

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

გ. ღვებუაძე

სრულად მართვადი ძალური ნახევარგამტარული  
გასაღებები

დამხმარე სახელმძღვანელო

თბილისი 2007

გ. დგებუაძე

სრულად მართვადი ნახევარგამტარული გასაღებები.

დამხმარე სახელმძღვანელო. თბილისი, 2007.

დამხმარე სახელმძღვანელოში განხილულია თანამედროვე ძალური სრულად მართვადი ნახევარგამტარული გასაღებების მუშაობის ფიზიკური საფუძვლები, ძირითადი ელექტრული და სითბური მახასიათებლები და პარამეტრები, მართვის თანამედროვე სისტემები. დამხმარე სახელმძღვანელო გამოადგება ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სტუდენტებს საგნის – “ძალური ელექტრონიკა” შესწავლის დროს.

## შესავალი

ძალური (ენერგეტიკული) ელექტრონიკის პროგრესი პირველ რიგში დაკავშირებულია იმ წარმატებებთან, რომელიც სრულად მართვადი ძალური ნახევარგამტარული ხელსაწყოების ტექნიკური მახასიათებლების და პარამეტრების სრულყოფის გზაზეა მიღწეული. ელექტრული ენერჯის ისეთ მომხმარებლებში, როგორცაა: მუდმივი და ცვლადი დენის ამძრავი, ელექტროთერმია, ელექტროლიზის ტექნოლოგიური დანადგარები, ელექტრული ენერჯის მუდმივი დენით გადამცემი ხაზები და სხვა, გამოყენებულ ნახევარგამტარულ ხელსაწყოებს აკისრიათ ელექტრული წრედების კომუტაცია (პერიოდული გადართვები), ე. ი. მუშაობენ გასაღებისებურ რეჟიმში. ელექტრული ენერჯის ზემოაღნიშნული მომხმარებლების სიმძლავრე, რიგ შემთხვევაში, მეგავატებით განისაზღვრება და ამავე დროს სულ უფრო იზრდება მათი გამოყენების მასშტაბები. ამიტომ, მსოფლიოს მოწინავე ქვეყნების ფირმებმა და კომპანიებმა გასული საუკუნის 80-ანი წლებიდან დიდი მეცნიერული და სხვა რესურსები წარმართეს ტექნიკურად სრულყოფილი ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების შესაქმნელად. დამუშავდა ახალი მიდგომები და ტექნოლოგიები ამ სახის ხელსაწყოების დასამზადებლად.

სრულად მართვადი ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების ფუნქციური შესაძლებლობების შესაფასებლად შემოტანილი იქნა ვარგისობის კოეფიციენტი. ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორების ვარგისობის კოეფიციენტს განსაზღვრავენ გაძლიერების კოეფიციენტისა და სიხშირეთა გატარების ზოლის მაქსიმალური სიხშირის ნამრავლით. ძალური ველით მართული ტრანზისტორების ვარგისობის კოეფიციენტი გადაცემის მახასიათებლის დახრილობის პროპორციული და მართვის შემავალი წრედის ტევადობის უკუპროპორციულია. ორივე გასაღების ვარგისობის კოეფიციენტზე ძირითად გავლენას დენგამტარი არხის სიგრძე ახდენს. კერძოდ, დენგამტარი არხის სიგრძის შემცირებით გასაღების ვარგისობის კოეფიციენტი იზრდება.

სრულად მართვად ძალურ ნახევარგამტარულ გასაღებებში დენგამტარი არხის დამოკლება შესაძლებელი გახდა ძირითადი ელექტროდების (ანოდი და კათოდი, ემიტერი და კოლექტორი, სათავე და ჩასადენი) ფუძე ნახევარგამტარული კრისტალის ერთ ზედაპირზე ჰორიზონტალური (პლანარული) განლაგების ნაცვლად, ურთიერთ მოპირდაპირე ზედაპირებზე განლაგებით (ძირითად ელექტროდთა ვერტიკალური განლაგებით).

ძირითად ელექტროდთა ვერტიკალური განლაგების შედეგად ძალური გასაღებების ვარგისობის კოეფიციენტი ერთი რიგით და მეტად გაიზარდა. მაგრამ ძალური გასაღებების ერთარხიან ვერტიკალურ სტრუქტურას, პლანარულ სტრუქტურასთან შედარებით, უარესი სითბური თვისებები აღმოაჩნდა. ვერტიკალურ სტრუქტურიანი ძალური გასაღებების სითბური თვისებების გასაუმჯობესებლად საჭირო გახდა

დენგამტარი არხის დანაწევრება ერთნაირი პარამეტრების მქონე დიდი რაოდენობის პარალელურად მომუშავე დენგამტარ არხებად. ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების დამზადების ამ ახალ ტექნოლოგიას საფუძვლად დაედო ციფრული ინტეგრალური მიკროსქემების დამზადების ტექნოლოგიური მიღწევები. აღნიშნული ტექნოლოგიური მიღწევების გამოყენებით შესაძლებელი გახდა მრავალუჯრედიანი სტრუქტურის მქონე სრულად მართვადი ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების შექმნა.

მრავალუჯრედიანი სტრუქტურის მქონე ნახევარგამტარული გასაღებების მოქმედების პრინციპი და ფიზიკური მახასიათებლები განისაზღვრება სტრუქტურაში შემავალი იდენტური თვისების მქონე ცალკეული ელემენტარული უჯრედის (საბაზო უჯრედი) მოქმედების პრინციპით და ფიზიკური თვისებებით. რაც უფრო რთულია ამ ელემენტარული უჯრედის სტრუქტურა, მით უფრო ახლოსაა ძალური გასაღები იდეალურთან. იდეალური კი ისეთი გასაღებია, რომელსაც უნარი შესწევს მყისიერად გადართოს უსასრულოდ დიდი სიდიდის დენი (მართვის წრედის მიერ მოთხოვნილი ნულის ტოლი სიმძლავრის პირობებში) და მოახდინოს უსასრულოდ დიდი სიდიდის უკუძაბვის ბლოკირება (შეკავება), გააჩნია გახსნილი მდგომარეობის დროს ნულის ტოლი ნარჩენი ძაბვა და ჩაკეტილი მდგომარეობის დროს ნულის ტოლი გაქონვის დენი (უკუდენი). ცხადია, იდეალური გასაღები არ შეიძლება არსებობდეს. რეალური გასაღებები მეტ-ნაკლები ხარისხით უახლოვდებიან იდეალურს.

მრავალუჯრედიანი სტრუქტურის მქონე სრულად მართვადი ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების სამრეწველო წარმოება დაიწყო გასული საუკუნის 80-იანი წლებიდან. ასეთ გასაღებებს მიეკუთვნებიან:

- ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორები (BJT);
- ძალური ველით მართული ტრანზისტორები იზოლირებული მართვის ელექტროდით (MOS, FET);
- ბიპოლარული ტრანზისტორები იზოლირებული ბაზით (IGBT);
- ოროპერაციული (გამორთვადი) ტირისტორები (GTO);
- ტრანზისტორები და ტირისტორები სტატიკური ინდუქციით ( $SIT_r$ ,  $SIT_h$ );
- ველით გამორთვადი ტირისტორები (FCT, MCT);

ზემოდასახელებული ძალური გასაღებების ბაზაზე საზღვარგარეთის წამყვანი ფირმები (Motorola, General Electric, Mitsubishi, და სხვა) ამზადებენ ერთ, ორ, ოთხ და ექვს გასაღებიან მოდულებს ნახევრადბოგური და ბოგური (ერთფაზა. სამფაზა) სქემების სახით.

