_{სსlx}}{U_{ex}} = \frac{K_0}{1 + BK_0}$$

ამრიგად ჩანს, რომ უუკ არსებობისას K_{oc} ყოველთვის ნაკლებია ანდა ტოლია K_0 (ეს ბოლო იქნება მაშინ, როდესაც K_0 ანუ უკუ კავშირი არ არის). ახლა შევხედოთ უფრო ყურადღებით მნიშვნელს. აქ BK_0 ნამრავლი შეიძლება იყოს ნებისმიერი სიდიდე, მატ რიცხვში დიდიც, (1-ზე მნიშვნელოვნად დიდი).

მაგრამ მაშინ ერთიანი მნიშვნელში შეიძლება უარყოფით. და K_0 შეიკვეცება, დარჩება:

$$K_{oc} = \frac{1}{B}$$

ამრიგად ჩვენ ვხედავთ, რომ ამ შემთხვევაში გაძლიერების კოეფიციენტი სრულებითაც არ არის დამოკიდებული საწყის კოეფიციენტზე K_0 -ზე, და განისაზღვრება რაღაც შემთხვევითი სიდიდით B .

მაგრამ აი ასეთი თავისებურებებია. K_0 – საკმაოდ განუსაზღვრელი სიდიდეა. ჯერ ერთი ის ძალზედაა დამოკიდებული β – კოეფიციენტისაგან,

რომელიც წარმოადგენს ტრანზისტორის გაძლიერების კოეფიციენტს დენის მიმართ, მეორეც - ის ძალზედაა დამოკიდებული ტემპერატურისაგან, და საკმაოდ არასტაბილური სიდიდეა. B კი შეიძლება გააქვდეს სპეციალურად და საკმაოდ ზუსტად. რადგანაც $B < 1$, ამიტომ უუკ -ის გამაძლიერებელი არ არის საჭირო, ანუ შეიძლება რეზისტორებიც კი საკმარისი აღმოჩნდეს უკუ კავშირისათვის.

ამრიგად, B შეიძლება შესრულდეს მოთხოვნით სიზუსტით $10^{-4} \dots 10^{-6}$, ხოლო K_0 -

100%-იანი ან რამდენადმე შემცირებული სიზუსტით. ნუ, თუ კი გავაკეთებთ უკუ კავშირს სპეციალურად უარყოფითს, მაშინ ამით შეიძლება გავაუმჯობესათ გაძლიერების კოეფიციენტის დაყენების სიზუსტე, თვითონ გაძლიერების შემცირების ხარჯზე ($1/B$ მეტია ერთზე და ნაკლებია K_0 -ზე).

ახლა განვიხილოთ უფრო ზუსტად, რამდენჯერაა შესაძლებელი გავაუმჯობესოთ გაძლიერების კოეფიციენტი. ამისთვის საჭიროა გავაწარმოოთ გამოსახულება K_{oc} K_0 -ით, მივიღებთ:

$$dK_{oc} / dK_0 = 1 / (1 + BK_0)^2$$

$F = 1 + BK_0$ სიდიდეს ეწოდება უკუ კავშირის სიღრმე. ეს ზუსტად ის სიდიდეა, რომლითაც მცირდება გაძლიერების კოეფიციენტი უკუ კავშირის გამოყენებით. იმისათვის, რომ შევამციროთ ამ ფაქტორის გავლენა გავამრავლოთ მიღებული გამოსახულება F -ზე:

$$F(dK_{oc} / dK_0) = 1 / F$$

ამრიგად K_0 -ის ნებისმიერი არასტაბილურობით გამოწვეული გავლენა K_{oc} -ზე მცირდება F ჯერ, ანუ ყარყოფითი უკუკავშირის სიღრმეით.

მოგვიანებით ჩვენ დაწვრილებით განვიხილავთ თუ რა გავლენას ახდენს უარყოფითი უკუკავშირი K_{oc} -ზე.

ხლა კი დავწეროთ ცალსახა გამოსახულება U_{bx}^0 -სთვის:

$$U_{bx}^0 = U_{bx} / F$$

უშუალოდ გამაძლიერებლის შესასვლელზე უუკ -ის დიდი სიღრმისას ძაბვა ძალზედ მცირეა.

ახლა განვიხილოთ დადებითი უკუკავშირის შემთხვევა (დუკ) - ეს მაშინ ხდება, როდესაც შესასვლელზე ემაგტება გამომავალი სიგნალის ნაწილი. საბოლოო ფორმაში იცვლება მხოლოდ ნიშანი:

$$K_{oc} = \frac{U_{\text{მზ}}}{U_{\text{ex}}} = \frac{K_0}{1 - BK_0}$$

აქ შესაძლებელია სამი შემთხვევა:

1. $BK_0 < 1$. ნათელია, რომ ამას მაშინ აქვს ადგილი როდესაც $K_{oc} > K_0$. ერთი შეხედვით ჩანს, რომ ეს ძალზედ სასარგებლო შემთხვევაა – გამაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი იზრდება, იგიშეიძლება მივიღოთ რამდენიც გვინდა დიდი. მაგრამ, როგორც ჩვენ ადრე დავინახეთ, უარყოფითი უკუკავშირის განხილვისას ჩვეულებრივ გამაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი არც თუ ისე კარგია, არასტაბილურია, დადებითი უკუკავშირის გამოყენებით მიღებული გაზლიერების შედეგად კი მისი არასტაბილურობა კიდევ უფრო გაიზრდება. ამიტომ ეს შემთხვევა საერთოდ არ გამოიყენება პრაქტიკაში.

2. $BK_0 = 1$. ამ შემთხვევაში. მ შემთხვევაში ფორმულა საერთოდ არაკორექტულია, რადგანაც მნიშვნელში მიიღება ნული, ხოლო ნულზე გაყოფა არ შეიძლება. აგრამ ჩვენ ამას ასე არ გავაკეთებთ, ვიტყვიტ მხოლოდ, რომ უსასრულოდ დიდი გაძლიერების კოეფიციენტის შემთხვევა შესაბამეა სიგნალის გენერაციის პირობას, ანუ ამ შემთხვევაში გამაძლიერებელი გადაიქცევა გენერატორად. ეს კი პრაქტიკულად ხშირად გამოიყენება, როდესაც საჭიროა შეიქმნას: სინუსოიდალური, სწორკუთხა, ანდა სხვა პერიოდული სიგნალები. ამ შემთხვევაში იღებენ კარგ გამაძლიერებელს და მიუერთებენ დადებით უკუ კავშირს, რომელიც პასუხობს მითითებულ პირობას.

3. $BK_0 > 1$. ნათელია, რომ ამ შემთხვევაში რეზულტატის გაანგარიშება ფორმულით შესაძლებელია, $K_0 < 0$. მაგრამ, მისი გამოყენებადობის საუთოობა დარჩა, თითქოსდა რაღაც არ გავითვალისწინეთ. ფრო ყურადღებით თუ შევხედავთ, დავინახავთ, რომ ეს ისეთივე სიტუაციაა, როდესაც გამაძლიერებლიდან მიიღება განერატორი.

ეტად ჩვენ დადებით უკუ კავშირს აღარ განვიხილავთ, და დაუბრუნდებიტ უარყოფითი უკუკავშირის განხილვას. მავე დროს ცავთვლით, რომ ეს საზიანო კი არა, არამედ ძალზედ სასარგებლო მოვლენაა, და შემთხვევით კი არ წარმოიშობა, არამედ გაკეთებულია საგანგებოდ.

ამიტომ წინასწარ ჩავთვლით, რომ K_0 არც თუ ისე სტაბილური სიდიდეა, მაგრამ ძალზედ დიდი. მაგრამ უუკ -ის გამოყენებით ჩვენ ვაღწევთ

გამაძლიერებლის სტაბილურობის გაუმჯობესებას, გაძლიერების კოეფიციენტის რაღაც ნაწილის დაკარგვით.

ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი

განვიხილოთ გამაძლიერებლის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი (ასმ). ნათელია, რომ ამისათვის საჭიროა აიგოს ამპლიტიდის დამოკიდებულება (გაძლიერების კოეფიციენტის) სიხშირესთან მიმართებაში ორმაგ ლოგარითმულ მასშტაბში. რატომ? იმიტომ, რომ ამპლიტუდისა და სიხშირის რთული დამოკიდებულებები ორმაგ ლოგარითმულ მასშტაბში გადაიქცევა მარტივში. მაგალითი წარმოდგენილია ნახაზზე, ზედა მრუდი:

ერთეულთან კასკადისათვის, რომლისთვისაც სიხშირის მიხედვით ზედა და ქვედა შეზღუდვები ჩვეულებრივ დაკავშირებულია ერთ RC – წრედთან, გაძლიერების კოეფიციენტის ზრდა და ვარდნა დამოკიდებულია სიხშირეზე პროპორციულად (ზრდა პროპორციულია f -ის, ვარდნა უკუპროპორციულია f -ის). ორმაგ ლოგარითმულ მასშტაბში კი ერთი და მეორეც მიდიან სწორხაზოვნად, რომლებიც ჰორიზონტალურის მიმართ 45° – თ არიან დახრილი. სხვა უპირატესობა ისა აგრეთვე, რომ ორმაგი ლოგარითმული მასშტაბი სასარგებლოა სიხშირეების და გაძლიერების კოეფიციენტების დიდ დიაპაზონში ცვლილებისას.

ჩვენ კიდევ გვჭირდება მოვნახოთ სოვნალი, რომელის შეადგენს K_{\max} -ის 0,7 ნაწილს. ეს ნიშნავს, რომ უნდა გადავინაცვლოთ ქვემოთ K_{\max} -გან ერთიდაიგივე ბიჯით, იმისდა მიუხედავად, თუ რას უდრის K_{\max} .

ამრიგად, ჩვენ გვაქვს მრუდი K_0 , ეს ზედა მრუდია ნახაზზე, რომელიც აღწერს გამაძლიერებლის სიხშირულ მახასიათებელს უკუ კავშირის გარეშე. საჭიროა გადავინაცვლოთ K_0 -ის მაქსიმალური მნიშვნელობიდან 0,7-ის დონეზე. ღომელიც განსაზღვრავს ქვედა და ზედა სიხშირულ საზღვრებს, ხოლო მათი სხვაობა Δf_0 კი არის სიხშირეთა ზოლი.

რა მოხდება იმ შემთხვევაში თუ კი გამოვიყენებთ უარყოფით უკუკავშირს? აქ საჭიროა უკვე ცნობილი ფორმულის გამოყენება. თუ $BK_0 \gg 1$, მაშინ $K_{oc} = 1/B$. წინააღმდეგ შემთხვევაში $K_{oc} < K_0$, ამის გათვალისწინებით ორმაგ ლოგარითმულ მასშტაბში ეს მრუდი წარიკვეთება $1/B$ დონით, როგორც ამას გვაჩვენებს მრუდი K_{oc} . თუ კი წავინაცვლებთ იმავე სიდიდეზე 0,7, მივიღებთ ახალ სიხშირეთა ზოლს Δf_{oc} . ნათელია, რომ ეს უფრო დიდი სიხშირეთა ზოლია.

უმჯობესდება აგრეთვე თვით სიხშირეთა მახასიათებელი. მაგალითად ჩვენ ცუდი, არათანაბარი მახასიათებელი გვაქვს, როგორც ეს ნახაზზეა. თვალნათელია, რომ სიხშირეთა მახასიათებლების უსწორმასწორობა მცირდება F-ჯერ.

ცნობილია, რომ ამპლიტუდურ-სიხშირული უსწორმასწორობის არსებობისას, არის აგრეთვე ფაზურ-სიხშირული უსწორმასწორობაც. მაგ. ბოლო ნახაზზე ნაჩვენებია მახასიათებლისთვის ფაზური მახასიათებელი იქნება ისეთივე, როგორც ზედა ნახაზზე. უარყოფითი უკუ კავშირის გამოყენების დროს მრუდი გაუთოვდება ისე, რომ იქ სადაც უარყოფითი უკუ კავშირი მოქმედებს (უკუ კავშირის სიღრმე დიდია), იქ ფაზა მიისწრაფის ნულისკენ, იხ. ნახ.

მის გაგება შესაძლებელია შემდეგი მსჯელობით. თუ ჩვენ გაძლიერების კოეფიციენტის ფორმულაში გავითვალისწინებთ ფაზების ძვრასაც, მაშინ ეს იქნება გაძლიერების კომპლექსური კოეფიციენტი. დავწეროთ კომპლექსური გაძლიერების კოეფიციენტის განტოლება, სადაც კომპლექსურ სიდიდეებს აღვნიშნავთ ზევიდან წერტილით:

$$\dot{K}_{oc} = \frac{\dot{K}_0}{1 + B\dot{K}_0}$$

აგაგოთ ახლა კომპლექსურ სიბრტყეზე გამოანგარიშებული K_{oc} ; დაუშვათ K_0 – დიდი გაძლიერების კოეფიციენტი, დიდია სიგრძე, და აქვს რაღაც დახრა, რომელიც ფაზას ასახავს. BK_0 – ცოტა ნაკლებია და ემთხვევა მას ფაზით, ხოლო $1+BK_0$ იქნება მხოლოდ მცირედ განსხვავებული, რადგან 1 მცირეა. ეხლა საჭიროა K_0 გავყოთ $1+BK_0$ -ზე. კომპლექსური რიცხვების ერთმანეთზე გაყოფით, მოდულები იყოფა ერთმანეთზე, ხოლო ფაზები აკლდება ერთმანეთს. ამიტომ $D_{oc} < D_0$, ხოლო კონკრეტულად მათი თანაფარდობის გაანგარიშება შეიძლება თუ დავწერთ:

თუ კი აქედან ყურადღებას არ მივაქცევთ გამოვრიცხავთ სინუსს (ჩავთვლით, რომ კუთხეები მცირეა), მივიღებთ:

$$BK_0 D_{oc} = D_0 - D_{oc}$$

საიდანაც:

$$D_{oc} = D_0 / (1 + BK_0) = D_0 / F$$

$$x = \sin(D_0 - D_{oc})$$

$$x = BK_0 \sin(D_{oc})$$

ამრიგად, უარყოფითი უკუკავშირის არსებობის შემთხვევაში ფაზების წანაცვლება მცირდება უკუ კავშირის სიღრმით, რომელიც როგორც ადრე იყო ნაჩვენები გამოისახება F ასოთი.

აქამდე ჩვენ არსად არ ვითვალისწინებდით, რომ გაძლიერება ხდებოდა დაბვის მიხედვით, შეიძლება ითქვას, რომ დენის მიხედვით გაძლიერების კოეფიციენტი და ყველა სხვა დანარჩენი ზუსტად ისეთივეა, როგორც დაბვისთვის. ანუ ყველაფერი ის რაზედაც გეჰქონდა მსჯელობა უარყოფითი უკუკავშირის დადებით გაველენაზე, სამართლიანი იქნება დენის გამაძლიერებლების მიმართაც. აგრამ არის გამაძლიერებლის პარამეტრები, რომელთაც ეს ყველაფერი ანალოგიური არ არის. სააშუსასვლელი და გამოსასვლელი წინააღმდეგობები გამაძლიერებლებისა. იმისთვის, რომ გავერკვეთ, თუ როგორ ზეგავლენას ახდენს უარყოფითი უკუ კავშირი ამ წინააღმდეგობებზე განვიხილოთ ოთხი სხვადასხვა შემთხვევა:

1. დაბვის მიხედვით მიმდევრობითი უკუ კავშირი. რას ნიშნავს ეს? ბრალოდ ეს იმას ნიშნავს, რომ გამომავალი დაბვის ნაწილი იხსნება დატვირთვისგან და ემატება შესასვლელ დაბვას. შევადგინოთ ცხრილი:

შესასვლელი	გამოსასვლელი
დაბვა	დაბვა

ამ შემთხვევაში

$$R_{\text{ავოც}} = (U_{\text{ავ}} + U_{\text{ოც}}) / I_{\text{ავ}}$$

გარდაქმნის შემდეგ:

$$R_{\text{ავოც}} = \frac{U_{\text{ავ}}}{I_{\text{ავ}}} (1 + BK_0) = R_{\text{ავ}} F$$

ჩვენ ვხედავთ, რომ შემავალი წინააღმდეგობა გაიზარდა უკუ კავშირის სიღრმის სიდიდით. ხოლო გამომავალი წინააღმდეგობა კი შემცირდა F ჯერ:

$$R_{\text{ავოც}} \approx R_{\text{ავ}} / F$$

2. დაბვის მიხედვით მიმდევრობითი უკუ კავშირი. გამაძლიერებლის შესასვლელზე სიგნალი მიეწოდება დაბვით, გამოსასვლელიდან ის იხსნება დენის პროპორციული.

შესასვლელი	გამოსასვლელი
ძაბვა	დენი

ამ შემთხვევაში შესავალი წინააღმდეგობა ასევე იზრდება

$$R_{\text{ავოც}} = \frac{U_{\text{ავ}}}{I_{\text{ავ}}} (1 + BK_0) = R_{\text{ავ}} F$$

სხვანაირადარის საქმე გამომავალ წინააღმდეგობასთან დაკავშირებით

$$R_{\text{ავოც}} = R_{\text{ავ}} + R_{\text{ოც}} (K_u + 1)$$

სადაც, $R_{\text{ოც}}$ – წინააღმდეგობაა, საიდანაც იხსნება სიგნალი, რომელიც პროპორციულია გამომავალი დენი. ასე რომ, ამ შემთხვევაში ჩვენ ვხედავთ, რომ როგორც შესასვლელი, ასევე გამოსასვლელი წინააღმდეგობები დიდებია, დაახლოებით F -ჯერ მეტია, ვიდრე ჩვეულებრივი გამაძლიერებლისა.

3. *დენის მიხედვით პარალელური უკუ კავშირი.* ამ შემთხვევაში გამომავალი დენის ნაწილი მიეწოდება შესასვლელზე და აკლდება შესასვლელი დენისაგან. ამიტომ რეზულტატი იქნება ისეთი რაგორც ეს ცხრილშია მოყვანილი.

შესასვლელი	გამოსასვლელი
დენი	დენი

შემავალი წინააღმდეგობა მცირდება:

$$R_{\text{ავოც}} = R_{\text{ავ}} / F$$

ხოლო, გამომავალი წინააღმდეგობა იზრდება:

$$R_{\text{ავოც}} \approx R_{\text{ავ}} F$$

5. *ძაბვის მიხედვით პარალელური უკუ კავშირი.* ამ შემთხვევაში შესასვლელზე ემატება დენი, ხოლო გამოსასვლელიდან იხსნება ძაბვა.