80-ანი წლების მეორე ნახევარში შეიქმნა ძალური (ენერგეტიკული) ელექტრონიკის ხელსაწყოთა ახალი კლასი, რომელმაც მიიღო ძალური ინტელექტუალური ინტეგრალური სქემების სახელწოდება. ასეთი სქემები ერთ კრისტალში ან ერთ კორპუსში აერთიანებენ როგორც ძალურ სრულად მართვად გასაღებებს საკუთარი მართვისა და დაცვის სქემებთან ერთად, ისე მთელი გარდამქმნელი დანადგარის

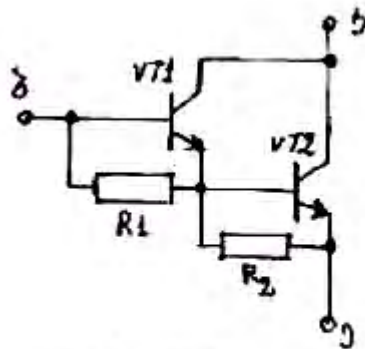
მართვის სისტემას, კონტროლისა და სადიაგნოსტიკო სისტემებს. ამის გამო, მკვეთრად მცირდება გარდამქმნელის წონა და ზომები, იზრდება მუშაობის საიმედოობა და ფართოვდება მათი ფუნქციური შესაძლებლობები.



გადასასვლელის სისქე, რაც დასაშვები უკუაბავის მნიშვნელოვანი გაზრდის საშუალებას იძლევა.

ემიტერული გადასასვლელი საბაზო უჯრედში დანაწევრებული ხასიათისაა, რის შედეგადაც შემცირებულია წინაღობა P-ბაზისა და ემიტერის კონტაქტს შორის, გაუმჯობესებულია დენის განაწილება და აღმოფხვრილია ე.წ. თერმულად არასტაბილური ცხელი წერტილები, რომლებიც დენის არათანაბარი განაწილების გამო წარმოიქმნებიან.

ძალურ ბიპოლარულ ტრანზისტორში სუსტად ლეგირებული კოლექტორული უბნის არსებობა იწვევს დენის გადაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელოვან შემცირებას. ამიტომ, ტრანზისტორის გაჯერების რეჟიმის უზრუნველსაყოფად საჭირო ხდება ბაზის დენის მნიშვნელოვანი გაზრდა. ამის გამო კი მნიშვნელოვნად იზრდება ხელსაწყო მართვისთვის საჭირო სიმძლავრე, რაც არასასურველია. დენის გადაცემის კოეფიციენტის გაზრდის საჭიროება მოითხოვს საბაზო უჯრედის სტრუქტურის გართულებას (1.1-სურათზე ნახვენები არ არის). კერძოდ, საბაზო უჯრედში კეთდება დამატებითი ტრანზისტორული სტრუქტურა (n-p-n) და ამ გზით უჯრედში ფორმირებული ორი ტრანზისტორი შეერთდება ე.წ. დარლინგტონის სქემის მიხედვით (შედგენილი ტრანზისტორის სქემა). ტრანზისტორების შეერთების სქემა 1.2. სურათზეა ნახვენები.



სურ. 1.2 შედგენილი ტრანზისტორის სქემა

ასეთი სტრუქტურის მქონე ტრანზისტორის ბაზის დენის გადაცემის კოეფიციენტი

$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 ,$$

სადაც  $\beta_1, \beta_2$  – VT1, VT2 ტრანზისტორების დენის გადაცემის კოეფიციენტებია.

VT1 და VT2 ტრანზისტორების ემიტერული გადასასვლელები დაშუნტებულია  $R_1$  და  $R_2$  რეზისტორებით. ეს რეზისტორები ზრდიან კოლექტორ-ემიტერის წრედის მუშაობის სიდიდეს და აუმჯობესებენ ტრანზისტორის სითბურ სტაბილობას. გარდა ამისა, ეს რეზისტორები აუმჯობესებენ ტრანზისტორის ჩაკეტილ მდგომარეობაში გადასვლის (გამორთვის) დინამიკურ მახასიათებელს.

## 1.2 ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორების

### საქესპლოატაციო პარამეტრები

ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორების საცნობარო კატალოგებში ჩვეულებრივ ზღვრული საქესპლოატაციო პარამეტრებია მითითებული. ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორის მუშაობის ზღვრულად დასაშვები რეჟიმი განისაზღვრება ძაბვისა და დენის დასაშვები მნიშვნელობებით, აგრეთვე ხელსაწყოში გამოყოფილი მაქსიმალურად დასაშვები სიმძლავრით და კორპუსის ტემპერატურით. ძალური

ბიპოლარული ტრანზისტორის მწვობრიდან გამოსვლას ძირითადად იწვევს ერთ-ერთ ელექტრულ გადასასვლელზე დასაშვებზე მეტი სიდიდის უკუძაბვის მოქმედება და ხელსაწყო გადახურება დიდი სიდიდის დენის გავლის დროს.

ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორული გასაღების შერჩევისა და მუშაობის რეჟიმის გაანგარიშების დროს გამოყენებული საცნობარო პარამეტრები მოცემულია ცხრილის სახით.

ცხრილი 1.1. ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორების პარამეტრები

პარამეტრთა ჯგუფი	პარამეტრის დასახელება	აღნიშვნა		გაზომვის რეჟიმი
		რუს.	ინგლ.	
1	2	3	4	5
კოლექტორის ძაბვის მიხედვით	კოლექტორული გადასასვლელის მაქსიმალურად დასაშვები ძაბვა	$V_{кб\ max}$	$V_{CBO}$	როცა ემირეტის დენი ნულის ტოლია
	კოლექტორ-ემიტერს შორის მაქსიმალურად დასაშვები ძაბვა	$V_{кэ\ max}$	$V_{CEO}$	როცა ბაზის დენი ნულის ტოლია
	კოლექტორ-ემიტერის გაჯერების ძაბვა	$V_{кэ\ наг}$	$V_{CE(sat)}$	კოლექტორის დენის მოცემული მნიშვნელობისა და ბაზის პირდაპირი დენის მოცემული მნიშვნელობის დროს
კოლექტორის დენის მიხედვით	კოლექტორის დენი მოკვეთის რეჟიმში		$I_{CEX}$	ბაზის წრედის უარყოფითი წანაცვლების დროს
	კოლექტორის მაქსიმალურად დასაშვები დენი	$I_{Kmax}$	$I_C$	კორპუსის მოცემულ ტემპერატურაზე
	კოლექტორის მაქსიმალურად დასაშვები იმპულსური დენი	$I_{K-U}$	$I_{CM}$	იმპულსის ხანგრძლიობის მოცემული სიდიდის დროს
მართვის წრედის მიხედვით	ბაზა-ემიტერის მაქსიმალურად დასაშვები უკუძაბვა	$V_{Бэmax}$	$V_{EBO}$	როცა კოლექტორის დენი ნულის ტოლია

მართვის წრედის მიხედვით	ბაზის დენი მოკვეთის რეჟიმში  ბაზა-ემიტერის გაჯერების ძაბვა	-  $V_{BE-HAC}$	$I_{EBO}$  $V_{BE(sat)}$	ბაზის წრედის უარყოფითი წანაცვლებისა და კოლექტორის ნულის ტოლი დენის დროს  კოლექტორის დენის მოცემული მნიშვნელობისა და ბაზის პირდაპირი დენის დროს
გაძლიერების კოეფიციენტის მიხედვით	დენის სტატიკური გაძლიერების კოეფიციენტი  გაძლიერების სასაზღვრო სისშირე	$h_{21Э}$  $f_{FP}$	$h_{FE}$  $f_T$	კოლექტორის დენის მოცემული მნიშვნელობისა და კოლექტორ-ემიტერის მცირე ძაბვის დროს.  კოლექტორის დენის მოცემული მნიშვნელობის დროს
დინამიკური პარამეტრები	კოლექტორის დენის ზრდის ხანგრძლივობა  ჩართვის დრო  კოლექტორის დენის კლების ხანგრძლივობა  გაწოვის დრო  კოლექტორული გადასასვლელის ბარიერული ტევადობა	$t_{HAP}$  $t_{BKJ}$  $t_{CH}$  $t_{pacc}$  $C_{KB}$	$t_R$  $t_{ON}$  $t_F$  $t_S$  $C_{CB}$	შემავალი და გამომავალი წრედების მოცემული რეჟიმის დროს  გამოსავალი ძაბვის მოცემული მნიშვნელობის დროს
სითბური პარამეტრები	გადასასვლელი-კორპუსის სითბური წინაღობა  გადასასვლელი-გარემოს გარდამავალი წინაღობა  გადასასვლელი-კორპუსის გარდამავალი წინაღობა  გადასასვლელის მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურა  კორპუსის ტემპერატურა  გარემოს ტემპერატურა	$R_{T(II-K)}$  $R_{T(II-C)}$  $Z_T$  $T_{II-max}$  $T_K$  $T_{CP}$	$R_{Th-C}$  $R_{Th-A}$  $Z_{Th-C}$  $T_{J(max)}$  $T_C$  $T_A$	გამაგრილებელის გამოყენების შემთხვევაში გამაგრილებელი არ არის გამოყენებული  იმპულსის ხანგრძლივობის მოცემული მნიშვნელობის დროს უარყოფითი და დადებითი

სითბური პარამეტრები	კორპუსი-გამაგრილებელი სითბური წინაღობა	$R_{T(K-O)}$	$R_{ThC-S}$	კორპუსსა და გამაგრილებელს შორის კონტაქტის მოცემული პარამეტრების პირობებში
სიმძლავრე	კოლექტორზე გაბნეული მაქსიმალური სიმძლავრე	$P_K$	$P_C$	კორპუსის მოცემული ტემპერატურის დროს

ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორული გასაღების წარმატებული ფუნქციონირებისთვის აუცილებელია, რომ არ მოხდეს ცხრილში მოცემული ნებისმიერი ჯგუფის პარამეტრის ზღვრულად დასაშვები სიდიდის გადამეტება.

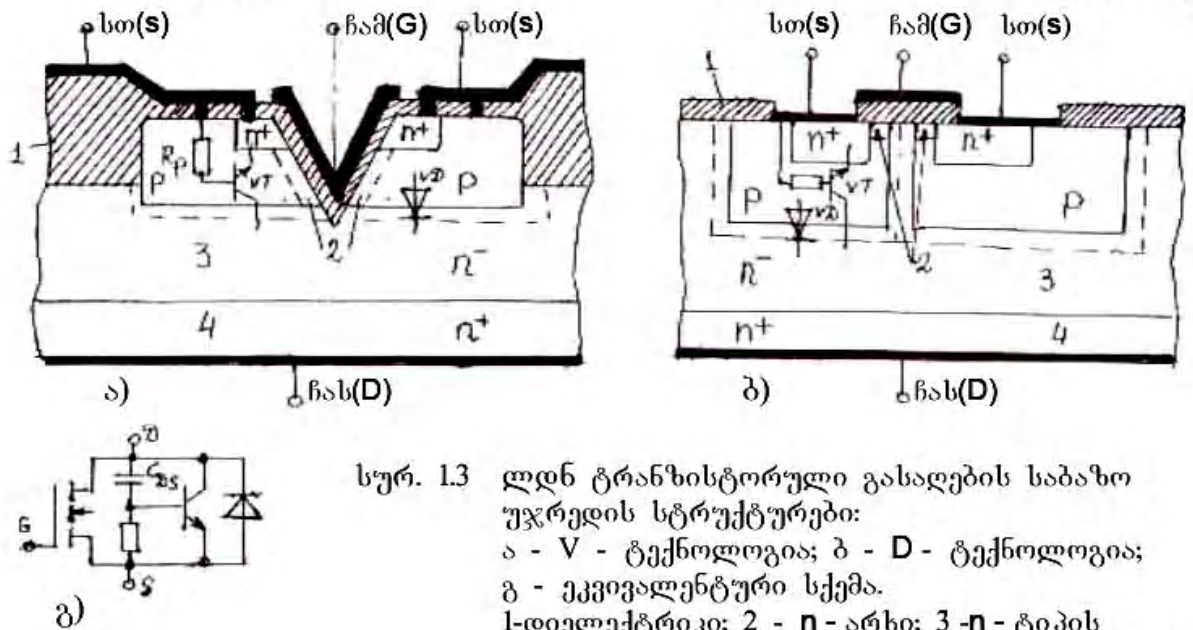
თანამედროვე ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორული გასაღებები ნორმალურად ფუნქციონირებენ 500 ა-მდე დენზე და 1500 ვ-მდე ძაბვაზე 10 კჰც მუშა სიხშირის დროს. ასეთი გასაღებების უმნიშვნელოვანეს დადებით თვისებას წარმოადგენს ღია გასაღებზე ძაბვის ვარდნისა (ნარჩენი ძაბვის) და სიმძლავრის დანაკარგის მცირე სიდიდე. ღია გასაღებზე ნარჩენი ძაბვა არ აღემატება 1,5-2 ვ. ამავე დროს, მათ გააჩნიათ სერიოზული უარყოფითი თვისებები:

- ბიპოლარული ტრანზისტორული გასაღების მართვის წრედი მოითხოვს საკმაოდ დიდ სიმძლავრეს;
- გადართვებთან დაკავშირებულია გარდამავალი პროცესების გაზრდილი ინერციულობა;
- გასაღებების პარალელური შეერთების დროს აღვილი აქვს ცალკეულ შტოში დენის არათანაბარ გადანაწილებას. პარალელურ შტოებში დენების გათანაბრებისათვის საჭიროა დამატებითი სქემური ელემენტების გამოყენება;
- მაღალია ასეთი გასაღებების სითბური და მეორეული გარღვევის ალბათობა. ზემოაღნიშნული უარყოფითი თვისებების გამო, ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორული გასაღებების გამოყენების სფერო საკმაოდ შეზღუდულია.

### 1.3 ძალური ველით მართული ტრანზისტორები იზოლირებული მართვის ელექტროდით

ლითონი-დიელექტრიკი-ნახევარგამტარი (ლდნ) სტრუქტურის თანამედროვე ძალური ტრანზისტორები შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად ჯგუფად: მაღალი სიხშირის დაბალძაბვიანი ტრანზისტორები და ტრანზისტორები მაღალი მუშა ძაბვით. ორივე ჯგუფის ტრანზისტორული გასაღები მრავალუჯრედიანი სტრუქტურისაა. საბაზო უჯრედების დამზადება ხდება ორი ვარიანტის მიხედვით: V-ტექნოლოგიით (V-MOS FET) და D-ტექნოლოგიით (D-MOS FET).