შესასვლელი	გამოსასვლელი
დენი	ძაბვა

ამ შემთხვევაში როგორც შესასვლელი, ასევე გამოსასვლელი წინააღმდეგობები მცირდება F-ჯერ:

$$R_{\text{exoc}} \approx R_{\text{ex}} / F \quad R_{\text{enxoc}} \approx R_{\text{enx}} / F$$

ჩვენ უკვე დავრწმუნდით, რომ უუკ გაძლიერების დიდი კოეფიციენტების შემთხვევაში (1000 დან 1000 000) და უკუ კავშირის დიდი სიღრმით $F > 100$ ძალიან სასარგებლოა: მართალია გაძლიერების კოეფიციენტი მცირდება, მაგრამ სამაგიეროთ უმჯობესდება სიხშირული თვისებები, გამაძლიერებლის სწორხაზოვნება, ფაზური მახასიათებლები და ა.შ.შ. მაგრამ ხანდახან ხდება, რომ როდესაც უარყოფითი უკუ კავშირი მოიცავს გამაძლიერებლის ბევრ კასკადს, ხშირად ხდება თვითაღზნება და გამაძლიერებელი გადაიქცევა გენერატორად.

რატომ ხდება ეს? საქმე იმაშია, რომ უუკ – მაშინაა როდესაც შესასვლელსა და გამოსასვლელ სიგნალებს შორის შეადგენს 180° . მაგრამ არ არსებობს გამაძლიერებელი უსასრულოდ დიდი სიხშირული ზოლით. სადღაც აუცილებლად წარმოიქმნება სიხშირული მახასიათებლის ვარდნა. ამასთან ცნობილია, რომ თუ ორმაგ ლოგარითმულ მასშტაბში ზრდა ან ვარდნა მიმდინარეობს 45° კუთხით, მაშინ ემატება ან აკლდება ფაზის წანაცვლება 90° –ით. თუ კი გამაძლიერებელი ორკასკადიანია, მასინ იქნება 180° . მაგრამ ჯამში ეს უკვე 360° -ია, ანუ უუკ-ს მაგივრად მიიღება დუკ-ი ანუ უარყოფითი უკუკავშირის მაგიერ წარმოიშვება დადებითი უკუკავშირი. თუ ამასთანავე გაძლიერების კოეფიციენტიც 1-ზე მეტია, მასინ მიიღება გენერატორი. ს სიტუაცია ილუსტრირებულია ნახ. არის უბრალო მეთოდი ამ მოვლენის წინააღმდეგ ბრძოლისა. საჭიროა გამაძლიერებლის გამომავალ კასკადში ჩაყენდეს ტვეადობა, ისე, რომ მას დიდი გაძლიერების კოეფიციენტის შემთხვევაში, შეეზღუდა გამაზლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი ისე, რამ მახასიათებლების ვარდნა იყოს 45° -იანი კუთხით.

ლექცია7. ტრეინინგ პროგრამები

04 - ინჟინერია

0403 - ხელსაწყოთამშენებლობა ავტომატიზაცია და მართვის სისტემები

040301 – ავტომატიზაცია და მართვის სისტემები

040451 – ავტომატიზაციისა და მართვის სისტემების ტექნიკოსი

კურსები:

1. სამრეწველო კონტროლერები სცენტრალური პროცესორები და შემყვან – გამომყვანი მოწყობილობები.

- კურსი გათვალისწინებულია პერსონალისთვის, რომლებიც ახორციელებენ SIMATIC S7 კონტროლერების ბაზაზე აგებული სისტემების მომსახურებასა და გაშვება-გაწყობის სამუშაოებს;
- მსმენელებისაგან მოითხოვება მხოლოდ, ოპერაციულ სისტემა Windows-ში მუშაობის უნარ-ჩვევები და ზოგადი წარმოდგენები ავტომატიზაციის სისტემებზე;
- კურსის მიზნებია: SIMATIC S7 სისტემების ცოდნის მიღება, აპარატურისა და პროგრამების ექსპლუატაციაში გაშვება, შეცდომების მოძებნა და უწყესრიგობათა აღმოფხვრა;
- მსმენელების წავლების პროცესში შეიძენენ ცოდნას, რომელიც აუცილებელია უწყესივროების დიაგნოსტიკისა და შეცდომების მოძებნისათვის, აგრეთვე პროგრამირების საფუძვლების ცოდნას, რაც აუცილებელია აპარატურული უწყესივროების მოძებნისას და პროგრამების მოდიფიკაციისათვის ექსპლუატაციის პროცესში;
- პრაქტიკული სავარჯიშოები უნდა შესრულდეს SIMATIC S7 300/400 – ის სასწავლოს ტენდებზე, პროგრამატორზე FieldPG დაკონვეიერის მოდელზე.

2. სამრეწველო კონტროლერების ბაზაზე აგებული მართვის სისტემების ვიზუალიზაციის საშუალებები და სისშირული გარდამქმნელები.

- კურსი გათვალისწინებულია იმ სპეციალისტებისათვის, რომელთა საქმიანობა დაკავშირებულია SIMATIC S7 კონტროლერების ბაზაზე აგებული მართვის სისტემები სექსპლუატაციაში გაშვებასა და მომსახურებაზე;
- განსაკუთრებული ყურადღება მიექცევა კონტროლერის ურთიერთქმედებას ვიზუალიზაციის საშუალებებსა (ოპერატორისპანელები) და სისშირულ გარდამქმნელებთან;

- მსმენელებისაგან მოითხოვებ აოპერაციულ სისტემა Windows-ში მუშაობის უნარ-ჩვევები, უმაღლესი ტექნიკური ანდა საშუალო სპეციალური განათლება;
- კურსის მიზნებია: SIMATIK S7 300/400 – ის აპარატურის საშუალებებთან და და სხვა ანალოგიურ ავტომატიზირებულ სისტემებთან მუშაობისუნარ-ჩვევების მიღება, SIMATIK S7 300/400 –ის პროგრამების შექმნისა და ექსპლუატაციაში გაშვების საფუძვლების ცოდნა;
- პრაქტიკული სავარჯიშოები უნდა შესრულდეს SIMATIK S7 300/400–ის სისტემების სასწავლო სტენდებზე, პროგრამატორზე FieldPG, კონვეიერის მოდელზე და სადემონსტრაციო სტენდზე Micromaster 440.

3. სამრეწველი კონტროლერების ბაზაზე აგებული მართვის სისტემების სამრეწველო ინტერფეისები და HMI სისტემები.

- კურსი გათვალისწინებულია იმ სპეციალისტებისათვის, რომელთა საქმიანობა დაკავშირებულია SIMATIK S7 კონტროლერების ბაზაზე აგებული მართვის სისტემების ექსპლუატაციაში გაშვებასა და მომსახურებაზე;
- კურსი უზრუნველყოფს SIMATIK S7 სისტემების შესახებ ცოდნის გაფართოვებული დონის მიღებას მისი ქსელური გადაწყვეტილებების, ადამიანურ-მანქანური (HMI) ინტერფეისების სისტემების და სისშირული გარდამქმნელების გამოყენებით;
- კურსის მიზანებია: გაფართოებული ცოდნის მიღება SIMATIK S7 სისტემების მომსახურების შესახებ, აგრეთვე აპარატურისა და პროგრამის გაშვებისა და შეცდომებისა და უწყესრიგობების ძებნის შესახებ;
- პრაქტიკული სავარჯიშოები უნდა შესრულდეს SIMATIK S7 300/400 – ის სისტემების სასწავლო სტენდებზე, პროგრამატორზე FieldPG, კონვეიერის მოდელზე და სადემონსტრაციოსტენდზე **Micromaster 440**;
- მსმენელებისაგან მოითხოვება ოპერაციულ სისტემა Windows-ში მუშაობის უნარ-ჩვევები, უმაღლესი ტექნიკური ან და საშუალოსპეციალური განათლება, SIMATIK S7-ის საწყისი ცოდნა ამ კურსების ჩამონათვალთან პირველი კურსის დონეზე;

4. სამრეწველო კონტროლერების ბაზაზე აგებული მართვის სისტემების დიაგნოსტიკა და მომსახურება. კურსი გათვალისწინებულია იმ სპეციალისტებისათვის, რომელთა საქმიანობა დაკავშირებულია SIMATIK S7 300/400 კონტროლერების ბაზაზე აგებული მართვის სისტემების ექსპლუატაციაში გაშვებასა და მომსახურებაზე;

- კურსი უზრუნველყოფს SIMATIK S7 სისტემების შესახებ ცოდნის გაფართოებული დონის მიღებას მისი ოპერაციული სისტემასა და სერვისულ მომსახურებაზე;
- კურსის მიზნებია: გაფართოებული ცოდნის მიღება SIMATIK S7-ის სისტემების მომსახურების, აპარატურისა და პროგრამების ექსპლუატაციაში გაშვების, შეცდომებისა და უწყესრიგობების მოძებნის საკითხების გადაჭრებში;
- მსმენელებისაგან მოითხოვება ოპერაციულ სისტემა Windows-ში მუშაობის უნარ-ჩვევები, უმაღლესი ტექნიკური ანდა საშუალო სპეციალური განათლება, SIMATIK S7-ის საწყისი ცოდნა ამ კურსების ჩამონათვალიდან პირველი კურსის დონეზე;
- პრაქტიკული საგარჯიშოები უნდა შესრულდეს SIMATIK S7 300/400 – ის სასწავლო სტენდებზე, პროგრამატორზე FieldPG, კონვეიერის მოდელზე და სადემონსტრაციო სტენდზე FieldPG, კონვეიერის მოდელზე და სადემონსტრაციოსტენდზე **Micromaster 440**.

5. პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერების პროგრამირების ენები და დაპროგრამირების საშუალებები.

- კურსი გათვალისწინებულია იმ სპეციალისტებისათვის, რომლებიც მუშაობენ SIMATIK S7 ბაზაზე არსებული სტემების პროექტირებაზე, პროგრამირებასა და დანერგვაზე;
- კურსი უზრუნველყოფს ცოდნის აუცილებელ ბაზურ დონეს SIMATIK S7-ის პრაქტიკული პროგრამირებისა და მომსახურებისათვის;
- მსმენელებისაგან მოითხოვება ოპერაციულ სისტემა Windows-ში მუშაობის უნარ-ჩვევები, უმაღლესი ტექნიკური ანდა საშუალო სპეციალური განათლება, SIMATIK S7-ის საწყისი ცოდნა ამ კურსების ჩამონათვალიდან პირველი კურსის დონეზე;

- კურსის მიზანებია: პაკეტით 7-ის შესწავლა, პროგრამული სტრუქტურების შესწავლა, სამომხმარებლო პროგრამების დამუშავება, დოკუმენტირება და გაშვება;
- პრაქტიკული სავარჯიშოები უნდაშესრულდეს SIMATIK S7 300/400 – ის სასწავლო სტენდებზე, პროგრამატორზე FieldPG, კონვეიერის მოდელზე და სადემონსტრაციო სტენდზე **Micromaster 440**.

6. SIMATIC S7 300/400 სამრეწველო კონტროლერების პროგრამირება

- კურსი გათვალისწინებულია იმ სპეციალისტებისათვის, რომლებიც მუშაობენ SIMATIK S7 ბაზაზე არსებული სისტემების პროექტირებაზე, პროგრამირებასა და დანერგვაზე;
- კურსი უზრუნველყოფს ცოდნის გაფართოებული დონის მიღებას SIMATIK S7-ის პრაქტიკული პროგრამირების საქმეში.
- მსმენელებისაგან მოითხოვება ოპერაციულსისტემა ჰინდოუს-ში მუშაობის უნარ-ჩვევები, უმაღლესი ტექნიკური განათლება (სასურველია), ბაზური ცოდნა წინა მე-3 ან მე-4 ან მე-5 კურსების დონეზე;
- კურსისმიზანებია: STEP7 ენის გაფართოებული შესწავლა, მომხმარებლის პროგრამების დამუშავება და გაშვება SIMATIC S7 კონტროლერის სტანდარტული და სისტემური ფუნქციების გამოყენებით;
- პრაქტიკული სავარჯიშოები უნდაშესრულდეს SIMATIK S7 300/400 – ის სასწავლო სტენდებზე, პროგრამატორზეFieldPG და კონვეიერის მოდელზე.

მოთხოვნები: ყველა კურსის მსმენელებისაგან მოითხოვება ოპერაციულ სისტემა Windows-ში მუშაობის უნარ-ჩვევები, ზოგადი წარმოდგენები ავტომატიზაციის სისტემებზე, ან უმაღლესი ტექნიკურია ნდასაშუალო სპეციალური განათლება, მე-3 და მე-4 კურსის მსმენელებს დამატებით მოეთხოვებათ SIMATIK S7-ის საწყის იცოდნა, მე-5 და მე-6 კურსის მსმენელებს დამატებით მოეთხოვებათ ცოდნა წინა მე-2, ან მე-3, ან მე-4 კურსების დონეებზე.

1. SimaticS7 Training Caze S7-300 PROFIBUS With Touch Panel საორ.ფასი 10000 ევ.Заказной номер: 6ZB2 310-0CD00

2. Micromaster 4 40 Training Case With Pulse generator and brake სღღრ.ფღღბღ 5000ჲჲ.
Заказной номер: 6AG1 062-1AA07-0AA0
3. Programmer FildPG Заказнойномер: 6ES7790-1AA00-0AA0 სღღრ. ფღღბღ 5000
ჲჲ.
4. AS-Interface Training Caze
5. Заказ нойномер: 6ZB2520-0AB00 სღღრ. ფღღბღ 5000 ჲჲ.
6. Model Konveiersaor. ფღღბღ 35000 ჲჲ.

კომპიუტერების არქიტექტურა

ლექცია 1. კომპიუტერული ტექნიკის განვითარების მიმოხილვა

უმაღლესი ტექნოლოგიების ბოლოდროინდელი წარმატებებითა და მიღწევებითაა განპირობებული, რომ კაცობრიობა სწრაფად გადადის თავისი განვითარების ინდუსტრიულური ერიდან უმეტესწილად ინფორმაციულ ერაზე. სამეცნიერო ტექნიკურმა პროგრესმა, მრეწველობის განვითარებამ, კოსმოსის ათვისებამ და აგრეთვე სახელმწიფოთა თავდაცვითმა საჭიროებებმა მოითხოვეს ინფორმაციის უზარმაზარი ნაკადების გადამუშავება, რომლებმაც გამოიწვიეს ქვეყნების და ზოგადად კაცობრიობის განვითარების პრიორიტეტების შეცვლა. უკვე ეხლა არიან განვითარებული ქვეყნები, რომელთა სიმდიდრის 80-90% ინფორმაციის დაგროვებით შენახვით და გაყიდვით არის მიღებული, ამან გამოიწვია აგრეთვე ათეულობით და ალბათ ასეულობით მილიონი ადამიანის ცხოვრების სტილისა და მუშაობის ხასიათის შეცვლა, მჭიდროდ დაუკავშირა რა ისინი კომპიუტერებთან და ინფორმაციულ პროცესებთან ზოგადად.

როგორც ცნობილია კომპიუტერი ინგლისური სიტყვაა და ნიშნავს გამომთვლელს. ეს ტერმინი როგორც გამომთვლელი მანქანის აღმნიშვნელი ხმარებაში შემოვიდა ოცდაათიოდე წლის წინათ მას შემდეგ რაც შეიქმნა და ფართო გამოყენება ჰპოვა გამოთვლით ტექნიკაში მიკროპროცესორებმა.

კომპიუტერი არის ელექტრონული მოწყობილობა, რომელიც ასრულებს ინფორმაციის შეყვანას, შენახვას, მის გადამუშავებას გარკვეული პროგრამით და მიღებული შედეგების გამოყვანას ადამიანის აღქმისათვის მოსახერხებელი ფორმით. როგორც ვხედავთ კომპიუტერის ერთერთი ძირითადი და მთავარი ამოცანაა ინფორმაციის გადამუშავება.

ინფორმაცია წარმოადგენს მონაცემთა (ამბებთა) ერთობლიობას, რომელიც მიიღება გარემომცველი გარემოდან (შემომავალი ინფორმაცია), გაიცემა გარემომცველ გარემოში (გამომავალი ინფორმაცია), ანდა შეინახვის გარკვეული სისტემის შიგნით. ინფორმაცია არსებობს საბუთების, ნახაზების, ნახატების ტექსტების, ბგერითი და სხივური სიგნალების, ელექტრული და ნერვული იმპულსების და სხვ. სახით.

50 წლების დასაწყისიდან ფირმა **IBM**-მა (წამყვანი კომპიუტერული კომპანია) გააცნობიერა რომ, თუ გადავიდოდნენ ერთიანი კომპიუტერული მანქანების ოჯახის შექმნაზე, რომელელთაც შესაძლებლობა ექნებოდა ერთიანი ინსტრუქციების შესრულებისა, მაშინ ეს ხელსაყრელი იქნებოდა

როგორც ფირმისთვის ასევე მომხმარებლებისათვის. ოჯახის წევრებს შორის ასეთი შეთავსებადობის დონის აღსაწერად ფირმა IBM-მა კომპიუტერულ მეცნიერებაში შემოიტანა ტერმინი **არქიტექტურა** და დაადგინა, რომ ახალი ოჯახის წევრებს (კომპიუტერებს) უნდა ჰქონოდა ერთი და იგივე არქიტექტურა მაგრამ ბევრი შესაძლო სხვადასხვა ტექნიკური შესრულება, და რომლებსაც უნდა ჰქონოდათ ერთიდაიგივე პროგრამების შესრულების უნარი შესრულების სიჩქარისა და ფასის შესაძლო განსხვავებით.

ტერმინი არქიტექტურა შეიძლება ვიხმართ **გამოთვლითი ტექნიკის** (მოწყობილობათა ერთობლიობა რომელთა დანიშნულებაა ინფორმაციის ავტომატური ანდა ავტომატიზირებული გადამუშავება) ნებისმიერი წარმომადგენლობისათვის როგორებიცაა: გამომთვლელი სისტემები, გამომთვლელი მანქანები ანუ კომპიუტერები, მიკროპროცესორები, ერთკრისტალიანი მიკროგამომთვლელი მანქანები (მიკროკონტროლერები).

თანამედროვე **გამომთვლელი სისტემების** (გამომთვლელი მანქანების აპარატურული და პროგრამული საშუალებების ერთობლიობა) სირთულემ კანონზომიერად მიგვიყვანა გამომთვლელი სისტემის **არქიტექტურის** ცნებამდე (ანუ სისტემის ლოგიკური ორგანიზაციამდე), რომელიც მოიცავს მისი აგების ზოგადი და მთავარი საკითხების ერთობლიობას მისი შესაძლებლობების შესახებ, რომლებიც მზნიშვნელოვანია პირველ რიგში მომხმარებლისა და პროგრამისტების საჭიროებებისათვის.

კომპიუტერების (ანდა სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ კომპიუტერი წარმოადგენს პროგრამირებად ელექტრონულ მოწყობილობას რომელსაც შეუძლია მონაცემთა გადამუშავება და გამოთვლების შესრულება, ასევე მას შეუძლია შეასრულოს სიმბოლეზე მანიპულირების სხვა ამოცანები) **არქიტექტურის** ქვეშ იგულისხმება მისი ლოგიკური ორგანიზაცია, სტრუქტურა და რესურსები ე.ი გამომთვლელი სისტემის საშუალებები, რომლებიც შესაძლებელია გამოყოფილ იქნენ გარკვეული დროის ინტერვალზე მონაცემთა გადამუშავების პროცესისათვის.

სოლო **მიკროპროცესორის** (პროგრამულად მართვადი მოწყობილობა, როპმლის დანიშნულებაა ციფრული ინფორმაციის გადამუშავება და ამ გადამუშავების პროცესის მართვა, და რომელიც შესრულებულია მაღალი ინტეგრაციის ელექტრონული ერთი ან რამოდენიმე სქემისაგან (მიკროსქემისაგან)) **არქიტექტურა** არის მისი აპარატურული ელექტრონული

საშუალებების ფუნქციონალური შესაძლებლობები, რომლებიც გამოიყენებიან მონაცემთა და მასწავლებლის ოპერაციების წარმოდგენისათვის, ალგორითმებისა და გამოთვლითი პროცესების აღწერისათვის.

მაშასადამე, შეიძლება საბოლოოდ ჩამოვყალიბოდ რომ კომპიუტერების **არქიტექტურა** წარმოადგენს კომპიუტერების აპარატული ნაწილის იმ ფუნქციონალურ შესაძლებლობებს, რომელიც გასათვალისწინებელი და საჭიროა პირველ რიგში პროგრამისტებისათვის და მოიცავს ისეთ ასპექტებს როგორებიცაა მონაცემთა ტიპი და ზომა, (მაგ. 16 თანრიგა ორობითი რიცხვები), იმ ოპერაციების ტიპები რომლებსაც კომპიუტერი ასრულებს (მაგ. შეკრება, გამოკლება და სხვ.), იმ რეგისტრთა რაოდენობა და ტიპები რომლებიც პროგრამულადაა ხელმისაწვდომი და სხვ.

რაც შეეხება **კომპიუტერების სტრუქტურულ** ორგანიზაციას იგი წარმოადგენს იმ სტრუქტურულ ურთიერთდამოკიდებულებებს, რომლებიც პროგრამისტისათვის ხელმიუწვდომელია, რადგან არ არსებობენ ინსტრუქციები მათზე მანიპულირებისა. მაგალითად პერიფერიული მოწყობილობების ინტერფეისები, მახსოვრობის შესრულებისას გამოყენებული ტექნოლოგია, პროგრამულად ხელმიუწვდომელი დამხმარე რეგისტრები და სხვ.

ჩვენი სასწავლო კურსი მოიცავს კომპიუტერების ორთავე მხარეს ე.ი. როგორც არქიტექტურას ისე სტრუქტურას ხოლო ტერმინი **”არქიტექტურა”** ზოგჯერ წარმოადგენს გაფართოებულ ცნებას რომელშიც იგულისხმება ორთავე არქიტექტურაც და ორგანიზაციაც.

კომპიუტერების თანამედროვე არქიტექტურა განისაზღვრება შემდეგი პრინციპებით:

პროგრამული მართვის პრინციპი. იგი უზრუნველყოფს გამოთვლითი პროცესის ავტომატურ შესრულებას. ამ პრინციპის თანახმად თვითოეული ამოცანის გადასაწყვეტად მუშავდება საკუთარი პროგრამა, რომელიც განსაზღვრავს კომპიუტერის მოქმედების თანმიმდევრობას;

პროგრამის შენახვის პრინციპი მახსოვრობაში. ამ პრინციპის თანახმად ბრძანებები ისევე შეიძლება მიეწოდოს ალმ-ს როგორც მონაცემები, და მაშასადამე ისინი შეიძლება ისევე გადამუშავდნენ როგორც რიცხვები, ხოლო თვითონ პროგრამა ამოცანის გადაწყვეტის შესრულების წინ გადაიტვირთება ოპერატიულ მახსოვრობაში რაც აჩქარებს მის შესრულებას;

ოპერატიულ მახსოვრობის უზრუნველყოფის თანაბარშესაძლებელი დაშვება (ხელმისაწვდომობა). ამ პრინციპის თანახმად პროგრამისა და მონაცემების ელემენტები შეიძლება ჩაწერილ იქნენ ოპერატიული მახსოვრობის ნებისმიერ ადგილებში, რაც საშუალებას გვაძლევს მივაკითხოთ ნებისმიერ მოცემულ მისამართს წინამდებარეებთან მიკითხვის გარეშე.

ამ პრინციპებიდან გამომდინარე შეიძლება ვამტკიცოთ, რომ თანამედროვე კომპიუტერი ის ტექნიკური მოწყობილობაა, რომელის მახსოვრობაში საწყისი მონაცემების ციფრული კოდების და მათი გადამუშავების პროგრამის შეყვანის შემდეგ რომელიც ასევე ციფრული კოდებითაა წარმოდგენილი— შეუძლია გამოთვლითი პროცესის ავტომატური შესრულება და ამოცანის გადაწყვეტის საბოლოო შედეგების წარმოდგენა ადამიანის ალტერნატივის მოსახერხებელი ფორმით.

თანამედროვე პერსონალური კომპიუტერების (პკ) პროექტირებისას მათი ხარისხისა და მწარმოებლობის გაზრდის მიზნით ხშირად გვერდს უვლიან ხოლმე ფონ ნეიმანის ტრადიციულ არქიტექტურას.

როგორც ცნობილია პკ-ს ხარისხი განპირობებულია: ცენტრალური პროცესორის სწრაფქმედებით, ბრძანებათა რაოდენობით რომლებიც შეუძლია შეასრულოს პროცესორს, ერთდროულად მასზედ მიერთებული პერიფერიული მოწყობილობების რაოდენობით, მაგრამ პრაქტიკულად მომხმარებლებს ყველაზე მეტად აინტერესებს კომპიუტერის მწარმოებლობა-მისი ეფექტური სწრაფქმედების მაჩვენებელი, ე.ი მისი უნარი არა მარტო სწრაფად იმუშაოს არამედ სწრაფად გადაწყვიტოს კონკრეტული დასმული საკითხები.

ყველა აღნიშნული და აგრეთვე სხვა ფაქტორები განაპირობებენ კომპიუტერების ელემენტური ბაზის პრინციპიალური და კონსტრუქციული გაუმჯობესებების საჭიროებას ე.ი უფრო სწრაფქმედი, საიმედო და მუშაობაში მოსახერხებელი პროცესორების, მახსოვრობის მოწყობილობების, შემყვან-გამომყვანი მოწყობილობების შექმნას, მაგრამ თუ გავითვალისწინებთ, რომ ელემენტების მუშაობის სიჩქარე შეუძლებელია უსასრულოდ გაგზარდოთ რადგან არსებობენ ტექნოლოგიური და ფიზიკის კანონებიდან გამომწვეული შეზღუდვები. ამიტომ დამპროექტებლები პრობლემის გადაწყვეტას ეძებენ კომპიუტერების არქიტექტურის გაუმჯობესებაში.

ასე წარმოიშენენ კომპიუტერები მრავალპროცესორული არქიტექტურით, სადაც რამდენიმე პროცესორი ერთდროულად მუშაობენ ხოლო მათი საერთო მწარმოებლობა ტოლი ხდება თვითოეული პროცესორის მწარმოებლობათა ჯამისა. ასე მაგალითად არსებობენ 64 პროცესორიანი, 100 პროცესორიანი სუპერკომპიუტერები და სხვ..

კომპიუტერის მუშაობის სისწრაფე მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია ოპერატიული მახსოვრობის სწრაფმოქმედებისაგან. ამიტომ განუწყვეტლივ მიმდინარეობს სამუშაოები ახალი ელემენტების შესაქმნელად, რომელთა გამოყენებითაც უფრო მცირე დროში მოხდება ჩაწერა-ამოკითხვის ოპერაციების შესრულება, მაგრამ აქ თავს იჩენს სხვა პრობლემა, კერძოდ სწრაფმოქმედების გაზრდა უცილობლად იწვევს მისი ღირებულობის გაზრდას, რაც ყოველთვის ხელსაყრელი არ არის ეკონომიური თვალსაზრისით.

პრობლემის გადაწყვეტა ხდება მრავალდონიანი მახსოვრობის შექმნით. ოპერატიული მახსოვრობა შედგება ორი ნაწილისაგან: ძირითადი ნაწილი მზადდება შედარებით ნაკლები სწრაფმოქმედების მაგრამ იაფი კომპონენტებისაგან, ხოლო დამატებითი ე.ი. ეგრეთ წოდებული კეშ-მახსოვრობა კეთდება უფრო სწრაფმოქმედი ელემენტებისაგან. მონაცემები რომლებიც უფრო ხშირად გამოიყენებიან პროცესორის მიერ იმყოფებიან კეშ-მახსოვრობაში, ხოლო ოპერატიული ინფორმაციის დიდი მოცულობა იმყოფება ძირითად მახსოვრობაში.

აღრე შემყვან-გამომყვანი მოწყობილობების დიდი ნაწილი იმართებოდა ცენტრალური პროცესორის მიერ, რაც დიდ დროს ითხოვდა. თანამედროვე კომპიუტერების არქიტექტურა უზრუნველყოფს, პირდაპირი დაშვების (კავშირის) არხების არსებობას ოპერატიულ მეხსიერებასთან, რაც ანთავისუფლებს ცენტრალურ პროცესორს პერიფერიულ მოწყობილობებთან მონაცემების შეყვანა გამოყვანის ოპერაციებისაგან, გარდა ამისა ამ უკანასკნელთა მართვის ფუნქციების დიდძალი ნაწილი შეიძლება მოხდეს სპეციალიზირებული პროცესორების დახმარებით, რაც იწვევს ცენტრალური პროცესორის განტვირთვას და როგორც შედეგი მისი მწარმოებლობის გაზრდას.

ლექცია 2. კომპიუტერების კლასიფიკაციის მეთოდები

კომპიუტერის სახეების ნომენკლატურა უზარმაზარია: მანქანები განირჩევიან დანიშნულების მიხედვით, სიმძლავრით, ზომებით, ელემენტური

ბაზით და სხვ. ამიტომ ელექტრონული გამომთვლელ მანქანების (ეგმ) კლასიფიკაციას ახდენენ სხვადასხვა ნიშნების მიხედვით. უნდა აღინიშნოს რომ ნებისმიერი კლასიფიკაცია რამდენადმე პირობითია იმიტომ რომ კომპიუტერული მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარება ისეთი სწრაფი ტემპით ხდება, რომ დღევანდელი მიკროეგმ-ი არ ჩამორჩება თავისი სიმძლავრით ხუთი წლის წინანდელ მინიეგმ-ებს და ახლოწარსულის სუპერკომპიუტერებსაც კი. არდა ამისა კომპიუტერების ჩარიცხვა გარკვეულ კლასში საკმაოდ პირობითია რადგანაც ჯგუფებად დაყოფა არაზუსტია, ამასთანავე შემოვიდა პრაქტიკაში კომპიუტერების შეკვეთით აწყოების პრაქტიკა სადაც ხდება კვანძებისა და მოდულების ადაპტაცია შემკვეთების მოთხოვნების შესაბამისად.

განვიხილოთ კომპიუტერების კლასიფიკაციის ყველაზე გავრცელებული კრიტერიუმები.

კლასიფიკაცია დანიშნულების მიხედვით

- დიდი ელექტრონულ-გამომთვლელი მანქანები;
- მინი ეგმ
- მიკრო ეგმ
- პერსონალური კომპიუტერები

დიდი ეგმ-ები (მაინ ფრეიმები)

ამ ტიპის მანქანებს გამოიყენებენ სახალხო მეურნეობის დიდი დარგებისა მომსახურებისათვის. ისინი ხასიათდებიან 64 თანრიგიანი პარალელურად მომუშავე პროსესორებით (რომელთა რაოდენობა აღწევს 100), ასობის მილიარდი ოპერაცია წამში ჯამური სწრაფქმედებით, მუშაობის მრავალმოსხმარების რეჟიმით.

ასეთი სუპერ ეგმ –ებია: **IBM 360, IBM 370, Cray 3, Cray 4, VAX-100, Hitachi, Fujitsu VP2000.**

მინი ეგმ-ები

ისინი ჰგვანან დიდ მანქანებს, მასგრამ შედარებით მცირე ზომისანი არიან. მათ იყენებენ დიდ წარმოებებსა და სამეცნიერო ორგანიზაციებში. იყენებენ ასევე წარმოების პროცესების მართვისთვის. ისინი ხასიათდებიან მულტიპროცესორული არხიტექტურით, 200-მდე მიერთებული ტერმინალით, დისკური დამამახსოვრებელი მოწყობილობით რომელთა მოცულობამ შეიწლება ასობით გიგაბაიტს მიაღწიოს.

მიკრო ეგმ-ი

ასეთი ტიპის კომპიუტერები ხელმისაწვდომია ბევრი ორგანიზაციისათვის, სამეცნიერო ლაბორატორიებისთვის. მათი შესაბამისი სისტემური პროგრამები თან მოჰყვება მიკრო ეგმ-ს.

პერსონალური კომპიუტერები (პკ)

ფანტასტიკური განვითარება ჰპოვა ბოლო 20 წლის განმავლობაში. პკ-ის დანიშნულებაა ერთი სამუშაო ადგილის მომსახურება. მას აქვს შესაძლებლობა უზრუნველყოს ცალკეული საწარმოსა თუ პირის მოთხოვნილების დაკმაყოფილება. ინტერნეტის გამოჩენით პკ-ის პოპულარობა მნიშვნელოვნად გაიზარდა, რადგანაც პერსონალური კომპიუტერის დახმარებით შესაძლებლობა გაჩნდა სამეცნიერო, საცნობარო, სასწავლო და გასართობი ინფორმაციის მიღებისა და გამოყენებისა.

თავის მხრივ პერსონალური კომპიუტერები პირობითად შეიძლება დაიყოს პროფესიონალურ და საყოფაცხოვრებო მანქანებად. მაგრამ აპარატიული უზრუნველყოფის ფასების შემცირების კვალობაზე მათ შორის განსხვავება იშლება. 1999 წლიდან მოქმედებს საერთაშორისო სასერთიფიკაციო სტანდარტი-PC99 სპეციფიკაცია რომლის მიხედვითაც ისინი იყოფიან:

- საყოველთაო პერსონალური კომპიუტერებად (Consumer PC)
- საქმიან პერსონალურ კომპიუტერებად (Offise PC)
- პორტატიულ პერსონალურ კომპიუტერებად (Mobile PC)
- სამუშაო სადგურებად (WorkStation)
- გასართობ პერსონალურ კომპიუტერებად (Mentertainment PC)

პერსონალური კომპიუტერების უმეტესობა ბაზარზე ხვდება როგორც საყოველთაო. საქმიან პერსონალ კომპიუტერებს აქვთ გრაფიკისა და ხმის აღწარმოების მინიმალური საშუალებები. პორტატიული პერსონალური კომპიუტერები გამოირჩევიან შორეული დაშვების კომუნიკაციის საშუალებებით (კომპიუტერული კავშირი). სამუშაო სადგურებს აქვთ მომეტებული მოთხოვნები მონაცემთა შენახვის მოწყობილობების მიმართ, ხოლო გასართობი პერსონალური კომპიუტერებში ძირითადი აქცენტი გადატანილია გრაფიკისა და ხმის აღწარმოების მოწყობილობების მიმართ.

კლასიფიკაცია სპეციალიზაციის დონის მიხედვით

- უნივერსალური
- სპეციალიზირებული

უნივერსალური პერსონალური კომპიუტერების (პკ) ბაზაზე შეიძლება აგებულ იქნას ნებისმიერი კონფიგურაცია გრაფიკასთან, ტექსტთან,

მუზიკასთან, ვიდეოსთან და სხვ. სამუშაოდ. სპეციალიზირებული პე
შექმნილნი არიან კონკრეტული ამოცანების გადასაწყვეტად, კერძოდ
მანქანების, თვითმფრინავების, რაკეტების საბორტო კომპიუტერები.

კინოფილმებთან, რეკლამებთან სამუშაოდ განკუთვნილ
სპეციალიზირებულ მინი ეგზ-ებს ეწოდებათ **სამუშაო სადგურები**. ერთიან
ქსელში კომპიუტერების გამაერთიანებელ სპეციალიზირებულ კომპიუტერებს
ფაილური სერვერები ეწოდებათ. ხოლო ინტერნეტის ქსელში ინფორმაციის
გადამცემ კომპიუტერებს **ქსელური სერვერები** ეწოდებათ. (სერვერი
ინგლისური სიტყვაა და ნიშნავს მომსახურე (მოსამსახურე) მოწყობილობას).

კლასიფიკაცია ზომის მიხედვით

- სამაგიდო (დესკტოპ);
- პორტატიული (ნოტბოკ);
- ჯიბის (პალმტოპ).

აქედან ყველაზე მეტად გავრცელებულია სამაგიდო პერსონალური
კომპიუტერები, რომლებსაც შესაძლებლობა აქვთ კონფიგურაციიც ადვილი
ცვლილებისა. პორტატიულები მომხმარებლებისათვის მოსახერხებელი არიან,
აქვთ მოშორებულ კომპიუტერებთან კავშირის შესაძლებლობები. ხოლო რაც
შეეხება ჯიბის მოდელებს მათ შეიძლება ვუწოდოთ ინტელექტუალური
წიგნაკები, ისინი საშუალებას გვაძლევენ ოპერატიულდ შევინახოთ
მონაცემები და აგრეთვე სწრაფადვე მივაკითხოთ მათ.

კლასიფიკაცია შეთავსებადობის მიხედვით

არსებობენ მრავალი კომპიუტერები რომლებიც აწყობილნი არიან სხვადასხვა
ფირმების მიერ წარმოებული დეტალებით. ასეთ პირობებში ყველაზე მეტად
მნიშვნელოვანია კომპიუტერთა უზრუნველყოფის შეთავსებადობა:

- აპარატიული შეთავსებადობა (IBM PC და Apple Macintosh –ის პლათფორმა);
- შეთავსებადობა ოპერაციული სისტემის დონეზე;
- პროგრამული შეთავსებადობა;
- შეთავსებადობა მონაცემთა დონეზე;

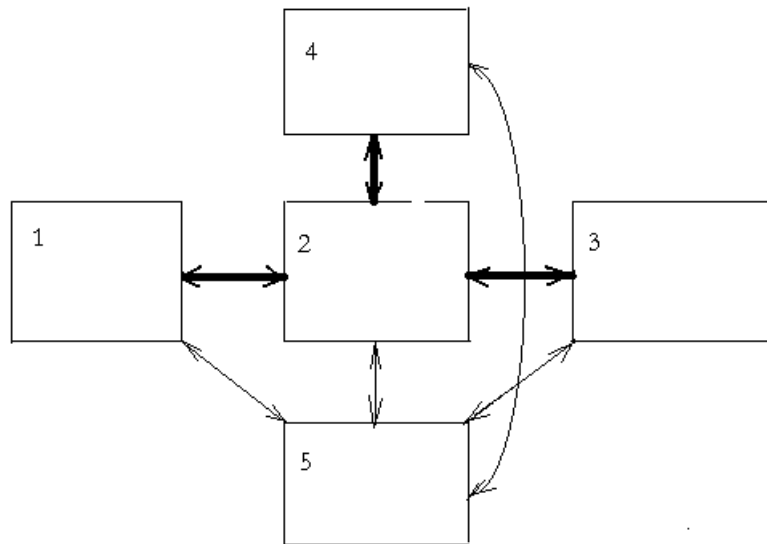
საკონტროლო კითხვები

1. რა არის კომპიუტერის არქიტექტურა? კომპიუტერის ზოგადი სტრუქტურა?
2. კომპიუტერის თანამედროვე არქიტექტურის პრინციპები?
3. კომპიუტერის კლასიფიკაციის მეთოდები? კლასიფიკაცია დანიშნულების
მიხედვით?
4. დიდი ეგზ-ები (Main Frame)?