V-ტექნოლოგიის მიხედვით დამზადებულ საბაზო უჯრედს მხოლოდ ვერტიკალური სტრუქტურა გააჩნია (სურ. 13). საწყის მასალად გამოიყენება  $n^+$ -ნახევარგამტარული



სურ. 13 დენ ტრანზისტორული გასაღების საბაზო უჯრედის სტრუქტურები:  
 ა - V - ტექნოლოგია; ბ - D - ტექნოლოგია;  
 გ - ეკვივალენტური სქემა.  
 1-დიელექტრიკი; 2 - n - არხი; 3 - p - ტიპის ეპიტაქსიალური შრე ( $n^-$ ); 4 -  $n^+$  - ტიპის საფენი

კრისტალის ფირფიტა (საფენი), რომელზეც ამოზრდილია  $n^-$ -ეპიტაქსიალური შრე. ამ შრეზე მინარეგების მიმდევრობითი დიფუზიით ფორმირდება P-უბანი და ძლიერლეგირებული  $n^+$ -სათვის უბანი. ამ ეტაპამდე წარმოებული ტექნოლოგიური ოპერაციები ბიპოლარული საბაზო უჯრედს შესრულებისას გამოყენებული ტექნოლოგიური ოპერაციების იდენტურია. ამის შემდეგ, შერჩევითი ქიმიური დამუშავებით მიიღება V-ს მსგავსი არხი, რომელიც დაფარულია სილიციუმის ორჟანგის საიზოლაციო შრით. ამ უკანასკნელის ზედაპირზე მოლითონების მეთოდის გამოყენებით დატანილია ლითონის შრე, რომელზეც გაკეთებულია ჩამკეტის (მართვის ელექტროდის) საკონტაქტო გამომყვანი. ანალოგიურად უკეთდება საკონტაქტო გამომყვანები  $n^+$  -უბნებს. რაც შეეხება ჩასადენის საკონტაქტო გამომყვანს, იგი შესრულებულია  $n^+$ - ნახევარგამტარული კრისტალის საფენის უკანა მოლითონებული ზედაპირიდან.

D-ტექნოლოგიის მიხედვით დამზადებულ საბაზო უჯრედს შეიძლება ჰქონდეს როგორც ვერტიკალური, ისე ჰორიზონტალური (პლანარული) სტრუქტურა. ამჟამად ასეთი საბაზო უჯრედების დამზადება ხდება ძირითადად ვერტიკალური სტრუქტურის მიხედვით (სურ. 13, ბ). ამ სახის საბაზო უჯრედის შესრულების დროსაც გამოყენებულია ძლიერლეგირებული  $n^+$ -საფენი, რომლის უკანა ზედაპირი დაფარულია ლითონის თხელი შრით და იგი ჩასადენის ფუნქციას ასრულებს. საფენის წინა ზედაპირზე ეპიტაქსიალური ამოზრდის მეთოდის გამოყენებით შექმნილია სუსტად ლეგირებული  $n^-$ -შრე. ამ შრეზე მინარეგების შეტანის

დიფუზიური ტექნოლოგიის გამოყენებით შექმნილია P-უბანი და სათავის ძლიერლევირებული  $n^+$ -უბნები. მოლითონების ოპერაციის ჩატარების შედეგად მიღებულია ჩამკეტისა და სათავის საკონტაქტო გამომყვანები.

V-ლდნ და D-ლდნ საბაზო უჯრედების შესრულების თითქმის ერთნაირი ტექნოლოგიის მიუხედავად, V-ლდნ საბაზო უჯრედებს აქვთ ძალზე მცირე სიგრძის დენგამტარი არხი (0,1 მკმ-დე). ამიტომ მცირეა გასაღების წინაღობა და ნარჩენი ძაბვის სიდიდე ღია მდგომარეობის დროს. ამასთან ერთად, მცირეა გამრღვევი ძაბვის სიდიდე ჩაკეტილი მდგომარეობის დროს. D-ლდნ საბაზო უჯრედებში დენგამტარი არხის სიგრძე მნიშვნელოვნად მეტი სიდიდისაა. ასეთი გასაღების გამრღვევი ძაბვა საკმაოდ მაღალია, მაგრამ, ამავე დროს, საკმაოდ დიდია ნარჩენი ძაბვა ღია მდგომარეობაში.

ლდნ საბაზო უჯრედის მუშაობის პრინციპი პლანარული ტექნოლოგიით შესრულებული დაინდუქციებულარხიანი ველით მართული ტრანზისტორის მუშაობის პრინციპის ანალოგიურია. საბაზო უჯრედის ღია მდგომარეობაში გადართვისთვის აუცილებელია არხის იმ უბნის გამტარობის ინვერსია, რომელიც უშუალოდ მმართველი ელექტროდის (ჩამკეტის) ქვემოთაა მოთავსებული. ძალური ღდნ გასაღების საბაზო უჯრედი, როგორც წესი,  $n$ -არხიანია. საბაზო უჯრედის ჩამკეტზე დადებითი წანაცვლების ძაბვის მიწოდებისას, ელექტრული ველის ძალხაზები გააღწევენ რა ჩამკეტსა და არხს შორის განთავსებულ დიელექტრიკის შრეში, მოხდება P-უბნის ზედაპირული შრეებიდან ხვრელების განზიდვა, ხოლო P-უბნის სიღრმისეული შრეებიდან ზედაპირული შრეებისაკენ ელექტრონების მიზიდვა. ამის გამო P-უბნის ზედაპირქვეშა შრეები (ჩამკეტის ქვემოთ) გამდიდრდება ელექტრონებით და შეიცვლება ამ შრეების გამტარობის ტიპი, ე.ი.  $n^+$ -სათვისა და  $n^-$  ჩასადენის უბნები ერთმანეთს დაუკავშირდებიან  $n$ -ტიპის არხით.

ძალური ღდნ-ტრანზისტორის ორივე სახის საბაზო უჯრედი შეიცავს შიგა "პარაზიტულ"  $n$ - $p$ - $n$  ბიპოლარულ ტრანზისტორს (VT, სურ. 1.3.), რომელიც წარმოქმნილია:  $n^+$ -სათვის უბნით (ემიტერი), ინვერსული არხის P-უბნით (ბაზა) და  $n^-$ -ეპიტაქსიალური შრით (კოლექტორი). ეს ტრანზისტორი ჩართულია ღდნ-სტრუქტურის მუშა არხის პარალელურად. იმისათვის, რომ ხელსაწყოში შეინარჩუნოს ველიანი ტრანზისტორებისათვის დამახასიათებელი დადებითი თვისებები აუცილებელია გამოირიცხოს მუხტის გადამტანების ბიპოლარული მექანიზმის ამოქმედება. ამ მიზნით ძალური ღდნ-ტრანზისტორის საბაზო უჯრედში P-უბნის ნაწილი კონტაქტში იმყოფება სათავის გამომყვანის ლითონის შრესთან. სქემოტექნიკური თვალსაზრისით ასეთი ტექნოლოგიური ღონისძიების გატარება პარაზიტული  $n$ - $p$ - $n$  ტრანზისტორის ემიტერული გადასასვლელის მოკლედ ჩართვის ექვივალენტურია. თუმცა, იმის გამო, რომ P-უბანს განსაზღვრული სასრული სიდიდის გრძივი  $R_p$  წინაღობა გააჩნია, აღნიშნული პრობლემა ბოლომდე გადაჭრილი არ არის. ჩასადენის წრედში ძაბვის დიდი სიჩქარით ცვლილების დროს

თავს იჩენს  $dv/dt$  ეფექტი. კერძოდ, ტეკალური ხასიათის უკუკავშირის დენმა გრძივ  $R_p$  წინაღობაზე შეიძლება შექმნას n-p-n ტრანზისტორის გაღებისთვის საკმარისი წანაცვლების ძაბვა. ზემოაღნიშნულის გათვალისწინება განსაკუთრებით საჭიროა მაღალი ძაბვის ლდნ-ტრანზისტორების სტრუქტურაში, სადაც გამოყენებული უნდა იქნეს დაცვის დამატებითი საშუალებები.

P-უბნის საკონტაქტო ლითონის შრესთან მიერთების გამო, ძალური ლდნ-ტრანზისტორის სტრუქტურის შიგნით კიდევ ერთი დამატებითი ელემენტი-უკუწანაცვლების მქონე p-n<sup>+</sup> გადასასვლელი ჩნდება. ეს უკანასკნელი შეიძლება განხილული იქნეს, როგორც შიგა დიოდი, რომელიც სათავე-ჩასადენის წრედის შემხვედრ-პარალელურადაა ჩართული (სურ.1.3, გ). საბაზო უჯრედის დაპროექტება ხდება ისე, რომ ამ დიოდის ზღვრული პარამეტრები შესაბამისობაშია ლდნ-ტრანზისტორის ანალოგიურ მაჩვენებლებთან და ამავე დროს გააჩნია ჩაკეტილი მდგომარეობის აღდგენის საკმაოდ მცირე დრო.

V-ლდნ და D-ლდნ საბაზო უჯრედების სტრუქტურათა შორის გარკვეული განსხვავების მიუხედავად, მათ მუშაობას საფუძვლად უდევს ერთი საერთო პრინციპი. კერძოდ, ჩაკეტილი მდგომარეობის დროს ჩასადენსა და სათავეს შორის მიერთებული გარეშე ძაბვის წყაროს ელექტრული ველი კონცენტრირებულია ჩასადენის n<sup>+</sup>-ეპიტაქსიალურ უბანში, რის გამოც გამრღვევი ძაბვის (მაშასადამე დასაშვები ძაბვის) სიდიდე მაღალია. ბიპოლარული საბაზო უჯრედის მსგავსად, ძაბვით გარღვევის შესაძლო მექანიზმებია:

- ზვავური გარღვევა ელექტრული ველის დაძაბულობის დიდი სიდიდის დროს;
- სითბური გარღვევა დენური გადატვირთვების დროს;
- გამჭოლი გარღვევა, რომელიც სივრცული მუხტის ველების გადაადგილებისა და მოძრავი მუხტებით გაღარიბებული უბნების მიჯრის ეფექტითაა განპირობებული.

## 14. ძალური ლდნ გასადებების საექსპლოატაციო პარამეტრები

ძალური ლდნ გასადებების შერჩევის და მუშაობის რეჟიმის გაანგარიშების დროს გამოყენებული საცნობარო პარამეტრები მოცემულია ცხრილის სახით.

ცხრილი 1.2 ძალური ღღნ ტრანზისტორის პარამეტრები

პარამეტრთა ჯგუფი	პარამეტრის დასახელება	აღნიშვნა		გაზომვის რეჟიმი	
		რუს.	ინგლ.		
1	2	3	4	5	
ძაბვა ჩასადენზე	ჩასადენსა და სათავეს შორის ძაბვის მაქსიმალურად დასაშვები სიდიდე	$V_{cu\ max}$	$V_{DS}$		
ჩასადენის დენი	მოკვეთის დენი ჩასადენში	$I_{OTC}$	$I_{DSS}$	ჩამკეტ-სათავეს მოკლედ ჩართვისა და $V_{DS}$ ძაბვის დროს	
ჩასადენის დენი	ჩასადენის მაქსიმალურად დასაშვები დენი	$I_{C\ max}$	$I_D$	კორპუსის მოცემული ტემპერატურის დროს	
	ჩასადენის მაქსიმალურად დასაშვები იმპულსური დენი	$I_{CU}$	$I_{DM}$	იმპულსის ხანგრძლივობის მოცემული მნიშვნელობის დროს	
მართვის წრედის პარამეტრები	ჩამკეტ-სათავეს შორის მაქსიმალურად დასაშვები პირდაპირი (უკუ) ძაბვა	$V_{3I\ max}$	$V_{GSS}$	ჩასადენ-სათავეს წრედის მოკლედ ჩართვის დროს	
	ჩამკეტ-სათავეს შორის ზღურბლური ძაბვა	$V_{3I\ POP}$	$V_{GS(th)}$	$V_{DS}$ ძაბვის დროს	
	ჩამკეტის გაჟონვის დენი	$V_{3I\ OTC}$	$I_{GSS}$	$V_{GSS}$ ძაბვის და ჩასადენ-სათავეს წრედის მოკლედ ჩართვის დროს	
მაძლიერებელი პარამეტრები	პირდაპირი გადაცემის მახასიათებლის დახრილობა	S	$g_{FS}$	$V_{DS}$ და $I_D$ მოცემული მნიშვნელობის დროს	
	ჩასადენი-სათავეს შორის წინაღობა ღია მდგომარეობის დროს	$R_{CU}$	$R_{DS(On)}$	$I_D$ და ჩამკეტ-სათავე ძაბვის მოცემული მნიშვნელობის დროს	
დინამიკური პარამეტრები	ჩართვის დაყოვნების დრო	$t_{3\ BKJ}$	$t_{D(on)}$	შემავალი და გამომავალი წრედის მოცემული რეჟიმის დროს	
	გამორთვის დაყოვნების დრო	$t_{3\ BJK}$	$t_{D(off)}$		
	ჩასადენის დენის ზრდის დრო	$t_{nap}$	$t_R$		
	ჩასადენის დენის კლების დრო	$t_{CP}$	$t_F$		
	შემავალი წრედის ტევადობა	$C_{11,U}$	$C_{iSS}$		$V_{DS}$ მოცემული სიდიდის და 1 მგჰც სიხშირის დროს $C_{iSS}=C_{GS}+C_{GD}$ $C_{OSS}=C_{GD}+C_{DS}$ $C_{RSS}=C_{GD}$
	გამომავალი წრედის ტევადობა	$C_{22,U}$	$C_{OSS}$		
გამომავალი წრედის ტევადობა	$C_{12,U}$	$C_{RSS}$			
ჩამკეტის წრედის საერთო მუხტი	-	$Q_G$	დატვირთვის და მართვის მოცემული რეჟიმის დროს		

დინამიკური პარამეტრები	ძაბვის ზრდის კრიტიკული სიჩქარე ჩაკეტილი მდგომარეობის დროს	dv/dt	dv/dt	გამოსავალი ძაბვის მოცემული ამპლიტუდის, ჩამკეტ-სათავის წრედის მოკლედ ჩართვისა და გადასასვლელის მქსიმალური ტემპერატურის დროს
სითბური პარამეტრები	<p>გადასასვლელი-კორპუსი სითბური წინაღობა</p> <p>გადასასვლელი-გარემო სითბური წინაღობა</p> <p>კორპუსი-გამაგრილებელი სითბური წინაღობა</p> <p>გადასასვლელი-კორპუსი გარდამავალი წინაღობა</p> <p>გადასასვლელის მქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურა</p> <p>კორპუსის ტემპერატურა</p> <p>გარემოს ტემპერატურა</p>	<p><math>R_{TH-K}</math></p> <p><math>R_{TH-C}</math></p> <p><math>R_{TK-O}</math></p> <p><math>r_T</math></p> <p><math>T_{II\ max}</math></p> <p><math>T_K</math></p> <p><math>T_{OKP}</math></p>	<p><math>R_{THC}</math></p> <p><math>R_{THA}</math></p> <p><math>R_{THCS}</math></p> <p><math>Z_{THC}</math></p> <p><math>T_{J(max)}</math></p> <p><math>T_C</math></p> <p><math>T_A</math></p>	<p>გამაგრილებლის გამოყენების დროს</p> <p>გამაგრილებლის გარეშე</p> <p>კორპუსსა და გამაგრილებელს შორის კონტაქტის მოცემული პარამეტრების დროს</p> <p>იმპულსის მოცემული ხანგრძლივობის დროს</p> <p>ტემპერატურის დადებითი და უარყოფითი დიაპაზონისთვის</p>
სიმძლავრე	<p>გაბნეული სიმძლავრის მქსიმალური მნიშვნელობა</p> <p>ენერჯის დანაკარგი ჩართვის დროს</p> <p>ენერჯის დანაკარგი გამორთვის დროს</p>	<p><math>P_{max}</math></p> <p>-</p> <p>-</p>	<p><math>P_D</math></p> <p><math>E_{ON}</math></p> <p><math>E_{off}</math></p>	<p>კორპუსის ტემპერატურის მოცემული მნიშვნელობის დროს</p> <p>დატვირთვის და მართვის მოცემული რეჟიმის დროს</p>