5. მინი ეგზ- ბი? მიკრო ეგზ-ები?
6. პერსონალური კომპიუტერები? კლასიფიკაცია საერთაშორისო სტანდარტით?
7. კლასიფიკაცია სპეციალიზაციის დონით? კლასიფიკაცია ზომის მიხედვით? კლასიფიკაცია შეთავსებადობის მიხედვით?

ლექცია 3. კომპიუტერის ბლოკ-სქემა. ფონ ნეიმანის მოდელი

ზოგადად ციფრულ კომპიუტერებს აქვთ ერთიანი ფორმა, რომელიც შემოტანილ იქნა 1945 წლიდან და ცნობილია როგორც ფონ ნეიმანის მოდელი. იგი შედგება ხუთი ძირითადი კომპონენტისაგან ის.ფიგურა 1.1

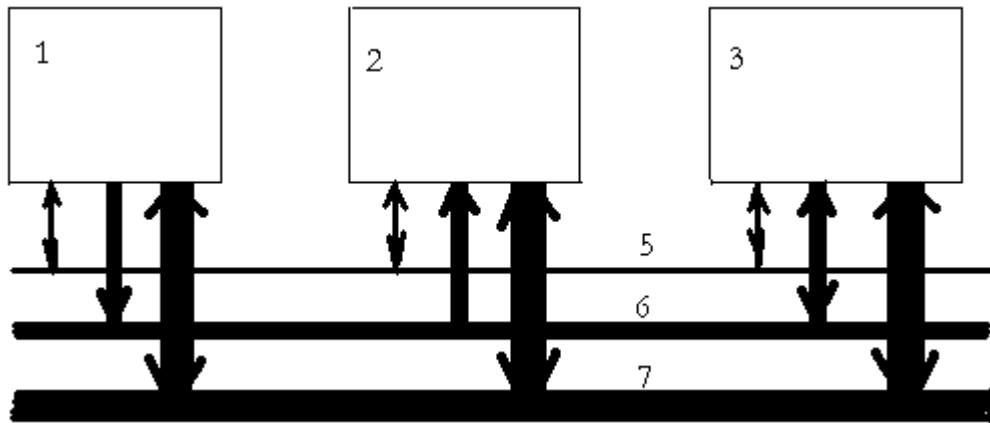


ფიგურა 2.1 ციფრული კომპიუტერის ფონ ნეიმანის მოდელი

მსხვილი ისრები წარმოადგენენ მონაცემთა სალტებს, ხოლო წვრილი მართვის სალტებს შემყვანი მოწყობილობა (შმ) 1 უზრუნველყოფს მონაცემებისა და ინსტრუქციების შეყვანას სისტემაში, რომლებიც შემდგომში შეინახებიან მახსოვრობის მოწყობილობაში (მმ) 4. მონაცემები და ინსტრუქციები გადამუშავდებიან არითმეტიკულ-ლოგიკურ მოწყობილობაში (ალო) 2. კონტროლის მოწყობილობის (კმ) 5 ხელმძღვანელობით, ხოლო შედეგები გადაიგზავნებიან გამომყვან მოწყობილობაში (გმ) 3. ხშირად ალო და კმ ერთად არიან წარმოდგენილნი და მათ ერთობლიობას ეწოდება ცენტრალური პროცესორული მოწყობილობა (ცპმ), რაც ხშირად შესაბამისი ინგლისური აბრევიატურით შეიძლება შეგვხვდეს ლიტერატურაში (ჩ).

(ტერმინი პროცესორი ინგლისური სიტყვაა და ნიშნავს გადამამუშავებელს, გარდამქმნელს).

ფონ ნეიმანის მოდელის ერთერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ასპექტია დამახსოვრებადი პროგრამები. ე.ი. პროგრამები ისევე ჩაიწერებიან და შეინახებიან მახსოვრობის მოწყობილობაში როგორც მონაცემები, რომელთა გადამამუშავებაცაა საჭირო განხორციელდეს. მმ-ში ჩაწერილ პროგრამებზე ისეთივე მანიპულაციები შეიძლება განხორციელდეს როგორც მონაცემებზე რასაც ძალზე დიდი მნიშვნელობა აქვს თანამედროვე კომპიუტერების ოპერაციული სისტემებისა და კომპილატორების ეფექტიური მუშაობისათვის.



ფიგ. 2.2 სისტემური სალტური მოდელი

მიუხედავად იმისა რომ ფონ ნეიმანის მოდელი ფართოდაა გავრცელებული თანამედროვე კომპიუტერებში მაინც საჭირო შეიქმნა მისი გაუმჯობესება. ფიგურა 1.2-ზე წარმოდგენილია კომპიუტერის ასეთი მოდერნიზებული მოდელი რომელსაც სისტემურ სალტურ მოდელს უწოდებენ

ფიგურა 2.2-ზე გამოსახულია კომპიუტერული სისტემების სისტემურ სალტური მოდელი ამ ფიგურაზე 1 არის (CPU), რომელიც შედგება არითმეტიკულ-ლოგიკური მოწყობილობისაგან, კონტროლის მოწყობილობისაგან და პროგრამულად ხელმისაწვდომი რეგისტრებისაგან, 2 არის მახსოვრობის მოწყობილობა, 3 შემყვანი და გამომყვანი მოწყობილობები გაერთიანებულად წარმოდგენილი (შემ), 5,6 და 7 ერთად აღებული წარმოადგენენ სისტემურ სალტეთა ერთობლიობას რომლებიც შედგებიან მონაცემთა სალტესაგან 5, სამისამართო სალტესაგან 6 და კონტროლის (მართვის) სალტესაგან 7. ამ მოდელის დიდი მნიშვნელობა

მდგომარეობს იმაში, რომ მისი ცალკეული მოწყობილობები გაერთიანებულია ერთსახელა სალტეების სახით რაც ამარტივებს მათ შორის კომუნიკაციას და ზოგადად კომპიუტერების სტრუქტურას.

ფიზიკურად **სალტეები** დამზადებულნი არიან გამტართა ერთობლიობისაგან, რომლებიც დაჯგუფებულნი არიან ფუნქციების მიხედვით, მაგ. **32**–ბიტის მონაცემთა სალტეს აქვს **32** ინდივიდუალური გამტარი რომლის თვითოეული მათგანიც ერთი ბიტი ინფორმაციის მატარებელია.

მონაცემთა სალტე გადასცემს მონაცემებს სისტემის კომპონენტებს შორის ორთავე მიმართულებით, სამისამართო სალტე განსაზღვრავს მახსოვრობის უჯრედების ადგილმდებარეობას სადაც მონაცემები ჩაიწერება ან საიდანაც ისინი ამოიკითხებიან. ხოლო კონტროლის სალტეების საშვალეებით წარმოებს მართვის სიგნალების გადაცემა სისტემის კომპონენტებს შორის.

როგორც კომპიუტერის სისტემურ სალტური მოდელიდან გამომდინარეობს, მასში უნდა იყვნენ შემავალნი სპეციალური ბლოკები რომლებიც პასუხს აგებენ ნებისმიერი ზემოთ ჩამოთვლილი ოპერაციების შესრულებისთვის, მართლაც ასეთი ბლოკებია:

- შემყვან–გამომყვანი მოწყობილობა
- ცენტრალური პროცესორი
- მახსოვრობის მოწყობილობა

ყველა ეს ბლოკი შეიძლება შედგებოდნენ უფრო მცირე მოწყობილობებისგან. კერძოდ პროცესორში შეიძლება შედიოდნენ **ალმ**, **კმ**, სპეციალური დანიშნულების რეგისტრები და შესაძლოა მცირე მოცულობის ზეროპერატიული მახსოვრობის მოწყობილობა ანუ ეგრეთწოდებული **კემ**–მახსოვრობა.

ცენტრალური პროცესორი შედგება:

- **მართვის მოწყობილობისაგან**, რომლის დანიშნულებაა კომპიუტერის ყველა ბლოკის მუშაობის კოორდინაცია. გარკვეული თანმიმდევრობით იგი წაიკითხავს ოპერატიული მახსოვრობიდან ბრძანებას ბრძანებაზე. აღნიშნული ბრძანებები მასში განიშიფრებიან, რის შემდეგაც მმართველი სიგნალები გადაეცემა **ალმ**–ს, იგი აეწეობა იმ მოქმედების შესასრულებლად რაც მითითებულ იყო მიმდინარე ბრძანებაში (აქ შესაძლოა მონაწილეობა მიიღონ აგრეთვე შემყვან–გამომყვანმა მოწყობილობებმა), ამის შემდეგ გაიცემა ბრძანება არჩეული მოქმედების შესრულებაზე და ეს პროცესი გაგრძელდება

- **ართიმეტიკულ–ლოგიკური მოწყობილობისაგან** ეს კომპიუტერის ბლოკია რომლის დანიშნულებაა პროგრამის ბრძანებების (ინსტრუქციების) თანახმად მონაცემთა გარდაქმნა: მათზე არითმეტიკული ან ლოგიკური მოქმედებების შესრულება, და **რეგისტრებისაგან** რომელთა დანიშნულებაცაა იმ მონაცემების დროებით დამახსოვრება–შენახვა რომელზედაც ხდება ოპერაციების ჩატარება და ასევე ამ ოპერაციების შედეგების დამახსოვრება;
- **მახსოვრობის მოწყობილობა**–ეს კომპიუტერის ბლოკია რომლის დანიშნულებაა პროგრამების, შემავალი, გამომავალი და შუალედური მონაცემების დროებითი (ოპერატიული დამახსოვრება) ან ხანგრძლივი (მუდმივი დამახსოვრება) შენახვა. ოპერატიულ მახსოვრობას აქვს დიდი სწრაფქმედება მაგრამ მასში ინფორმაციის შენახვა წარმოებს მხოლოდ ჩართული კვების წყაროს შემთხვევაში, მუდმივი მახსოვრობა ინარჩუნებს ინფორმაციას კვების წყაროს გამორთვის შემთხვევაშიც, მაგრამ ინფორმაციის გაცვლის სიჩქარე მასსა და პროცესორს შორის გაცილებით ნაკლებია.

ლექცია 4. მანქანების არქიტექტურული დონეები

როგორც ყველა რთულ სისტემას კომპიუტერებსაც შეიძლება შევხედოთ სხვადასხვა პერსპექტივიდან ანუ დონეებიდან, დაწყებული ყველაზე დაბალი–ტრანზისტორული დონიდან დამთავრებული ყველაზე მაღალ მომხმარებლის დონედ. თვითოეული დონე წარმოადგენს კომპიუტერის რაიმე განზოგადებას. შესაწლოა კომპიუტერების ასეთი წარმატების ერთერთი მიზეზი გამოწვეული იყოს იმითაც, რომ ეს დონეები ასეთნაირად არიან ერთმანეთისაგან განცალკავებულნი და დამოუკიდებელნი.

აქ ნათლად ჩანს რომ მომხმარებლებს, რომლებიც ამუშავებენ მაგალითად ტექსტურ პროცესორის პროგრამებს არაფერად სჭირდებათ ცნობები მათი პროგრამირების შესახებ, თუ როგორ არიან ისინი დაპროექტებულ–შესრულებულნი რომელი ენის გამოყენებით, რომელი ტრანსლიატორებით და სხვ. თავის მხრივ პროგრამისტებს არაფერათ სჭირდებათ ლოგიკური სქემების დონის შესახებ ინფორმირებულება.

მანქანების არქიტექტურის დონეების განცალკავებლის პრინციპებიდან გამომდინარეობს მანქანების შეთავსებადობის პრინციპი ქვემოდან ზემოთ.

შეთავსებადობა ქვემოდან ზევით

ტრანზისტორის გამოგონებამ გამოიწვია კომპიუტერების აპარატიული ნაწილის უსწრეაფესი გაუმჯობესება რამაც თავის მხრივ გამოიწვია მათ შორის (კომპიუტერებს შორის) შეთავსებადობის პრობლემა. მომხმარებლებს სჭირდებოდათ და თანახმა იყვნენ შეეძინათ უფრო და უფრო ახალი, მძლავრი და სწრაფქმედი მანქანები მაგრამ ყოველ ახალ მოდელს ჰქონდა ახალი არქიტექტურა და ამიტომ ძველი პროგრამული უზრუნველყოფა არ მუშაობდა ახალ აპარატურაზე, პროგრამულ-აპარატიული შეთავსებადობის პრობლემა იმდენად სერიოზული აღმოჩნდა რომ მომხმარებლები ხშირად უარს ამბობდნენ ახალი კომპიუტერების შეძენაზე რადგან სამუშაო პროგრამების ახალ არქიტექტურაზე გადაყვანა ძალზე ძვირი უჯდებოდათ, ხოლო ისინი ვინც მაინც ყიდულობდნენ ახალ მანქანებს თვეების განმავლობაში მაინც ვერ იყენებდნენ მათ ვიდრე ძველი პროგრამული უზრუნველყოფისა და მონაცემთა ანაწყოების კონვერტაციას არ დაამთავრებდნენ ამ ახალი სისტემებისთვის.

ამ პრობლემაზე მუშაობისას ფირმა **IBM**-მა წამოაყენა მანქანათა ოჯახის კონცეფცია და გამოუშვა კიდევ სერია კომპიუტერებისა, რომლებიც ეკუთვნოდნენ 360-ის ოჯახს. ამ ოჯახის უფრო მძლავრ მანქანებს შეერძლოთ აემუშაებინათ ის პროგრამები ყოველგვარი მოდიფიკაციის გარეშე, რომლებიც დაწერილნი იყვნენ ნაკლები სიმძლავრის მანქანებისთვის. აი ეს იყო ქვემოდან ზემოთ შეთავსებადობის რეალური განხორციელება.

დონეები

განვიხილოთ კომპიუტერის დონეები მომხმარებლის დონიდან ტრანზისტორულ დონემდე.

მაღალი დონე - მომხმარებლის დონე: მომხმარებელთა (აპლიკაციური) პროგრამები.

მაღალი დონის კომპიუტერული ენები - ასემბლერის ენა / მანქანური კოდი
მიკროპროგრამულ / აპარატიული კონტროლი

ფუნქციონალური მოწყობილობები (მახსოვრობა, აღმ და სხვ.), ლოგიკური სქემები

დაბალი დონე - ტრანზისტორები და გამტარები

მომხმარებელთა ანუ აპლიკაციური დონე

ამ დონეზე მომხმარებელი ურთიერთქმედებს კომპიუტერთან პროგრამების გაშვების გზით (ტექსტური რედაქტორები, ელექტრონული ცხრილები ან მაგ. თამაშები). აქ მომხმარებელი ხედავს კომპიუტერს იმ პროგრამების გადასახედიდან რომელზედაც ის მუშაობს და სრულებითაც არ სჭირდება შეამჩნიოს მისი შინაგანი სტრუქტურა ან მის დაბალი დონეები.

მაღალი დონის ენის დონე

ვისაც უმუშავია მაღალი დონის პროგრამირების ენებზე როგორებიცაა C, C ++, ბეისიკი, პასკალი, ფორტრანი, ან ჯავა მან იცის რომ ის ურთიერთქმედებს კომპიუტერთან შესაბამის მაღალი დონის ენის დონეზე. აქ პროგრამისტი ხედავს მხოლოდ და მხოლოდ ენას და მანქანის სხვა არავითარ დეტალს რომლებიც მის (ამ მანქანის) დაბალ დონეს განეკუთვნებიან. აქ პროგრამისტი ხედავს მაგალითად მაღალი დონის ენის მონაცემებისა და ინსტრუქციების ტიპებს, მაგრამ არ აინტერესებს თუ ეს ინსტრუქციები რა სახით შესრულდებიან მანქანაზე. ეს უკვე მანქანის ფუნქციაა გარდაქმნას მაღალი დონის ენაზე დაწერილი ინსტრუქციები კომპიუტერის აპარატიული უზრუნველყოფის შესაბამისად.

პროგრამები რომლებიც მაღალი დონის ენებზეა დაწერილი შეიძლება გადაკომპილირდეს სხვადასხვა მანქანებისთვის და შესრულდეს მათზე გარანტირებულად ერთიდაიგივე საბოლოო შედეგების მიღებით. ჩვენ ასეთ შემთხვევაში ვამბობთ, ეს მანქანები შეთავსებადნი არიან მაღალი დონის ენების დონეზე და ამ ასეთ შეთავსებადობას ვუწოდებთ შეთავსებადობას საწყის კოდზე.

ასემბლერის ენა/მანქანური კოდის დონე

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული მაღალი დონის ენას ნაკლები აქვს საერთო იმ მანქანასთან რომლისთვისაც ხდება მათზე დაწერილი პროგრამების გადათარგმნა (ტრანსცილაცია). კომპიუტერი გადათარგმნის საწყის კოდს მანქანურ ენაზე (მანქანური კოდი). მაღალი დონის ენა უზრუნველყოფს პროგრამისტებს ენობრივი კონსტრუქციებისა და მონაცემთა ტიპების წინასწარ კარგად მოფიქრებული გარკვეული ანაწყოებით. რაც შეეხება მანქანურ კოდს იგი ასე ვთქვათ ქვევით იხედება მანქანურ იერარქიაში და პასუხობს მანქანური დიზაინის დაბალი დონის ასპექტებს. მაშასადამე მანქანურ კოდებს საქმე აქვთ მანქანურ ელემენტებთან როგორიცაა მაგ. რეგისტრები და მონაცემთა გადაცემები მათ შორის.

მანქანური ინსტრუქციების ნაკრებს მოცემული კონკრეტული მანქანისათვის ამ მანქანის **ინსტრუქციების ანაწყოები** ეწოდება.

რა თქმა უნდა მოქმედი მანქანური კოდები ერთიანებისა და ნულების კოლექცია არიან, რომლებსაც აგრეთვე მანქანური ორობითი კოდი ანდა მოკლედ ორობითი კოდი ეწოდება. ფაქტია რომ აქ პროგრამირება მხოლოდ ამ ორი სიმბოლოების საშუალებით გამოიწვევს უამრავ შეცდომებს, აქედან გამომდინარე უპირველეს ყოვლისა იწერებოდნენ ეგრეთწოდებული პროგრამა ასემბლერები რომლებსაც შეეძლოთ მარტივი ენობრივი მნემონიკების როგორცაა მაგ. ოვე ატა, ცც, გადათარგმნა მათ შესაბამის მანქანურ კოდებში. ხოლო ის ენა, რომლის კონსტრუქციებიც ერთი-ერთთან გამოიხატებიან მანქანური ენით ცნობილი არიან როგორც ენა ასემბლერები.

მაშასადამე აქედან გამომდინარეობს რომ შესაძლებელია იყოს მრავალი სხვადასხვა მანქანები რომლებიც განსხვავებულები არიან დაბალი დონეის შესრულებით მაგრამ რომელთაც აქვთ ინსტრუქციების ერთიდაიგივე ანაწყოები, ანდა რომლების ინსტრუქციების ანაწყოებიც წარმოადგენენ რომელიმე სხვა მანქანების ინსტრუქციების ქვე ან ზე სიმრავლეებს. მის გათვალისწინებით ფირმა **IBM**-მმა გამოუშვა **IBM 360** მანქანების სერია მანქანურ კოდებში ზევით შეთავსებადობის გარანტიით.

მანქანური კოდი რომელიც მუშაობს **360** სერიის **35** მოდელზე, იმუშავებს მისივე **50** მოდელზე ყოველგვარი გადაკეთების გარეშე, რაც საშუალებას აძლევს მომხმარებელს მოდერნიზაცია გაუკეთოს თავის მანქანურ პარკს და შეიძინოს უფრო მძლავრი მანქანები პროგრამული უზრუნველყოფის გადაკეთების გარეშე. ამ სახის შეთავსებადობას ეწოდება ორობითი შეთავსებადობა. აღნიშნულმა თვისებამ გამოიწვია **360** სერიის კომპიუტერების უდიდესი წარმატება.

ინტელის კორპორაციამაც შეიტანა ორობითი შეთავსებადობაც პრინციპი თავისი პროცესორების ოჯახის წევრებში. ამ შემთხვევაში ორობითი კოდები რომლებიც დაწერილნი იყვნენ მისი ოჯახის პირველი წევრისთვის როგორცაა **8086** უნდა ყოფილიყვნენ დაყენებულნი და გაშვებულნი ყოველგვარი ცვლილების გარეშე მომდევნო წევრებისათვის, როგორებიცაა **80186, 80286, 80386, 80486** და აგრეთვე პენტიუმ პროცესორების უმეტესწილ წევრებზე

კონტროლის (მართვის) დონე

მართვის მოწყობილობა ახორციელებს მანქანურ ინსტრუქციებს ნაბიჯ–ნაბიჯ, რეგისტრებს შორის ინფორმაციის ურთიერთ გადაცემა იქნება ეს თუ სხვა მოქმედება. თუმცა, თუ როგორ აკეთებს ამას ეს ასემბლერის ენის პროგრამისტისთვის საინტერესო არ არის. კონტროლის მოწყობილობის შესრულების ორი ძირითადი გზა არსებობს: მიკროპროგრამული და აპარატული. დღესდღეობით ყფრო გავრცელებულია აპარატული გზა, რაც იმას ნიშნავს რომ ყველა საკონტროლო სიგნალების გენერაცია, რომლებიც საჭიროა მართვის ოპერაციების შესასრულებლად ხდება ციფრული ლოგიკური კომპონენტების საშუალებით.

ამ მეთოდის დადებითი მხარეა მუშაობის დიდი სწრაფქმედება მაგრამ ბოლო დრომდე ძნელი იყო მისი პროექტირება და მოდიფიკაცია. შედარებით ნელი მაგრამ შესასრულებლად მარტივია თუ ინსტრუქციებს შევასრულებთ როგორც მიკროპროგრამებს. ეს უკანასკნელი სინამდვილეში მცირე პროგრამები არიან დაწერილნი უფრო დაბალი დონის ენაზე რომლებიც სრულდებიან აპრატიულად და რომელთა ფუნქციაცაა მანქანური–ენური ინსტრუქციების ინტერპრეტაცია.

ფუნქციონალურ მოწყობილობათა დონე

მართვის მოწყობილობის მიერ შესრულებული რეგისტრთა შორის გადაცემებისა თუ სხვა ოპერაციების საშუალებით ხდება ინფორმაციის მოძრაობა ფუნქციონალურ მოწყობილობებს შორის, რომელთაც ასე იმიტომ ეწოდებათ რომ ისინი ახორციელებენ კომპიუტერისათვის მნიშვნელოვან ფუნქციებს. ფუნქციონალური მოწყობილობები შეიცავენ CPU-ს (ცენტრალური პროცესორის) შიგა რეგისტრებს, არიტმეტიკულ–ლოგიკურ მოწყობილობას ALU, და კომპიუტერის მთავარი მახსოვრობის მოწყობილობას.

ლოგიკური სქემები, ტრანზისტორები და გამტარები

როგორც ცნობილია ლოგიკური სხემებისაგან აგებულნი არიან ფუნქციონალური მოწყობილობები ხოლო თვითონ ეს ლოგიკური სხემები აგებულნი არიან ტრანზისტორებისაგან და მათი შემაერთებელი გამტარებისაგან. ლოგიკური სქემები ასრულებენ უმდაბლესი დონის ლოგიკურ ოპერაციებს რომლებისაგანაც კომპიუტერის ფუნქციონირებაა დამოკიდებული. უმდაბლესი ე.ი. ტრანზისტორებისა და გამტარების დონეზე კომპიუტერი ჩანთქმულია ძაბვის, დენის, სიგნალის გავრცელების დაყოვნების, კვანტების ეფექტებისა და სხვ. დაბალი დონის განზომილებების დეტალებში.

დონეებს შორის ურთიერთზემოქმედება

დონის შიგნითა და დონეთა შორის განსხვავებები ხშირად ძალზედ არათვალსაჩინოა და ძალზედ ძნელია მათ შორის ზღვარის გავლება. მაგალითად ახალი კომპიუტრის არქიტექტურა გაუმჯობესებული შესრულებისას შეიძლება შეიცავდეს ინსტრუქციებს მცოცავი მძიმისათვის, მაგრამ მას აუცილებლად უნდა ჰქონდეს საკმარისი აპარატურა მინიმალური ჯამური რაოდენობის ინსტრუქციების შესასრულებლად. ამ შემთხვევაში ინსტრუქციები მცოცავი მძიმით შეცვლილია ჩვეულებრივი მანქანური ინსტრუქციების თანმიმდევრობით, რომლებიც ასრულებენ იმიტაციას (ემულიაციას) აღნიშნული მცოცავი მძიმის ინსტრუქციებისა. არის შემთხვევები (მაგრამ არა აუცილებლად) როდესაც მიკროპროცესორებთან ერთად იყენებენ თანაპროცესორებს მცოცავი მძიმის ინსტრუქციების შესასრულებლად.

თუ ამ მიკროპროცესორებს ასეთი თანაპროცესორები არა აქვთ, მაშინ ისინი ემულიაციას ახდენენ მცოცავი მძიმის ინსტრუქციებისას მცოცავი მძიმის ქვეპროგრამების მიმდევრობით შესრულებით რომლებიც ეკუთვნიან მიკროპროცესორების მანქანური ენას, და რომლების ხშირად შენახულნი არიან ROM-ში, რომელიც თავის მხრივ არის მხოლოდ-წაკითხვის მახსოვრობის მიკროსქემა. ასეთ შემთხვევაში ასემბლერის ენა და მაღალი დონის ენა ერთნაირად აღიქვამენ ორთავე ტიპის შესაძლებლობას მცოცავ მძიმეებიან რიცხვებზე მოქმედების შესრულებისთვის. მაგრამ ისინი მაინც განსხვავდებიან შესრულების სიჩქარით.

მაღალი დონის ენის დონე ფუნქციონალური მოწყობილობების დონის ჩათვლით შეიძლება ისე იყვნენ გადახლართული ერთმანეთთან რომ ხშირად ძნელია ხოლმე იმის გაგება თუ რომელი ოპერაცია რომელ დონეზე ხდება. კომპიუტერების დონეთა იერარხიებად დაყოფის წესი მათი კლასიფიკაციისათვის კი არ არის ხელსაყრელი არამედ შემდგომი სწავლებისათვის რათა უფრო მეტად თვალსაჩინო გავხადოთ ის თემები რასაც ჩვენ შემდგომთავებში გავივლით.

პროგრამისტთა თვალსაწიერი-ინსტრუქციათა ანაწყოების (კომპლექტის) არქიტექტურა

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული ასემბლერის ენის პროგრამისტის ყურადღების ქვეშაა მანქანის ფუნქციონალური მოწყობილობები და ასემბლერის ენა. ინსტრუქციების ანაწყოებისა და ფუნქციონალური

მოწყობილობების ერთობლიობას მანქანათა ინსტრუქციების ანაწილის არქიტექტურა ISA-ეწოდება.

თავის მხრივ კომპიუტერის არქიტექტურა უყურებს სისტემას ყოველი მხრიდან. ეს არქიტექტურა რომელიც ფოკუსირდება კომპიუტერის დიზაინზე ყოველმხრივ დამოკიდებულია მწარმოებლობის მოთხოვნილებებთან და ხელფესმეკრულია ასე ვთქვათ მისი ღირებულებით. მწარმოებლობა შეიძლება განისაზღვროს პროგრამის შესრულების სიჩქარით, მასქანის მახსოვრობის მოცულობით ან სხვა მრავალი პარამეტრით. ღირებულება შეიძლება გამოსატულ იქნას ფულადი ერთეულებით, ან ზომა-წონით ან მოხმარებული სიმძლავრით. კომპიუტერის არქიტექტურის პროპექტირებისას გათვალისწინებულნი უნდა იქნენ მწარმოებლობის სასურველი მიზნები ისე რომ მისი ღირებულება არ გამოვიდეს დასაშვები ზღვარიდან.

ლექცია 24. პროცესორები

პროცესორის დანიშნულება მისი შემადგენლობა

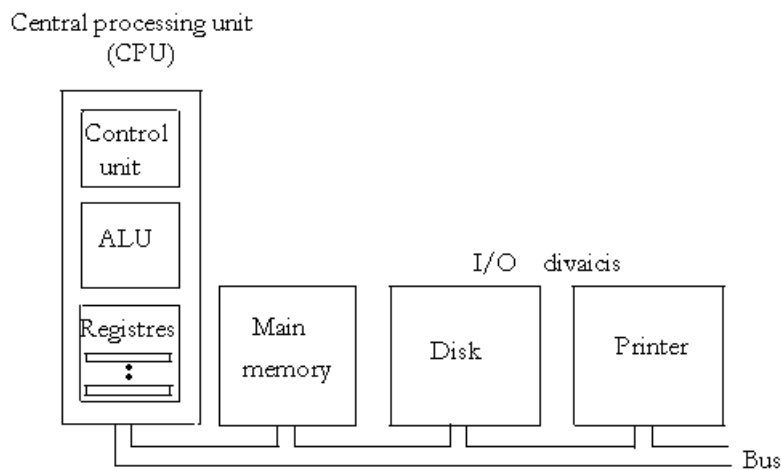
როგორც აღნიშნული იყო ციფრული კომპიუტერი შედგება ერთმანეთთან შეერთებული პროცესორების, მახსოვრობის და შემყვან/გამომყვანი მოწყობილობებისაგან. უმარტივესი სახის სალტეებზე ორიენტირებული კომპიუტერი ნაჩვენებია ფიგურა 3.1

ცენტრალური პროცესორი არის კომპიუტერის “ტვინი”. მისი ფუნქციაა მთავარ მახსოვრობაში შენახული პროგრამების შესრულება მათი ინსტრუქციების წაკითხვის, მათი გამოკვლევის (გარკვევის, დეშიფრაციის) და შემდეგ მათი ნაბიჯ-ნაბიჯ შესრულების გზით. კომპიუტერის კომპონენტები შეერთებულია ერთმანეთთან სალტეების მეშვეობით, რომლებიც წარმოადგენენ პარალელური გამტარების კოლექციებს და შეუძლიათ მონაცემების, მართვისა და სამისამართო სიგნალების ურთიერთგადაგზავნა. სალტეები ცენტრალური პროცესორის მიმართ შეიძლება იყოს როგორც გარე (მაგ. მისი შემაერთებული მთავარ მახსოვრობასთან) ასევე შიგნითა, როგორც ამას შემდეგში დავინახავთ. ცენტრალური პროცესორი შედგება რამდენიმე ნაწილისაგან. მართვის მოწყობილობა ვალდებულია ამოიღოს მთავარი მახსოვრობიდან ინსტრუქციები და გაარკვიოს მათი ტიპი.

არითმეტიკულ-ლოგიკური მოწყობილობის დანიშნულებაა ინსტრუქციების შესაბამისი არითმეტიკული და ლოგიკური (როგორცაა მაგ. ბულის ”და”) ოპერაციების შესრულება. პროცესორი შეცავს აგრეთვე მცირე რაოდენობის

დიდი სწრაფქმედების მახსოვრობას შუალედური რაზულტატებისა და ზოგიერთი საკონტროლო ინფორმაციის შესანახად. ეს მახსოვრობა აგებულია რამოდენიმე რეგისტრისაგან, რომლის თვითოეულ მათგანსაც აქვს გარკვეული ზომა და ფუნქცია. ჩვეულებრივად რეგისტრებს აქვთ ერთიდაიგივე ზომა. თვითოეულ მათგანს შეუძლია ერთი რიცხვის შენახვა. რადგანაც რეგისტრები პროცესორის შიგნითაა მათში შეიძლება დიდი სისწრაფით ჩაწერის ან ამოკითხვის ოპერაციების წარმოება.

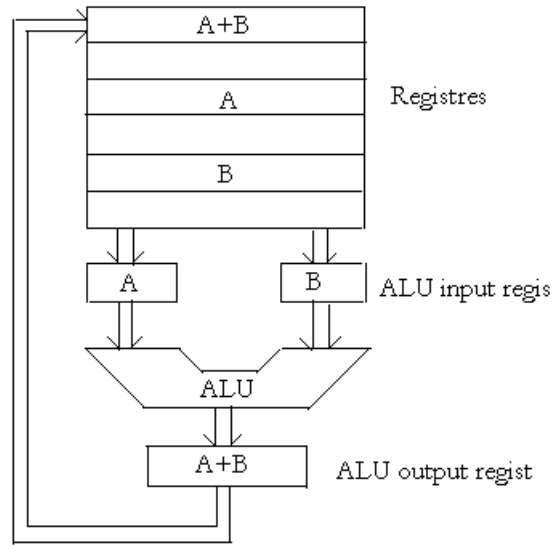
პროცესორის ყველაზე მნიშვნელოვანი რეგისტრია **პროგრამული მთვლედი (PC)** რომელიც ყოველთვის უჩვენებს იმ შემდგომ ინსტრუქციის მისამართს მთავარი მახსოვრობისა, საიდანაც მიღებულ უნდა იქნას და შესრულებული ეს ინსტრუქცია. ერთერთი მნიშვნელოვანი რეგისტრია აგრეთვე ინსტრუქციების რეგისტრი (**IR**), რომელიც ყოველთვის ინახავს იმ ინსტრუქციას რომელიც სრულდება მიმდინარედ. კომპიუტერების უმეტესობას აქვს კიდევ მრავალი რეგისტრი, ზოგიერთი მათგანი ზოგადი დანიშნულებისაა ხოლო ზოგიერთი მათგანი სპეციალური დანიშნულების.



ფიგურა 3.1 მარტივი კომპიუტერის ორგანიზაცია ერთი CPU-თი ორი შემყვან/გამომყვანი მოწყობილობით და ერთი მთავარი მახსოვრობით

პროცესორის (CPU) -ს ორგანიზაცია

ტიპიური ცენტრალური პროცესორის ორგანიზაცია მოცემულია ფიგურა 3.2-ზე



ფიგურა 3.2 ტიპური ფონ ნეიმანის მოდელის მანქანის მონაცემთა გადაადგილების ტრასა

როგორც ფიგურიდან ჩანს არსებობს რეგისტრების ნაკრები რომლებიდანაც ინფორმაცია შეიძლება მიეწოდოს არითმეტიკულ-ლოგიკური მოწყობილობის **ALU**-ს შემავალ რეგისტრებს, რომლების აღნიშნულნი არიან და ასოებით. ამ რეგისტრების დანიშნულებაა მონაცემთა დაკავება **ALU**-ს შესასვლელზე მანამ იგი ამ მონაცემებზე ოპერაციებს აწარმოებს. ახდენს შეკრების, გამოკლების და სხვ. მარტივ ოპერაციებს იმ მონაცემებზე რომლებიც მის შესასვლელზეა წარმოდგენილი ხოლო შედეგს გადასცემს გამოსასვლელ რეგისტრზე, საიდანაც აღნიშნული შედეგი შემდგომში შეიძლება გადაიწეროს და შენახულ იქნას წინათ აღნიშნულ რეგისტრებში.

კომპიუტერის მეტიწილი ინსტრუქციებისა შეიძლება დაიყოს ორ კატეგორიად: რეგისტრ-მასსოვრობად და რეგისტრ-რეგისტრად. რეგისტრ-მასსოვრობის ინსტრუქციები ახორციელებენ მასსოვრობიდან სიტყვების ამოკითხვას და მათ გადაცემას რეგისტრებში საიდანაც ისინი შემდგომში **ALU**-ში უნდა გადაიგზავნოს შემდგომი ინსტრუქციების შესრულებით. (“სიტყვა” არის მონაცემთა ერთეული რომელიც მასსოვრობასა და რეგისტრს შორის გადაიცემა). სხვა სახის რეგისტრ-რეგისტრის ინსტრუქციები საშუალებას გვაძლევენ უკან გადავწეროთ სიტყვები რეგისტრიდან მასსოვრობაში.

რაც შეეხება რეგისტრ-რეგისტრების ინსტრუქციებს ისინი წაიკითხავენ ორ ოპერანდს შესაბამისად ორი რეგისტრიდან, გადასცემენ მათ -ს შემავალ რეგისტრებს. ასრულებს გარკვეულ მოქმედებებს მათზე და შემდეგ შეინახავს მიღებულ შედეგს ერთერთ რომელიმე რეგისტრში. ამგვარად ოპერანდების (მონაცემები რომლებზედაც ოპერაციები იწარმოება) გადაგზავნას -ში და შედეგების შენახვის პროსესს მონაცემთა მოძრაობის მარშრუტის ციკლი ეწოდება. უეტესწილად იგი განსაზღვრავს თუ რისი შესაძლებლობა აქვს პროსეცორს. თუ ეს ციკლი სწრაფია მაშინ მანქანაც სწრაფად მუშაობს.

CPU ასრულებს თვითოეულ ფუნქციას ნაბიჯ-ნაბიჯ როგორც მოკლე ინსტრუქციების თანმიმდევრობას. ეს ნაბიჯები მიახლოებით ასე შეიძლება წარმოვიდგინოთ:

1. მასსოვრობიდან მორიგი ინსტრუქციის ამოღება და ინსტრუქციების რეგისტრში გადაგზავნა;
2. პროგრამული მთვლელის მნიშვნელობის შეცვლა ინსტრუქციის მაჩვენებლის შესაბამისად;
3. ახლად ამოღებული ინსტრუქციის ტიპის განსაზღვრა;
4. თუ ინსტრუქციას ჭირდება სიტყვები მასსოვრობიდან მაშინ მისი ადგილმდგომარეობის გარკვევა;
5. სიტყვის გადაგზავნა (თუ ეს საჭიროა) CPU- რეგისტრში;
6. ინსტრუქციის შესრულება;
7. ერთი ნაბიჯით წინ წაწევა შემდგომი ინსტრუქციის შესასრულებლად.