ძალური ღღნ გასაღებების დადებითი თვისებებია:

- ღღნ გასაღებში ადგილი არ აქვს მუხტის დაგროვების და გაწოვის ინერციულ პროცესებს, ამიტომ გასაღების ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადართვის სიჩქარე მაღალია. აქედან გამომდინარე, ღღნ გასაღებებს შეუძლიათ ნორმალური ფუნქციონირება გაცილებით უფრო მაღალი სიხშირის დენის გარდამქმნელებში, ვიდრე ბიპოლარულ ტრანზისტორულ გასაღებებს;
- ღღნ გასაღებების მართვის სიმძლავრე გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე ბიპოლარული ტრანზისტორული გასაღებების მართვის სიმძლავრე;
- ღღნ გასაღების დენგამტარი არხის ერთგვაროვნების გამო მისი წინააღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი დადებითი ნიშნისაა. ამის გამო, გასაღების თერმომედეგობა მაღალია და გააჩნია არხში გამავალი დენების სიმკვრივის თვითგათანაბრების უნარი. ამ თვისებებიდან გამომდინარე, გასაღებების

პარალელური შეერთების დროს აღარ არის საჭირო პარალელურ შტოებში დენების გამთანაბრებელი დამატებითი ელემენტების გამოყენება;

ძალური ღდნ გასაღებების სერიოზული ნაკლოვანი მხარეა ის, რომ ღია მდგომარეობის დროს დენგამტარი არხის წინაღობა და ნარჩენი ძაბვა საკმაოდ დიდი სიდიდეა. ამის გამო, გასაღებში სიმძლავრის მნიშვნელოვან დანაკარგს აქვს ადგილი. ამ მახვენებლის მიხედვით იგი მნიშვნელოვნად ჩამორჩება ძალურ ბიპოლარულ ტრანზისტორულ გასაღებს.

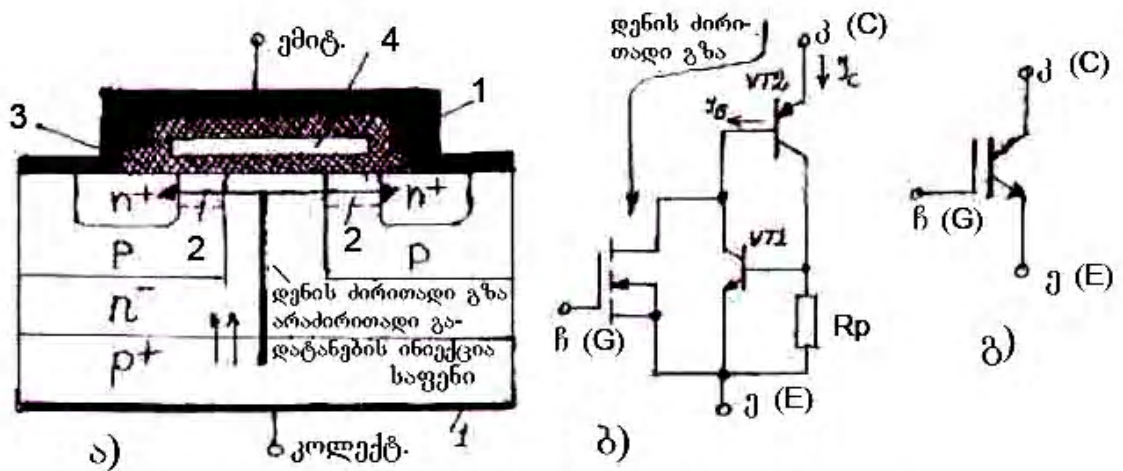
## 1.5. ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორული გასაღები იზოლირებული ბაზით

ამ სახის ხელსაწყო წარმოადგენს ღდნ და ბიპოლარული ტრანზისტორების სტრუქტურათა მონოლითურ კომბინაციას. ხელსაწყოს საბაზო უჯრედი მიიღება შესავალი ღდნ და გამოსავალი ბიპოლარული ტრანზისტორის სტრუქტურათა შერწყმის შედეგად. ასეთი ტექნიკური გადაწყვეტის შედეგად მიღებულ ხელსაწყოში გაერთიანებულია როგორც ბიპოლარული, ისე ღდნ ტრანზისტორის დადებითი თვისებები. საბაზო ელემენტის სტრუქტურაში შემავალი ბიპოლარული ტრანზისტორის ბაზას მმართველი სიგნალი მიეწოდება იზოლირებულჩამკეტიანი ველით მართული ტრანზისტორის საშუალებით. ამის გამო, ამ სახის ხელსაწყოში მიიღო იზოლირებულბაზიანი ბიპოლარული ტრანზისტორის სახელწოდება. მისი შემოკლებული ინგლისური დასახელებაა-IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).

IGBT გასაღების საბაზო უჯრედის სტრუქტურა წარმოდგენილია 14. ა სურათზე, ხოლო 14. ბ სურათზე ნაჩვენებია საბაზო უჯრედის ექვივალენტური სქემა. IGBT გასაღების საბაზო უჯრედს აქვს ღდნ-გასაღების საბაზო უჯრედის ანალოგიური სტრუქტურა. განსხვავება მხოლოდ იმაშია, რომ IGBT გასაღების საბაზო უჯრედის შესრულების დროს  $n^+$ -ტიპის საფენის ნაცვლად გამოყენებულია  $P^+$ -ტიპის საფენი, რის შედეგადაც სტრუქტურაში გაჩნდება ერთი დამატებითი p-n გადასასვლელი. საფენის უკანა ზედაპირის მოლითონების შედეგად მიღებული კონტაქტი ასრულებს კოლექტორის ფუნქციას, რომელსაც გასაღების ღია მდგომარეობაში გადართვის დროს მიუერთდება გარეშე ძაბვის წყაროს პლუსი (ძაბვის წყაროს მინუსი მიუერთდება ემიტერს). ღდნ-საბაზო უჯრედის მსგავსად, გარეშე წყაროს ძაბვა ძირითადად სუსტად ლეგირებულ  $n^+$ -ეპიტაქსიალურ შრეზე მოედება.

იზოლირებულ ჩამკეტზე დადებითი წანაცვლების ძაბვის მიწოდების დროს P-უბნის ზედაპირქვეშა შრეების გამტარობის ინვერსიის გამო, წარმოიქმნება n-

ტიპის დენგამტარი არხი 2 და ემიტერ-კოლექტორის წრედში გაივლის დენი. დენის ძირითადი გზა ნახევანებია 1.4 სურათზე.



სურ. 1.4 IGBT საბაზო უჯრედის სტრუქტურა (ა);  
 ექვივალენტური სქემა (ბ); პირობითი აღნიშვნა(გ)  
 1 - ლითონის შრე; 2- არხი; 3 - დიელექტრიკი;  
 4 - ჩამკეტი.