ნაბიჯთა ამ თანმიმდევრობას ხშირად ამოღება-დეკოდირება-შესრულების ციკლსაც უძახიან.

მიკროპროცესორები, მოკლე ისტორიული მიმოხილვა

ყველაფერი დაიწყო 1969 წლიდან როდესაც იაპონურმა ფირმამ **ბუზიკომმა** რომელიც ელექტრომექანიკურ კალკულატორებს აწარმოებდა შეუკვეთა ფირმა **ინტელს** რომ მისი შემდგომი თაობის ელექტრონული კალკულატორისათვის დაემზადებინა ელექტრონული მიკროსქემები (ჩიპები) რომელთა რაოდენობაც აღწევდა 12-ს. ინტელის ერთერთმა ინჟინერმა, კერძოდ ტედ ჰოფფმა რომელიც მონაწილეობას იღებდა ამ პროექტის შესრულებაში გააანალიზა რა სამუშაო პროექტი, მოიფიქრა რომ მას შეეძლო გაეკეთებინა 4-თანრიგიანი CPU მხოლოდ ერთ ჩიპზე, რომელიც იგივე ფუნქციებს შეასრულებდა რასაც აღნიშნული 12 მიკროსქემა და

იქნებოდა გაცილებით იაფი, მარტივი და რაც მთავარია გამოსადეგი ფართო გამოყენებისათვის. ამრიგად 1970 წელს შეიქმნა მსოფლიოში პირველი ერთკორისტალიანი (ერთ კორპუსიანი მიკროსქემა) 4004 სახელწოდებით და რომელის შეიქმნა 2300 ტრანზისტორს.

ინტელმა შეისყიდა ბუზიკომისაგან ყველა უფლებები და 1972 წელს გამოუშვა უკვე ახალი 8-თანრიგიანი ვერსია აღნიშნული მიკროპროცესორისა 8008. მოთხოვნილება ამ მიკროსქემაზე იმდენად დიდი იყო, რომ ჩქარა, კერძოდ 1974 წელს ინტელმა კიდევ ახალი გაუმჯობესებული ვერსია 8080 გამოუშვა. წარმატება ამჟამადაც დიდი იყო და ეს ვერსია აღნიშნული მიკროსქემებისა მალე გახდა მასიური საბაზრო მოთხოვნილების საგანი, მან გამოაცოცხლა მთელი ინდუსტრია და ნაცვლათ ათასებისა მზადდებოდა და იყიდებოდა მილიონები.

1978 წელს გამოვიდა 8086 რომელიც იყო სრულიად 16 თანრიგიანი ჩიპი ერთ კორპუსში. იგი მართალია თავისი არქიტექტურით ჰგავდა 8080 მაგრამ არ იყო სრულყოფილად შეთავსებადი მასთან. ამ მიკროპროცესორს მოჰყვა 8088 რომელსაც ჰქონდა იგივე არქიტექტურა რაც მას და შესაძლებლობა ჰქონდა გაეშვა იგივე პროგრამები მაგრამ ჰქონდა 8 თანრიგიანი სალტე 16-იანის ნაცვლად რაც ხდიდა მას უფრო იაფს მაგრამ ნაკლებ სწრაფქმედს. ამ მიკროსქემას ბრწყინვალე ბედი აღმოაშნდა რადგანაც იგი ფირმა IBM-მმა აირჩია თავისი ორიგინალური პერსონალური კომპიუტერის IBM PC – ბაზურ CPU-დ. ეს მიკროსქემა გახდა პერსონალური კომპიუტერების ინდუსტრიის სტანდარტად.

სამწუხაროდ არც 8088-ს, არც 8086-ს არ შეეძლოთ 1 მეგაბაიტზე მეტი მახსოვრობის ადრესაცია, რომელიც უკვე 80 წლების დასაწყისიდან გახდა სერიოზული პრობლემა. ამიტომ ინტელმა დააპროექტა 80286, რომელიც იყო 8086 მიმართ შეთავსებადი ქვემოდან ზემოთ. ინსტრუქციათა ბაზისური ანაწყოები იგივე იყო როგორც 8086-ის, მაგრამ მახსოვრობის ორგანიზაცია იყო საკმაოდ განსხვავებული თუმცა ამასთანავე მოუხერხებელი რადგანაც უნდა დაკმაყოფილიყო ძველ მიკროსქემებთან შეთავსებადობის პირობა.

80286 მიკროპროცესორი ფირმა IBM-მმა გამოიყენა თავისი პერსონალური კომპიუტერების შემდგომ მოდელებში PC/AT და PS/2-ში. ამ მოდელებსაც უზარმაზარი წარმატებები ჰქონდა რადგანაც ადამიანები ჰხედავდნენ მასში უფრო სწრაფმოქმედ 8088-ს.

შემდეგი ლოგიკური ნაბიჯი იყო 1985 წელს გამოშვებული ნამდვილად 32 –ბიტისანი მიკროსქემა ერთ კრისტალზე 80386. როგორც მისი წინამორბედი ისიც მეტ-ნაკლებად შეთავსებადი იყო 8080-ის შემდგომებთან.

ზემოდან ქვემოთ შეთავსებადობის პრინციპი მისასაღებელი იყო ხალხისთვის ვისთვისაც ძველი პროგრამული პროდუქტების გაშვება მათზე მნიშვნელოვანი იყო, მაგრამ სრულიად მიყლებელი იყო მათთვის ვისაც სჭირდებოდათ მარტივი, სუფთა და თანამედროვე არქიტექტურა, რომელიც დამძიმებული არ იქნებოდა წარსულის ტექნოლოგიებითა და შეცდომებით.

ამიტომ ოთხი წლის შემდეგ გამოვიდა 80486, რომელიც არსით იგივე იყო რაც უფრო სწრაფი 80386, მაგრამ მას ჰქონდა მოწყობილობა მცოცავ მძიმეზე ოპერაციების შესასრულებლად და აგრეთვე 8K ქეშ მახსოვრობა ჩიპში.

ქეშ-მახსოვრობა გამოიყენება მთავარი მახსოვრობიდან ამოღებული იმ სიტყვების (ინფორმაციის) შესანახად რომლებიც უფრო ხშირად გამოიყენება ცენტრალური პროცესორის მიერ და განლაგებულია მის შიგნით ანდა უშუალოდ მის სიახლოვეს რათა თავიდან იქნას აცილებული უფრო ნელმოქმედ მთავარ მახსოვრობასთან ხშირი კავშირურობა. ამასთანავე მასში იყო განხორციელებული ინფორმაციის გადამუშავების ასალი კონცეპცია, ეგრეთ წოდებული კონვეიერული მეთოდი რაც მნიშვნელოვნად ზრდიდა პროცესორის მწარმოებლობას.

ამის შემდეგ გამოჩნდა პენტიუმის ოჯახის პირველი მიკროპროცესორი **პენტიუმ-ი** რომელსაც ჰქონდა ორი მოწყობილობა კონვეიერული პრინციპით ინფორმაციის გადამუშავებისთვის რაც მას ორჯერ უფრო სწრაფქმედსა ხდიდა.

მას მოჰყვა პენტიუმ პრო რომელიც მიუხედავად მცირე განსხვავებისა სახელში, მნიშვნელოვნად წინგადადგმული ნაბიჯი იყო არქიტექტურის თვალსაზრისით მის წინამორბედთან შედარებით. მაგ. ის განიხილავდა განსხვავებული შინაგანი ორგანიზაციით და ნაცვლად ინფორმაციის გადამუშავების კონვეიერული პრინციპისა ჰქონდა ერთდროულად ხუთამდე ინსტრუქციის შესრულების უნარი. კიდევ ერთი სიახლე რაც პენტიუმ პრო-ჰქონდა იყო ის, რომ მას ჰქონდა ორ დონიანი ქეშ მახსოვრობა. პროცესორულ ჩიპს თავის მხრივ ჰქონდა 8 კილობაიტი მახსოვრობა ხშირად გამოყენებადი ინსტრუქციების შენახვისათვის და 8 კილობაიტი მახსოვრობა ხშირად გამოყენებადი მონაცემების შენახვისათვის. ეს იყო პირველი დონის კეშ მახსოვრობა, ხოლო მეორე დონის კეშ მახსოვრობა 256 კილობაიტის

მოცულობით მოთავსებული იყო ცენტრალური პროცესორის გარეთ მაგრამ მის უშუალო სიახლოვეს.

შემდეგი ახალი ინტელ პროცესორი იყო პენტიუმ 2 იგივე პენტიუმ პრო მაგრამ მას დამატებული ჰქონდა სპეციალური მულტიმედიაური განვითარება – გაგრძელება, ეგრეთწოდებული MMX. აქ დამატებულნი იყვნენ სპეციალური ინსტრუქციები აუდიო და ვიდეო პროცესებისათვის საჭირო გამოთვლების დასახქარებლად და ამან შესაძლებლობა გახადა აგრეთვე სპეციალური მულტიმედია თანაპროცესორებზე უარის თქმისა.

ამის შემდეგ 1998 წელს ინტელმა წარმოადგინა ახალი მწკრივი პროდუქციისა ეგრეთ წოდებული Celeron რომლებიც იყვნენ ფაქტიურად დაბალმწარმოებლური და დაბალფასიანი პენტიუმ 2 პროცესორები დაბალფასიან პერსონალურ კომპიუტერებში გამოსაყენებლად. იმავე წელს ფირმამ გამოუშვა უფრო მაღალი კლასის პენტიუმ 2 პროცესორები ეგრეთწოდებული Xeon, რომელთაც ქონდათ უფრო დიდი კეში, სწრაფი სალტე და უკეთესი მულტიპროცესორული მხარდაჭერა.

ყველა სახის ინტელის ჩიპი არის შეთავსებადი ზემოდან ქვემოთ 8086-ამდე, სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ პენტიუმ 2 – მა შეიძლება გაუშვას 8086-ის პროგრამები მოდიფიკაციის გარეშე. მაგრამ რათქმა უნდა პენტიუმ 2 არის 250-ჯერ უფრო რთული ვიდრე 8086 და ამგვარად მას გაცილებით უფრო ბევრი შესაძლებლობა აქვს ვიდრე 8086-ს.

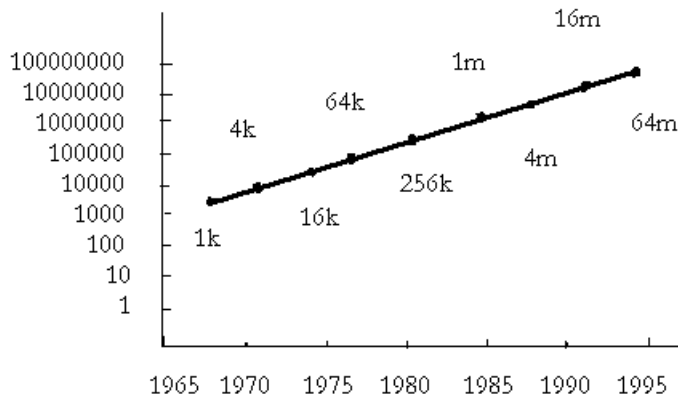
Chip	Data	MHz	Tranzistors	Memory	Notes
4004	აპრ-71	0.108	2,300	640	პირველი მიკროპროცესორი ერთ ჩიპზე
8008	აპრ-72	0.108	3,500	16	პირველი 8-ბიტის მიკროპროცესორი
8080	აპრ-74	2	6,000	64	პირველი ფართოდანიშნულების ჩიპი
8086	ივნ-78	5 8	29,000	1	პირველი 16-ბიტისანი CPU ერთ ჩიპზე
8088	ივნ-79	5 8	29,000	1	გამოიყენებოდა IBM PC-ში
80286	თებ-82	8 12	134,000	16	მასსოვრობის დაცვა

80386	ოქტ-85	16	33	275,000	4	პირველი 32-ბიტისანი CPU
80486	აპრ-89	25	100	1,2	4	ჩაშენებული 8 კილობაიტისანი კეში
ენტიუმ	მარ-93	60	233	3,1	4	ორი კონვეიერი
ენტიუმ	მარ-95	150	200	5,5	4	ჩაშენებული ორდონისანი კეში
ენტიუმ	მაი-97	233	400	7,5	4	Pentium Pro +MMX
2						
ფიგურა	3.3	ინტელის	ფირმის	ცენტრალური	პროცესორების	(მიკროპროცესორების) ოჯახი

ლექცია 24. მურის კანონი

კომპიუტერების ინდუსტრია ვითარდება ისეთი სისწრაფით როგორც არცერთი სხვა. ძირითადი განმსაზღვრელი ძალა ამ განვითარებისა არის მიკროსქემების დამამზადებელი ფირმების შესაძლებლობები ყოველწლიურად სულ უფრო და უფრო მეტი რაოდენობის ტრანზისტორები ჩატიონ ერთეულოვან ჩეპებში. რაც მეტია ტრანზისტორები რომლებიც არიან პაწაწინა ელექტრონული გადამრთველები მით დიდია მახსოვრობა და მძლავრია პროცესორები.

ტექნოლოგიური პროგრესის ტემპი შეიძლება მოდელირებულ იქნას სამეცნიერო შედეგებით, რომელიც ცნობილია **მურის კანონით**. გორდონ მურმა ინტელის თანადამფუძნებელმა და პრეზიდენტმა ეს კანონი მეცნიერული დაკვირვებების შედეგად აღმოაჩინა 1965 წელს.



ფიგ. 3.4 მურის კანონი უჩვენებს ერთ კორპუსში ტრანზისტორების 60 %-იან წლიურ ზრდას.

მახსოვრობის ჩიპების შესწავლისას მან დაადგინა, რომ ყოველ სამ წელიწადში ერთხელ გამოჩნდებოდა ხოლმე ახალი გენერაციის მახსოვრობის მიკროსქემები რომლებსაც ოთხჯერ უფრო დიდი მახსოვრობა ჰქონდა ვიდრე მის წინამორბედს. მან ნათლად დაინახა რომ ტრანზისტორების რაოდენობა ჩიპებზე იზრდებოდა მუდმივი და თანაბარი ტემპებით და იწინასწარმეტყველა ასეთი ტემპით ზრდა ათწლეულების განმავლობაში. დღეისთვის მურის კანონის საფუძველზე მიღებულია რომ ტრანზისტორების რაოდენობა ჩიპზე ორმაგდება ყოველ 18 თვეში ერთჯელ, რითაც გამოდის, რომ ყოველ წელიწადს მათი რაოდენობა 60 პროცენტით იმატებს. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ თუმცა მურის კანონი ეხება მახსოვრობის ჩიპებს, იგი შეესატყვისება აგრეთვე CPU ჩიპებსაც.

ციფრული წარწერები გრაფიკზე უჩვენებს მახსოვრობის ზომას ბიტებში

1კ – ტოლია 1024 ბიტის

1მ – ტოლია 1024 კ ბიტის

თანამედროვე კომპიუტერების დიზაინის ძირითადი პრინციპები

RISC არქიტექტურა CISC-ის ნაცვლად

1980 –იან წლებამდე კომპიუტერების მწარმოებლები ცდილობდნენ დაემუშაებინათ მანქანები სულ უფრო რთული და მრავალრიცხოვანი

ინსტრუქციათა ანაწყოებით, აქედან წარმოიშვა აბრევიატურა ჩИМ (ჩომპლეს ინსტრუქციონ შეტ ჩომპუტერ), (კომპიუტერის ინსტრუქციათა რთული ანაწყოები). იყვნენ მანქანები სადაც მათი რაოდენობა აღწევდა 200 და 300-ც კი. ინსტრუქციათა რაოდენობის ასეთი ზრდა ძირითადად განპირობებული იყო პროგრამირების მაღალი დონის ენათა მოთხოვნილებებით. მაგრამ აღნიშნული წლებიდან დაიწყო გამოსვლა მაშინდელი კომერციული პროცესორებიდან მნიშვნელოვნად განსხვავებულმა პროცესორებმა სადაც დარღვეული იყო ზემოდან ქვემოთ შეთავსებადობის პრინციპი, მათი დამპროექტებლები თავისუფლები იყვნენ აერჩიათ ახალი ნებისმიერი ანაწყოები ინსტრუქციებისა რათა მაქსიმალური გაეხადათ ტოტალური სისტემური მწარმოებლობა. მათაც წირითადი აქცენტი გადაიტანეს მარტივ ინსტრუქციებზე რომლებიც შესაძლებელი იყო სწრაფად შესრულებულიყვნენ.

ჩქარა გაირკვა რომ პროექტირებისას თუ გამოიყენებდნენ ისეთ ინსტრუქციებს რომლებიც სწრაფად აიღებდნენ სტარტს და სწრაფად შესრულდებოდნენ, ეს იქნებოდა გასაღები კარგი მწარმოებლობისათვის. ამგვარად დაიწყო წარმოება ახალი ტიპის პროცესორებისა რომელთა ინსტრუქციებიც გამოირჩეოდნენ სიმარტივით და სიმცირით. მაგ. პირველი ტიპის პროცესორებს ჰქონდათ არაუმეტეს 50 ინსტრუქციისა. ამიტომაც მათ ეწოდათ RISC (Reduced Instruction Set Computer), (კომპიუტერის ინსტრუქციათა შეკვეცილი ანაწყოები). ამგვარად გამოცხადდა რომ კომპიუტერების დაპროექტების უფრო უკეთესი გზა იყო მცირე რაოდენობის მარტივი ინსტრუქციების ქონა რომელთა შესრულებაც ერთი ციკლის განმავლობაში იქნებოდა შესაძლებელი, ვიდრე მაგ. ორი რეგისტრიდან ინფორმაციის წაკითხვა და შედეგის შენახვა ისევ რეგისტრში, რაც ხორციელდება ერთი ინსტრუქციით. როგორც ვხედავთ ერთიდაიგივე რეზულტატის მისაღებად RISC პროცესორებს რამდენჯერმე მეტი ინსტრუქციის შესრულება უხდება ვიდრე CISC პროცესორებს. იმ შემთხვევაშიც კი როდესაც პირველ მათგანს სჭირდება ოთხი ან ხუთი ინსტრუქციის შესრულება იმავე ოპერაციისათვის რასაც მეორე პროცესორი ერთი ინსტრუქციით აკეთებს მაინც RISC პროცესორები იმარჯვებენ რადგანაც მათი ინსტრუქციები შედარებით მარტივია და ათჯერ უფრო მცირე დრო სჭირდებათ შესასრულებლად.

შეიძლება ვიფიქროთ რომ რადგანაც RISC ტექნოლოგიებზე დამყარებული მანქანები (როგორცაა მაგ. DEC ალფა) რომელთაც

უპირატესობა აქვთ მწარმოებლობით CISC ტექნოლოგიებზე დამყარებულ მანქანებთან (როგორცაა მაგ. ინტელ პენტიუმი) გამოაძეგებდნენ მათ კომერციული ბაზრიდან. მაგრამ არავითარი ამგვარი არ მოხდა, იმიტომ რომ ჯერ ერთი არსებობს ქვემოთ შეთავსებადობის პრინციპი და რაც არ უნდა იყოს კომპანიებს მილიარდებით დოლარი აქვთ ჩადებული ინტელის მანქანების პროგრამულ უზრუნველყოფაში. მეორეც, რაც უნდა განსაცვიფრებელი არ იყოს ინტელმა შეძლო იგივე იდეების განხორციელება CISC არქიტექტურაში.