ამ პროცესთან ერთად, რომელიც ლდნ-სტრუქტურისთვისაცაა დამახასიათებელი, განსახილველი სტრუქტურის საბაზო უჯრედში აღიქვება მუხტების გადანაწილების დამატებითი პროცესი. იმის გამო, რომ კოლექტორის ძლიერლევირებულ P<sup>+</sup>-უბანზე დადებითი ძაბვა მოქმედებს, ადგილი აქვს P<sup>+</sup>-უბნიდან მუხტის არაძირითადი გადამტანების ინტენსიურ ინიექციას n<sup>-</sup> უბანში. ამ უბანში წარმოქმნილი მუხტის არაძირითადი გადამტანების კონცენტრაციის გრადიენტის არსებობის გამო, ხვრელები გადაადგილდებიან n<sup>-</sup>-უბნის სიღრმეში, არხის მახლობლად წარმოქმნიან დადებით მოცულობით მუხტს და ახდენენ არხის წინაღობის შეცვლას (მოდულაციას). აქედან გამომდინარე, ასეთი სტრუქტურის მქონე საბაზო უჯრედმა მიიღო მოდულირებულგამტარობიანი სტრუქტურის სახელწოდება. არხის მოდულაციის გამო მისი წინაღობა გამტარი მდგომარეობის დროს მნიშვნელოვნად მცირდება.

ღია IGBT გასაღებზე სრული ძაბვის ვარდნა (VTI პარაზიტული ტრანზისტორის გაველენას მხედველობაში არ ვღებულობთ) ეტოლება

$$V_{CE(sat)} = V_{BE} + I_B R_{on}, \quad (1.1)$$

p-n-p

სადაც  $V_{BE}$  - p-n-p ტრანზისტორის პირდაპირი წანაცვლების მქონე ემიტერულ გადასასვლელზე არსებული ძაბვის ვარდნაა;

$R_{on}$  - ლდნ - ტრანზისტორის დენგამტარი არხის ომური წინაღობაა;

$I_B$ - p-n-p ტრანზისტორის ბაზის დენია.

მაშასადამე, ღია ტრანზისტორულ გასაღებზე არსებული სრული ძაბვის ვარდნა ორ კომპონენტს შეიცავს:

- ძაბვის ვარდნა p-n-p ტრანზისტორის ემიტერულ გადასასვლელზე, რომელსაც შემდეგში ვუწოდოთ სრული ძაბვის ვარდნის დიოდური მდგენელი;
- ძაბვის ვარდნა ლდნ-ტრანზისტორის არხის წინააღობაზე, რომელსაც შემდეგში ვუწოდოთ სრული ძაბვის ვარდნის ომური მდგენელი.

ერთის მხრივ, ღია IGBT გასაღებზე არსებული სრული ძაბვის ვარდნა არ შეიძლება იყოს ძაბვის ვარდნის დიოდური მდგენელის ზღვრულ მნიშვნელობაზე ნაკლები. მეორეს მხრივ, იგი გამოსავალი დენის (კოლექტორის დენი) და ლდნ-ტრანზისტორის არხის ომური წინააღობის ნამრავლის პროპორციულია. ძაბვის ვარდნის ომური მდგენელი p-n-p ტრანზისტორის ბაზის წრედშია, ხოლო გამოსავალი დენი ამავე დროს p-n-p ტრანზისტორის ემიტერის დენს წარმოადგენს. იმის გამო, რომ ემიტერის დენი ბაზის დენს  $\beta+1$  -ჯერ აღემატება, დენგამტარი არხის მოდულაციის დროს მიიღება გამოსავალი დენის მიმართ არხის წინააღობის  $\beta+1$  -ჯერ შემცირების ეფექტი. ამიტომ (1.1) გამოსახულება შემდეგ სახეს მიიღებს

$$V_{CE}(\text{sat}) = V_{BE} + R_{on} / (1 + \beta) \cdot I_C \quad (1.2)$$

p-n-p

(1.2) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ IGBT გასაღებში პირდაპირი ძაბვის ვარდნის შესამცირებლად შეიძლება ორი მეთოდის გამოყენება: ეპიტაქსიალური შრის ომური წინააღობის შემცირება და p-n-p ტრანზისტორის ბაზის დენის გადაცემის კოეფიციენტის  $\beta$  გაზრდა.

პირველი მეთოდის გამოყენების დროს შემზღვეველ ფაქტორს წარმოადგენს n-შრის გეომეტრიულ ზომებთან დაკავშირებული ფაქტორი, რომელიც ჩაკეტილ გასაღებზე ზღვრულად დასაშვები ძაბვის სიდიდის შემცირებითაა განპირობებული.  $\beta$  გადაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელოვანი გაზრდის დამაბრკოლებელ ფაქტორს კი წარმოადგენს IGBT გასაღების სტრუქტურაში ე.წ. ტრიგერული ეფექტის აღძვრის ალბათობა. საქმე იმაშია, რომ IGBT გასაღების საბაზო უჯრედის სტრუქტურაში შემავალი VT1 და VT2 ტრანზისტორებს შორის (სურ. 14, ბ) არსებობს შინაგანი დადებითი უკუკავშირი (ტირისტორული სტრუქტურის ანალოგიურად). ეს უკუკავშირი განპირობებულია იმით, რომ VT2 ტრანზისტორის კოლექტორის დენი გავლენას ახდენს VT1 ტრანზისტორის ბაზის დენზე, ხოლო VT1 ტრანზისტორის კოლექტორის დენი-VT2 ტრანზისტორის ბაზის დენზე. გარკვეული პირობის შესრულების დროს შეიძლება აღიძვრას გასაღების ჩართვის რეგენერაციული პროცესი, რომელსაც ტრიგერულ ეფექტს უწოდებენ. ტრიგერული ეფექტის ამოქმედებისას IGBT გასაღებიან გარდამქმნელ მოწყობილობებში ადგილი აქვს სერიოზულ ავარიულ რეჟიმს.

ყურადღება უნდა გამახვილდეს IGBT გასაღების საბაზო უჯრედის მუშაობის კიდევ ერთ თავისებურებაზე, რაც იმაში გამოიხატება, რომ პირდაპირი დენის გავლის პროცესში სტრუქტურის ბაზებში გროვდება მუხტის ჭარბი არაძირითადი გადამტანები (ლდნ-საბაზო უჯრედის სტრუქტურაში ასეთ პროცესს ადგილი არ აქვს). ამის გამო, IGBT საბაზო უჯრედის სტრუქტურის ლდნ ნაწილის ელექტრული ველით სწრაფი გამორთვის დროს, n<sup>-</sup>-ბაზის უბანი მოიკვეთება რა გამოსავალი წრედისგან დენგამტარი არხის 2 არარსებობის გამო (სურ. 1.4.), ამ უკანასკნელში დაგროვილი მუხტის არაძირითადი გადამტანების კონცენტრაციის შემცირება, წონასწორულ მდგომარეობაში დასაბრუნებლად, უნდა მოხდეს მხოლოდ მუხტების რეკომბინაციის ხარჯზე. რეკომბინაციის პროცესის ინერციულობის გამო, კოლექტორში დენის შეწყვეტის მომენტი ფაზით ჩამორჩება სტრუქტურის ლდნ ნაწილის გამორთვის მომენტს, ე.ი. გასაღების მართვის წრედიდან გამორთვის შემდეგ დროის გარკვეული ინტერვალის მანძილზე გამოსავალ წრედში (კოლექტორში) იარსებებს ნარჩენი დენი (tail current), რომელიც აუარესებს IGBT გასაღების სიხშირულ თვისებებს (ლდნ გასაღებთან შედარებით).

ძალური იზოლირებულბაზიანი ბიპოლარული გასაღებების დასახასიათებლად პარამეტრთა იგივე სისტემა გამოიყენება, რომელიც ძალური ლდნ გასაღებებისთვის არის დამახასიათებელი (ცხრილი 1.2.). განსხვავება მხოლოდ იმაშია, რომ ღია არხის წინაღობის ნაცვლად ცნობარებში მოცემულია კოლექტორ-ემიტერის გაჯერების ძაბვა  $V_{ЭК НАС} [V_{CE(sat)}]$ , რომელიც განისაზღვრება კოლექტორის დენისა და ჩამკეტის ძაბვის მოცემული მნიშვნელობის დროს. ზოგი დამამზადებელი ფირმა იძლევა აგრეთვე მონაცემებს IGBT გასაღების გაჯერების ძაბვის ცალკეული მდგენელების შესახებ (სტრუქტურის ველიანი და ბიპოლარული ნაწილებისათვის)

$$V_{CE(sat)} = V_{CEP-n} + R_{CE(on)} I_C \quad (1.3)$$

თანამედროვე ძალურ IGBT გასაღებებს შეუძლიათ ნორმალური ფუნქციონირება 1კა-მდე დენზე და რამდენიმე კილოვოლტამდე ძაბვაზე. მუშა სიხშირე 50კჰც-მდეა.