486-იდან დაწყებული ინტელ პროსესორები შეიცავეს RISC ბირთვის რომელიც ასრულებენს უმარტივეს და ხშირად გამოყენებად ინსტრუქციებს ერთი ციკლის განმავლობაში მაშინ როდესაც სრულდება უფრო რთული CISC ტიპის ინსტრუქცია. თუმცა ასეთი ჰიბრიდი არ არის ისეთი სწრაფი როგორც სუფთა RISC დიზაინი, მიუხედავად ამისა ის იძლევა საკმაოდ მწარმოებლობას და ამასთანავე იმის შესაძლებლობას რომ გამოყენებულ იქნას ძველი პროგრამული უზრუნველყოფა მოდიფიკაციების გარეშე.

კომპიუტერების მწარმოებლობის გაზრდის ძირითადი პრინციპები

მაშასადამე პროექტირების დროს დიზაინური პრინციპი საშუალებას აძლევს პროცესორებს შეასრულოს მათზე დაკისრებული სამუშაოები უკეთესად. მართალია ქვემოთ შეთავსებადობის მოთხოვნები დროდადრო აიძულებენ დამპროექტებლებს ეძებონ კომპრომისები მაგრამ ახალი პრინციპების გამოყენება არის ის მიზანი რომლისკენაც ყოველთვის მიისწრაფვიან დამპროექტებლები. ასეთებია:

- ყველა ინსტრუქციის უშუალოდ შესრულების პრინციპი აპარატურის მიერ.

როგორც ცნობილია ზოგიერთ რთულ ინსტრუქციებს პროცესორები პირდაპირ კი არ ასრულებენ არამედ სხვა არსებული უფრო მარტივი ინსტრუქციების (მიკროინსტრუქციების) თანმიმდევრული შესრულებით. ეს რატიკა უნდა იწვევს ზედმეტ დროით დანახარჯებს. თუ პროცესორების აპარატიული ნაწილები შეძლებენ ყველა ინსტრუქციის პირდაპირ შესრულებას ეს გამოიწვევს ინტერპრეტაციის ეტაპის უგულვებელყოფას და საბოლოო ჯამში ინსტრუქციათა შესრულების სიჩქარის გაზრდას;

- ინსტრუქციათა შესრულების ტემპის მაქსიმიზაცია.

კომპიუტერების მწარმოებლები ყველა დონეს მიმართავენ რათა მაქსიმალურად გაზარდონ მათი მწარმოებლობა. პირველ რიგში მიმართავენ

წამში რაც შეიძლება მეტი ინსტრუქციის შესრულების გაზრდის გზას. პირველ რიგში თუ შევძლებთ შევასრულოთ 500 მილიონი ოპერაცია წამში ეს იმის თანაბარია რომ ავაგოთ 500- I შ პროცესორი, იმისდა მიუხედავად თუ ის ინსტრუქციები თვითონ რა ხნის განმავლობაში სრულდებიან. (MIPS-ნიშნავს მილიონ ოპერაციას წამის განმავლობაში).

ეს პრინციპი მიუთითებს რომ პარალელიზმმა შეიძლება ითამაშოს მნიშვნელოვანი როლი კომპიუტერების მწარმოებლობის გაუმჯობესებაში რადგანაც დიდი რაოდენობის ნელმოქმედი ინსტრუქციების მოკლე დროში შესრულება შესაძლებელია მხოლოდ მრავალი მათგანის ერთდროული შესრულებით დროში;

- ინსტრუქციების ადვილად დეკოდირების შესაძლებლობადა.

ერთერთი კრიტიკული შეზღუდვა ინსტრუქციების გაშვებისას არის მათი დეკოდირების ტემპი ანუ იმის გარკვევა თუ რა სახის რესურსები სჭირდებათ მათ. ყველაფერი რაც დაეხმარება ამ პროცესის შესრულებაში რათქმა უნდა სასარგებლოა. ესენია მაგ. ინსტრუქციების რეგულარული შესრულება, მათი ფიქსირებული სიგრძეები მინდორთა მცირე რაოდენობებით, რაც შეიძლება ნაკლები რაოდენობის განსხვავებული ფორმატს ინსტრუქციებით;

- დამხმარე რეგისტრების სიჭარბე.

რადგანაც თანამედროვე მახსოვრობის მოწყობილობები ჯერ კიდევ მნიშვნელოვნად ნელმოქმედია ვიდრე პროსესორული მოწყობილობები ამოტომ მიზანშეწონილია რომ პროსესორში იყოს რაც შეიძლება ბევრი რეგისტრები და ოპერაციები წარმოებდნენ ამ რეგისტრების შემცველობებზე. ხოლო მახსოვრობიდან ინფორმაციის გადაწერა რეგისტრებში და პირუკუ შესაძლებელია მოხდეს სხვა ინსტრუქციების შესრულების თანხვედრათ. ბევრი რეგისტრების არსებობა (არანაკლებ 32) მიზანშეწონილია იმისათვის რომ თუ კი სიტყვები უკვე ამოღებულია მახსოვრობიდან და გადაგზავნილნი არიან რეგისტრებში ისინი იყვნენ იქ რაც შეიძლება დიდხანს ვიდრე ისინი უკვე გახდებიან არასაჭირონი, რათა თავიდან იქნას აცილებული მათი ხელმეორედ ამოკითხვის საჭიროება.

პარალელიზმი ინსტრუქციათა დონეზე

კომპიუტერების მწარმოებლები მუდმივად ისწრაფვიან გააუმჯობესონ მათ მიერ დამუშავებული მანქანების მწარმოებლობა. ერთერთი გზაა ჩიპების მუშაობის სიხშირის გაზრდა, მაგრამ ყოველი ახალი დაზაინისათვის გარკვეული ისტორიული მომენტისათვის ეს მაჩვენებელი ყოველთვის

შეზღუდულია იმდროინდელი ტექნოლოგიური შესაძლებლობებით. აქედან გამომდინარე კომპიუტერთა არქიტექტორები მიმართავენ პარალელიზმს (ე.ი. ერთდროულად ორი ან მეტი საქმის კეთება) როგორც სხვა გზას რომ მიიღონ მწარმოებლობის თანაბარზომიერი გაზრდა მოცემული საწყისი ტაქტური სიხშირისათვის.

თავის მხრივ არსებობს ორი ძირითადი ფორმა პარალელიზმისა: პარალელიზმი ინსტრუქციათა დონეზე და პარალელიზმი პროცესორთა დონეზე. ადრე პარალელიზმი განიხილებოდა ინსტრუქციათა შიგნით რათა მიღებულ ყოფილიყო მანქანათა გამოსასვლელზე უფრო მეტი ინსტრუქცია/წამში, მოგვიანებით კი ეს პარალელიზმი განიხილებოდა როგორც მრავალი ცენტრალური პროცესორის ერთდროული მუშაობა ერთიდაიგივე პრობლემის გადასაწყვეტად. თვითოეულ ამ მიდგომას აქვს თავისი საზომი. განვიხილოთ თვითოეული ცალცალკე.

კონვეიერული პროცესორები

ეს მეთოდი ცნობილი იყო ჯერ კიდევ ადრე რადგანაც ინსტრუქციების არჩევის პროცესი მახსოვრობიდან იყო ყველაზე ვიზრო ადგილი ინსტრუქციათა შესრულების სიჩქარეში. ამ პრობლემის შემსუბუქებისათვის ზოგიერთ კომპიუტერს ჰქონდა შესაძლებლობა წინასწარ (წინმსწრებად) ინსტრუქციების მახსოვრობიდან ამორჩევა-ამოღებისა რადგანაც ისინი უნდა ყოფილიყვნენ იქ და იმ დროს როდესაც ისინი საჭირონი იქნებოდნენ.. ეს ინსტრუქციები ამორჩევის შემდეგ შეინახებოდნენ რეგისტრების კომპლექტში რომელთაც წინასწარამორჩევის ბუფერი ეწოდებოდათ. ეს ხდებოდა იმითომ რომ როცა ის ინსტრუქციები საჭირონი გახდებოდნენ მათი ამოკითხვა მომხდარიყო არა ნელმოქმედი მახსოვრობიდან არამედ სწრაფმოქმედი ბუფერიდან. როგორც ჩანს წინასწარამრჩევა იყოფა ორ ნაწილად: ამორჩევა და აქტიური შესრულება.

კონვეიერული კონცეფცია უფრო მეტად ავითარებს ამ სტრატეგიას. ინსტრუქციების შესრულების პროცესის მხოლოდ ორ ნაწილად დაყოფის ნაცვლად ისინი უფრო მეტ ნაწილებად იყოფიან რომელთა თვითოეულ ნაწილსაც შესაბამისად ასრულებს აპარატურის გარკვეული ნაწილი, ხოლო ინსტრუქციათა ყოველივე ამ ნაწილის შესრულება ხდება პარალელურად.

ფიგ. 4.3.1 ა უჩვენებს ხუთი მოწყობილობისაგან შედგენილ კონვეიერს, რომლებსაც აგრეთვე კასკადებსაც უწოდებენ. პირველი კასკადი

ახორციელებს მასსოვრობიდან ინსტრუქციის ამორჩევას და მის ბუფერში მოთავსებას ვიდრე იგი საჭირო არ გახდება. მე-2 კასკადი ასრულებს ინსტრუქციის დეკოდირებას, მისი ტიპის განსაზღვრას და იმ ოპერანდების გარკვევას რომლებზედაც საჭიროა ოპერაციების შესრულება. მე-3 კასკადი არკვევს ოპერანდების ადგილმდებარეობას და ამოიღებს მათ ამ მასსოვრობიდან ან რეგისტრიდან. მე-4 კასკადი ასრულებს იმ ოპერაციას ოპერანდებზე რომელიც მითითებული იყო ინსტრუქციაში და ფინალური მე-5 კასკადი გადაწერს მოქმედების რეზულტატს უკან საჭირო რეგისტრში.

ფიგ. 4.3.1 ბ უჩვენებს თუ როგორ მოქმედებს კონვეიერი როგორც დროის ფუნქცია.

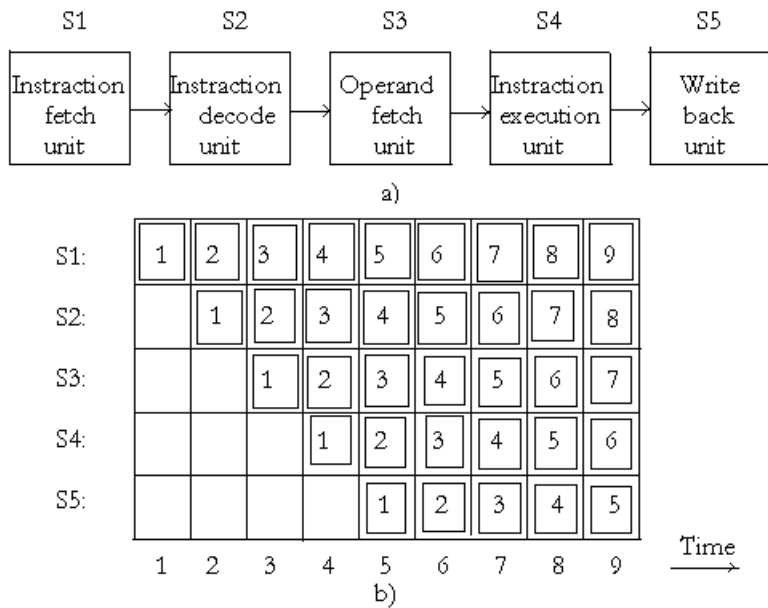
მანქანის პირველი ციკლის განმავლობაში პირველი კასკადი მუშაობს პირველი ინსტრუქციის მასსოვრობიდან ამოღებაზე.

მე-2 ციკლის დროს მე-2 კასკადი ახდენს პირველი ინსტრუქციის დეკოდირებას, მაშინ როდესაც პირველი კასკადი ახდენს უკვე მეორე ინსტრუქციის ამორჩევას.

მე-3 ციკლის დროს მე-3 კასკადი ახდენს ოპერანდების ამორჩევას პირველი ინსტრუქციისათვის, მე-2 კასკადი ახდენს მეორე ინსტრუქციის დეკოდირებას ხოლო პირველი კასკადი ირჩევს მესამე ინსტრუქციას.

მე-4 ციკლის დროს მე-4 კასკადი ასრულებს პირველ ინსტრუქციას, მე-3 კასკადი ირჩევს ოპერანდებს მე-2 ინსტრუქციისათვის, მე-2 კასკადი ახდენს მე-3 ინსტრუქციის დეკოდირებას ხოლო პირველი კასკადი ირჩევს მე-4 ინსტრუქციას.

ფინალში მე-5 ციკლის დროს მე-5 კასკადი გადაწერს პირველი ინსტრუქციის შესაბამის რეზულტატს უკან, მაშინ როცა სხვა კასკადები მონსახურებას უწევენ შემდგომ ინსტრუქციებს.



ფიგ 4.3.1 (ა) ხუთკასკადიანი კონვეიერი, (ბ) კასკადების მდგომარეობები დროის ფუნქციის მიხედვით. (ნაჩვენებია მხოლოდ 9 ციკლი)

თუ დაუშვებთ რომ მანქანური ციკლი 2 ნანოწამია (ნწმ) მაშინ მივიღებთ რომ ერთი ინსტრუქციის შესრულებას ხუთკასკადიან კონვეიერზე 10 ნანოწამი დასჭირდება. ამიტომ ერთი შეხედვით შეიძლება მოგვეჩვენოს რომ მანქანა მუშაობს 100 MIPS სიჩქარით, მაგრამ თუ ყურადღებით დაუკვირდებით დავინახავთ რომ ყოველ მანქანურ ციკლში (2 ნანოწამი) ერთი მთლიანი ინსტრუქცია სრულდება, გამოდის რომ მისი მწარმოებლობა 500 MIPS -ია და არა 100 M MIPS-ი.

კონვეიერული პრინციპი ადგილებს უცვლის მანქანის გამტარუნარიანობასა (რამდენი MIPS-ი აქვს პროცესორს) და მის დაფარულ მდგომარეობებს (თუ რა დრო სჭირდება მას ერთი ინსტრუქციის შესასრულებლად) ერთმანეთში. თუ მაგალითად მანქანური ციკლი ტოლია T ნწმ და კასკადთა რაოდენობა ტოლია n-ის, მაშინ დაფარული მდგომარეობა ტოლია nT ნწმ-ის ხოლო გამტარუნარიანობა ტოლია 1000/T MIPS-ი.

სუპერსკალიარული არქიტექტურა

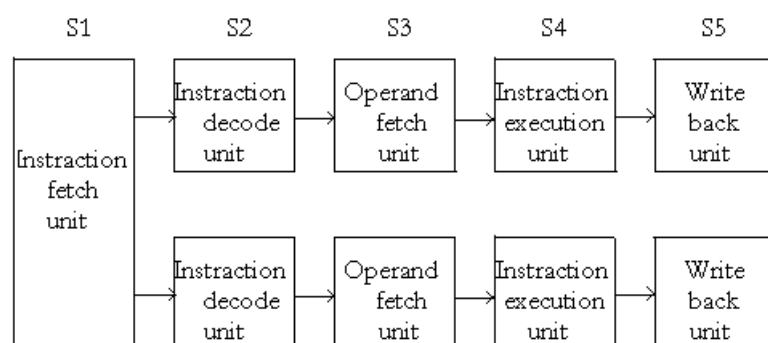
თუ ერთი კონვეიერი კარგია რატქმაუნდა ორი უკეთესი იქნება. ერთერთი შესაძლებელი სქემა ორ კონვეიერული CPU-ს განხორციელებისა ნაჩვენებია ფიგურა 4.3.2-ზე.

აქ ერთადერთი ამორჩევის მოწყობილობა ახდენს ინსტრუქციათა წყვილების ერთდროულ ამორჩევას და თვითოეულ მათგანს აგზავნის თავის საკუთარ კონვეიერში ანუ თავიანთ საკუთარ მთლიან -ში პარალელური

ოპერაციებისთვის წარმოებისათვის. პარალელური მუშაობის შესაძლებლობისათვის აუცილებელია რომ ეს ორ-ორი ინსტრუქციები არ უნდა იყვნენ ერთმანეთთან კონფლიქტურ მდგომარეობაში ანუ არ უნდა იყვნებდნენ ერთიდაიგივე რესურსებს (მაგ. რეგისტრებს), და არცერთი მათგანი არ უნდა იყვნენ დამოკიდებულნი მეორის მუშაობის რეზულტატზე. ამ შემთხვევაში მნიშვნელოვანია გვეჩვენოს დამატებითე აპარატურა (ჰარდწარე) კომფლიქტების აღმოჩენისა და უკუგდებისათვის, ანდა კომპილატორი უნდა გენერირებდეს შესაბამის სიტუაციებს რათა ეს კომფლიქტები არ მოხდნენ.

აქ შემოვიდა ტერმინი **კომპილატორი** რომელის აღნიშნავს შემდეგს. თუ რაიმე პროგრამა იწერება რომელიმე მაღალი დონის ენაზე იგი პრინციპში არ არის ორიენტირებული რომელიმე კონკრეტულ მანქანაზე რაიმე კონკრეტული ინსტრუქციათა ანაწყოებით, არამედ იგი იწერება რათა გაშვებულ იქნან მრავალი სხვადასხვა არქიტექტურის მქონე მანქანებზე. რათა ეს მოხდეს საჭირო იქნება ამ საწყისი პროგრამების გადაყვანა (გადათარგმნა) კონკრეტული მანქანის ენაზე. სწორედ ამ პროცესს **კომპილაცია** ეწოდება. ხოლო იმ დამხმარე მთარგმნელ პროგრამას რომელიც ახორციელებს კომპილაციას **კომპილატორი** ეწოდება. აქ ხაზია გასასმელი რომ კომპილატორის მუშაობის შედეგი პროგრამაა, ახალი პროგრამა რომელიც ორიენტირებულია კონკრეტულ მანქანურ ენაზე და ექვივალენტურია საწყისი პროგრამისა დაწერილს მაღალი დონის ენაზე. ე.ი იგი გენერირებს ახალ პროგრამას.

არსებობენ სხვა სახის მთარგმნელი პროგრამები **ინტერპრეტატორები** რომლებიც გაიშვებიან რა რომელიმე კონკრეტულ მანქანაზე ნაბიჯ-ნაბიჯ



ფიგ. 4.3.1 ორმაგი ხუთკასკადიანი კონვეიერი ინსტრუქციების ამორჩევის საერთო მოწყობილობით.

კითხულობენ ამ მაღალი დონის ენებზე დაწერილ საწყის პროგრამებს და ასე სტრიქონ-სტრიქონ, მიმდევრობით ასრულებენ ინსტრუქციებს ინსტრუქციებზე. ამ პროცესს **ინტერპრეტაცია** ეწოდება და იგი არ მოითხოვს ახალი პროგრამის გენერირებას.

პირველიად კონვეიერი გამოიყენა ფირმა ინტელმა თავის 486 CPU-ში რომელსაც ჰქონდა ერთი კონვეიერი, მაგრამ უკვე პენტიუმს ჰქონდა ორი ხუთ-კასკადიანი კონვეიერი, დაახლოვებით ისეთი როგორც ფიგ 4.3.1-ზეა წარმოდგენილი. აქ მთავარი კონვეიერი, რომელსაც ეწოდებოდა **კონვეიერი** ასრულებდა ნებისმიერ პენტიუმ ინსტრუქციებს, ხოლო მეორე კონვეიერი ეგრეთ წოდებული **V კონვეიერი** ასრულებდა მხოლოდ მარტივ მთელრიცხვა ინსტრუქციებს (ასევე ერთ მარტივ მცოცავშიმიან ინსტრუქციას—FFXCH).

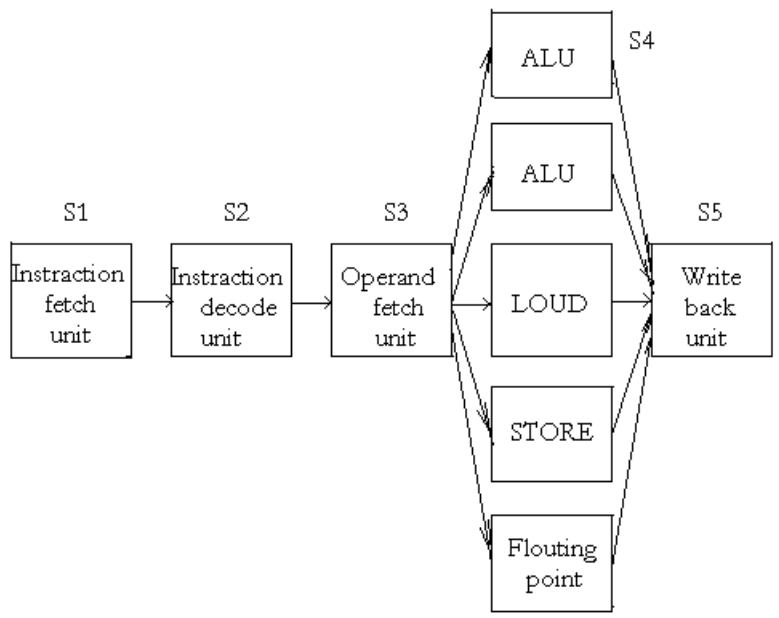
აქ რათქმა უნდა ძალზე რთულია იმის გარკვევა არიან თუ არა ინსტრუქციათა წყვილნი ურთიერთშეთავსებადი რათა ისინი შესრულდნენ პარალელურად. თუ ისინი შეთავსებადნი არ არიან მაშინ შესრულდებოდა მხოლოდ პირველი მათგანი კონვეიერში. მეორე მათგანი ამ შემთხვევაში მოიცდიდა და დაწყვილდებოდა შემდგომ ინსტრუქციასთან.

ამგვარად პენტიუმზედ ორიენტირებულ კომპილიატორებს შეუძლიათ აწარმოონ გაცილებით სწრაფად შესრულებადი პროგრამები ვიდრე ძველ კომპილიატორებს.

გამოთვლებმა უჩვენეს რომ კოდები ოპტიმიზებულნი პენტიუმ პროცესორებისათვის ორჯერ უფრო სწრაფად სრულდებოდნენ მთელრიცხვა პროგრამებისათვის ვიდრე იმავე სიხშირით მომუშავე 486 პროცესორებზე და ეს მიღწეული მიზანი მთლიანად და სავსებით მიეწერება მეორე კონვეიერს. რათქმა უნდა შესაძლებელია კონვეიერების რაოდენობის გაზრდა მაგალითად ოთხამდე მაგრამ ეს გამოიწვევს ძალზე დიდი რაოდენობის აპარატურის დამატებას. სხვა მიდგომაა გამოყენებული მაღალი კლასის ჩ -ებში. მთავარი იდეა არის ისევე ერთი კონვეიერის არსებობა მაგრამ აქ გაზრდილია მეოთხე კასკადის ე.ი ფუნქციონალური მოწყობილობის სტრუქტურა როგორც ნაჩვენებია ფიგ 4.3.2-ზე.

პენტიუმ 2 პროცესორს აქვს ანალოგიური სტრუქტურა რომელიც განმიხილება შემდეგში. აი პროცესორების აგების ასეთ მიდგომას **სუპერსკალიარული არქიტექტურა** ეწოდება. ამ იდეის ფარული არსი ისაა რომ მე 3 კასკადს შეუძლია ინსტრუქციების გაშვება მნიშვნელოვნად უფრო სწრაფად ვიდრე

მე-4 კასკადს მათი შესრულება. თუ მაგალითად დაუშვებთ რომ მე-3 კასკადს შეუძლია ინსტრუქციების გატარება ყოველ 10 ნწმ-ში და ფუნქციონალურ მოწყობილობებსაც შეეძლება იგივე ინსტრუქციის შესრულება 10 ნწმ-ში მაშინ ერთდროულად მხოლოდ ერთი მოწყობილობა იქნება დაკავებული და ამ იდეას აზრი აღარ ექნება. სინამდვილეში კი ფუნქციონალური მოწყობილობების უმეტესობას მე-4 კასკადში სჭირდება მნიშვნელოვნად უფრო მეტი დრო ვიდრე ერთი ციკლია, განსაკუთრებით მათ ვისაც სჭირდებათ მასხვრობასთან მიკითხვა ან მცოცავ მძიმეებიან რიცხვებზე მანიპულირება. როგორც ფიგურებიდან ჩანს მე-4 კასკადში შესაძლებელია ერთზე მეტი ALU-ს არსებობა.



ფიგ. 4.3.2 სუპერსკალარული კომპიუტერი ხუთი ფუნქციონალური მოწყობილობით

ლექცია 7. პარალელიზმი პროცესორთა დონეზე

სრულიად გასაგებია სულ უფრო მეტად სწრაფქმედი კომპიუტერების მოთხოვნილებებისკენ მიდრეკილება. ასტრონომებს სურთ იმის მოდელირება თუ რა მოხდება დიდი აფეთქების შემდეგ პირველ მიკროწამში, ეკონომისტებს სჭირდებათ მსოფლიო ეკონომიკის მოდელირება ხოლო თინეიჯერებს

მაგალითად შეიძლება სურდეთ 3 ინტერაქტიური მულტიმედიური თამაში თავის მულტიმედიურ მეგობართან. ეს ყველაფერი ითხოვენ პროცესორების მწარმოებლობის მნიშვნელოვნად გაზრდას. მაშინ როდესაც CPU-ები ჯერ კიდევ ინარჩუნებენ სისწრაფის ზრდას ისინი ადრე თუ გვიან მაინც შეეჯახებიან სინათლის გავრცელების სიჩქარის პრობლემას მაგალითად ოპტიკურ ბოჩკოვან გამტარში ან სპილენძის გამტარში დენის გავლის სიჩქარეს რომელიც დაახლოებით 20 სმ/ნწმ-ია, იმის და მიუხედავად რა გენიალური ინჟინრებიც არ უნდა ჰყავდეს ფირმა ინტელს. უფრო სწრაფი ჩიპები აგრეთვე უფრო მეტ სიბოლს გამოჰყოფენ რომლის გაფანთვაც პრობლემაა.

ინსტრუქციათა დონის პარალელიზმი შევლის ცოტაოდენს მაგრამ კონვეიერული ანდა სუპერსკალიარული არქიტექტურა იშვიათად იძლევა ხუთ ან ათჯერად მოგებაზე მეტს. 50, 100-ჯერ მეტი სისწრაფის მისაღებად უკვე ერთადერთი გზაა მრავალპროცესორიანი კომპიუტერების აგება, რწომელსაც ქვემოთ შევეხებით.

მატრიცული პროცესორი

ბევრ ფიზიკურ და ინჟინერულ პრობლემებს მატრიცული ანუ მკაცრად რეგულარული ხასიათი აქვთ. აქ ხშირად ერთნაირი გამოთვლებია საჭირო ერთიდაიგივე დროში მაგრამ განსხვავებული მონაცემებისათვის. ასეთი პროგრამების რეგულარობა და სტრუქტურა საშუალებას იძლევა დავაჩქაროთ გამოთვლები მათი პარალელურად შესრულების გზით. არსებობს ორი სხვადასხვა მეთოდი ასეთი სახის დიდი მეცნიერული ანდა ინჟინრული პროგრამების სწრაფად შესასრულებლად.

მატრიცული კომპიუტერი შედგება დიდი რაოდენობის იდენტური პროცესორებისაგან რომლებიც ასრულებენ ერთდამავე დროს ერთდაიგივე გამოთვლებს მაგრამ მონაცემთა სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის. მსოფლიოში პირველი ასეთი კომპიუტერი იყო ILLIAC 4, რომელიც გამოვიდა 1972 წელს.

პროექტის ორიგინალობა მდგომარეობდა იმაში რომ მანქანა შედგებოდა ოთხი კვადრატისაგან, რომლის თვითოეულ კვადრატს ქონდა 8*8-ზე კვადრატული მესერი, თვითოეული მათგანი შედგენილი იყო პროცესორ/მახსოვრობის ელემენტებისაგან. თვითოეული ამ კვადრატის მართვა ხდებოდა ერთი საერთო პროცესორიდან ხოლო ყველა პროცესორი ასრულებდა ერთიდაიგივე გამოთვლებს იმ მონაცემებზე რომლებიც

თავიანთი საკუთარი მახსოვრობიდან მიეწოდებოდა, (აქ ისინი (ჩაიტვირთებოდნენ) გადაიწერებოდნენ მანქანის მუშაობის საწყის ფაზაში). უნდა ითქვას რომ ასეთი მანქანის მწარმოებლობამ მიაღწია 1 გიგაფლოპს (მილიარდი მცოცავ-მძიმეიანი ოპერაცია წამში), რამაც გააორკეცა გამოთვლითვლების სიმძლავრე მთელ მსოფლიოში.

ვექტორული პროცესორი

პროგრამისტისათვის ვექტორული პროცესორი უმეტესწილად როგორც მატრიცული პროცესორი ისე ჩანს. ისიც ძალზედ ეფექტურია მონაცემთა წყვილებზე თანმიმდევრობითი ოპერაციების შესრულებისათვის, მაგრამ მატრიცული პროცესორისაგან განსხვავებით შეკრების ყველა ოპერაცია სრულდება მარტოხელა მკაცრად კოვეიერულ ამჯამავზე. ვექტორული პროცესორის ძირითადი მწარმოებელი იყო CRAY-ს კომპანია, რომელიც ახლა SGI-ის შემადგენლობაშია და რომელიც დღესაც აგრძელებს ანალოგიური კომპიუტერების წარმოებას.

ორთავე, როგორც მატრიცული ასევე ვექტორული პროცესორები მუშაობენ მონაცემთა მატრიცებზე, ორთავე ასრულებენს ერთეულოვან ინსტრუქციებს მაგ. ორი ვექტორის ელემენტების წყვილწყვილად შეკრებას, მაგრამ მაშინ როდესაც მატრიცული პროცესორი ამას აკეთებს იმით რომ აქვს იმავე რაოდენობის ამჯამავი რამდენი ელემენტიცაა ვექტორში, ვექტორული პროცესორი იყენებს **ვექტორული რეგისტრის** კონცეფციას. ვექტორული პროცესორი შედგება ჩვეულებრივი რეგისტრების ჯგუფისაგან, რომლებიც შეიძლება ჩაიტვირთონ მახსოვრობიდან ერთეულოვანი ინსტრუქციების დახმარებით და ისინი ფაქტიურად სერიულად ახორციელებენ მათ ჩატვირთვას.

ამის შემდეგ ვექტორული შეკრების ინსტრუქციები ასრულებენ ორი ასეთი ვექტორის ელემენტებიდან მათ წყვილწყვილ შეკრებას, რომლებიც მიეწოდებიან კონვეიერულ ამჯამავს (ამ ორი ვექტორული რეგისტრიდან). ამჯამავის მუშაობის შედეგი სხვა ახალი ვექტორია რომელიც ან შეიძლება შენახულ იყოს ვექტორულ რეგისტრში ანდა პირდაპირ გამოყენებულ იქნას ახალი ვექტორული ოპერაციის ოპერანდად.

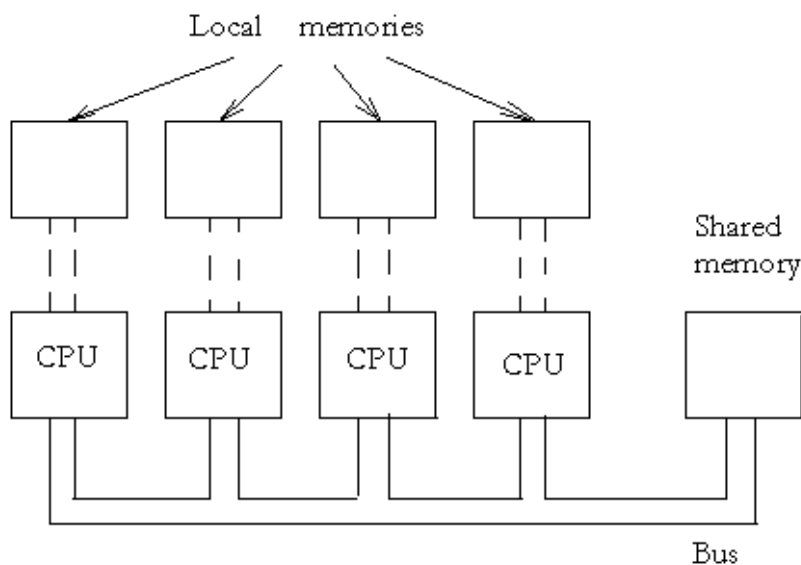
ამ ორი პროცესორის შედარებითი ანალიზი გვიჩვენებს რომ, მართალია მატრიცული პროცესორები მუშაობენ უფრო ეფექტურად მაგრამ ისინი ითხოვენ გაცილებით მეტ აპარატურას (ჰარდწარე) და ძნელია მათი პროგრამირება. ვექტორული პროცესორი თავის მხრივ შეიძლება დამატებულ

იქნას ჩვეულებრივ პროცესორს. აზრი მდგომარეობს იმაში რომ პროგრამის ნაწილები, რომლებიც შეიძლება ვექტორიზებულნი იქნენ შეიძლება სწრაფად შესრულებულ იქნენ ვექტორული მოწყობილობის შესაძლებლობების გამოყენებით, მაშინ როდესაც პროგრამის დანარჩენი ნაწილი შესაძლოა შესრულებულ იქნას ჩვეულებრივ ერთეულოვან პროცესორზე.

მულტიპროცესორები

როგორც ნაჩვენები იყო მატრიცული პროცესორი შედგებოდა მრავალი პროცესორისაგან მაგრამ ისინი არ არიან დამოუკიდებელი რადგან ისინი იმართებიან ერთი საერთო მართვის მოწყობილობისაგან და ამრიგად ის არ შეიძლება ჩაითვალოს მულტიპროცესორულ მანქანად.

ჩვენი პირველი პარალელური სისტემა მრავალრიცხოვანი სრულყოფილი CPU-ებით არის მულტიპროცესორული, სისტემა რომელსაც გააჩნია ერთზე მეტი CPU-ი და ერთი საერთო მახსოვრობა. რადგანაც თვითოეულ პროცესორს შეუძლია მახსოვრობის რაიმე ნაწილის წაკითხვა ან ჩაწერა ისინი ურთიერთშეთანხმებულნი უნდა იყვნენ (პროგრამულად) რომ არ გადაკვეთონ ერთმანეთის გზები.



ფიგ. 4.4 1 მულტიპროცესორები ლოკალურ მახსოვრობებთან ერთად და მათ გარეშე

ასეთ სისტემებს ბევრი კომპანია აკეთებს. აქ დიდი ფანტაზია არ უნდა იმის გარკვევას რომ დიდი რაოდენობის სწრაფი პროცესორების მუდმივი მცდელობა საერთო მახსოვრობასთან კავშირისათვის საერთო სალტის დახმარებით წარმოქმნის კონფლიქტურ სიტუაციებს. დამპროექტებლები

მუდმივად ცდილობენ მრავალრიცხოვანი სქემოტექნიკური გადაწყვეტილებებით შეამცირონ პროცესორთა ეს განუწყვეტელი ურთიერთკომპლიქტი.

ერთერთი ასეთი სქემაა ამავე ფიგურაზე ნაჩვენები ლოკალური მახსობრობები რომლებიც თვითოეული CPU-ს საკუთრებას წარმოადგენს და ერთმანეთს არ უყოფენ. ასეთ მახსოვრობაში შესაძლებელია იმ პროგრამული კოდებისა და მონაცემების შენახვა რომლებიც თვითოეული პროცესორისათვისაა განკუთვნილი და სხვას არ სჭირდება. რასაკვირველია ამ თავის კერძო მახსოვრობასთან მიკითხვისას გამოყენებულ არ უნდა იქნას საერთო სალტე, რადგანაც ეს მნიშვნელოვნად შეამცირებდა სალტის ტრაფიკს. აქ მიზანშეწონილია საკუთარი სალტეების გამოყენება (იხ. წყვეტილი ხაზებით ნაჩვენები სალტეები).

მულტიკომპიუტერები

თუმცა მულტიპროცესორული სისტემა მცირე რაოდენობის პროცესორებით (<64) შედარებით მარტივი ასაგებია უფრო დიდები განსაცვიფრებლად ძნელია ასაგებად. სიძნელე მდგომარეობს უპირველეს ყოვლისა ყველა პროცესორის ერთ მახსოვრობასთან შეერთებაში. ამ პრობლემის თავიდან ასაცილებლად ბევრმა დიზაინერმა უბრალოდ უარი თქვა ამ საერთოდ სახმარ მახსოვრობაზე და დაიწყო აგება ისეთი სისტემების რომლებიც შედგებიან დიდი რაოდენობის ერთმანეთთან შეერთებულ კომპიუტერებთან და რომლებსაც საერთო კი არა არამედ თავიანთი საკუთარი მახსოვრობა აქვთ. ასეთ სისტემებს **მულტიკომპიუტერებს** უწოდებენ.

ასეთ დიდ სისტემებში ყველა კომპიუტერი რომ ყველა კომპიუტერთან შეაერთო პრაქტიკულად შეუძლებელია, ამიტომ გამოიყენებენ 2D და 3D ბადეების, ხეების და რკალების ტოპოლოგიებს. ამიტომ გზავნილებმა ერთი კომპიუტერიდან მეორესთან უნდა გაიაროს ერთი ან რამდენიმე კომპიუტერი ან კომუტატორი რომ მიაღწიოს გამგზავნიდან მიმღებამდე. მიუხედავად ამისა აგებულ იქნენ მულტიკომპიუტერები რომლებიც შედგებიან ათიათასობით კომპიუტერისგან სადაც გზავნილის გადაგზავნის დრო ერთი ნებისმიერი კომპიუტერიდან მეორემდე არ აღემატება რამდენიმე მიკროწამს.