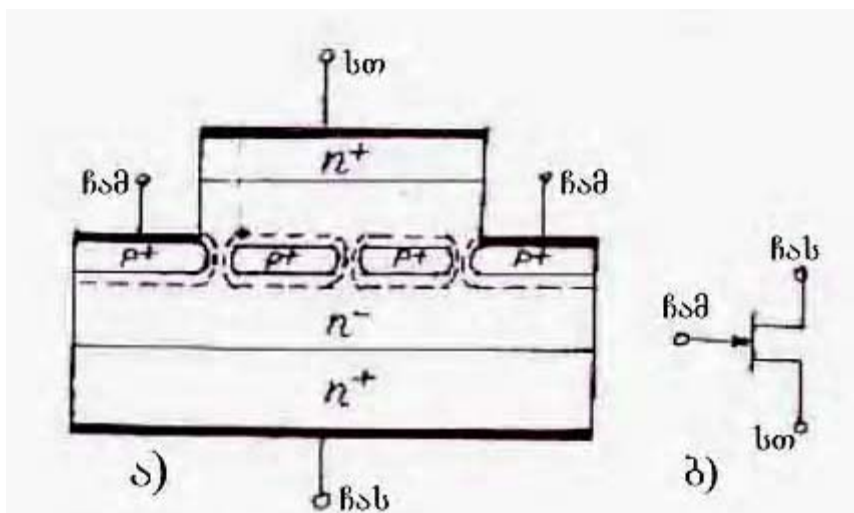
ძალური IGBT გასაღებების დადებითი თვისებებია:

- მცირეა მართვისთვის მოთხოვნილი სიმძლავრე;
- გააჩნიათ დენური გადატვირთვების მიმართ გაზრდილი მდგრადობა;
- მცირეა ღია გასაღებზე სიმძლავრის დანაკარგი;
- გააჩნიათ გაზრდილი სწრაფმოქმედება გადართვების დროს (ძალურ ბიპოლარულ ტრანზისტორულ გასაღებთან შედარებით).

## 1.6. სტატიკური ინდუქციური ტრანზისტორული გასაღები (SIT<sub>r</sub>)

სტატიკური ინდუქციური ტრანზისტორი ფაქტიურად წარმოადგენს p-n გადასასვლელიან ველით მართულ ტრანზისტორს. არსებობს ასეთი ტრანზისტორის საბაზო უჯრედის შესრულების სამი ვარიანტი, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავდებიან მმართველი ელექტროდის (ჩამკეტის) კონსტრუქციული შესრულებით. 1.5.ა სურათზე ნაჩვენებია ჩამალულჩამკეტიანი საბაზო უჯრედის სტრუქტურა. ჩამკეტი განთავსებულია დენგამტარი არხის სიდრმეში და აქვს ბადის ფორმა. ამიტომ მას მმართველ ბადესაც უწოდებენ.

საბაზო უჯრედის დამზადება ხდება სილიციუმის n<sup>+</sup>-ტიპის საფენზე. ამ საფენს წინა ზედაპირზე ეპიტაქსიალური ამოზრდის მეთოდის გამოყენებით შექმნილია n<sup>-</sup> სუსტად ლეგირებული შრე. უჯრედს აქვს ვერტიკალური სტრუქტურა. ჩასადენის კონტაქტი შექმნილია საფენის უკანა ზედაპირის მოლითონების გზით. შემდეგი ტექნოლოგიური ოპერაციების ჩატარებით მიიღება საჭირო გეომეტრიის მქონე P<sup>+</sup>-უბნები (მმართველი ბადე) და სათავის n<sup>+</sup>-უბანი. ტექნოლოგიური პროცესის ბოლო ეტაპზე მოლითონების გზით მიიღება ჩამკეტის და სათავის საკონტაქტო გამომყვანები



სურ. 15 სტატიკური ინდუქციური საბაზო უჯრედის სტრუქტურა (ა); პირობითი აღნიშვნა (ბ)

საბაზო უჯრედის სტრუქტურის გამრღვევი ძაბვის სიდიდე დამოკიდებულია n<sup>-</sup> ეპიტაქსიალური შრის სისქეზე.

ჩამკეტზე უარყოფითი ნიშნის ძაბვის მიწოდებისას მმართველ p<sup>+</sup>-n<sup>-</sup> გადასასვლელების გარშემო წარმოიქმნება მინარევის იონების სივრცული მუხტის

უბანი, რომლის ძირითადი ნაწილი განთავსდება სუსტად ლეგირებულ n<sup>-</sup>-შრეში. სივრცული მუხტის უბნების გადაკვეთისას ადგილი ექნება არხში დენის შეწყვეტას (არხის ჩაკეტვას). როდესაც ჩამკეტზე უარყოფითი წანაცვლების დაბეჭად არ არის მიწოდებული (ჩამკეტის პოტენციალი ნულის ტოლია) არხში გაედინება მაქსიმალური დენი, ე.ი. სტატიკური ინდუქციური ტრანზისტორული გასაღები ნორმალურად ღია გასაღებს წარმოადგენს.

ღია გასაღებზე ნარჩენი დაბეჭადის სიდიდე დამოკიდებულია სუსტად ლეგირებული n<sup>-</sup>-შრის წინაღობაზე, რომელიც დიდი სიდიდისაა. ამიტომ ღია გასაღებზე ნარჩენი დაბეჭადი საკმაოდ მაღალია. ღია გასაღებზე ნარჩენი დაბეჭადის სიდიდის შემცირება შესაძლებელია ჩამკეტზე დადებითი წანაცვლების დაბეჭადის მიწოდებით. ამ შემთხვევაში, ჩამკეტის P<sup>+</sup>-შრიდან ადგილი აქვს მუხტის არაძირითადი გადამტანების ინიექციას n<sup>-</sup>-უბანში, რის შედეგადაც IGBT გასაღების ანალოგიურად, მოხდება არხის წინაღობის მოდულაცია (შემცირება). გასაღების მუშაობის ასეთ რეჟიმს ბიპოლარული რეჟიმი ეწოდება. ბიპოლარული რეჟიმი გამოიყენება დიდ დენებზე და მაღალ დაბეჭადებზე მომუშავე სტატიკურ ინდუქციურ გასაღებებში.

სტატიკური ინდუქციური ტრანზისტორების საექსპლოატაციო პარამეტრებს ახასიათებთ მნიშვნელოვანი გაბნევალობა. ყველაზე სრულყოფილად ასეთი გასაღებების შეფასება შესაძლებელია ძალური ღონ და IGBT გასაღებების პარამეტრთა სისტემით, რომელსაც დამატებული აქვს სპეციალური პარამეტრები, რომლებიც ასახავენ ასეთი გასაღებების ბიპოლარულ რეჟიმში მუშაობას. დამატებითი პარამეტრების სისტემა მოცემულია 1.3. ცხრილში.

ცხრილი 1.3 სტატიკური ინდუქციური ტრანზისტორული გასაღებების დამატებითი პარამეტრები

პარამეტრთა ჯგუფი	პარამეტრის დასახელება	აღნიშვნა	გაზომვის რეჟიმი
მართვის წრედის პარამეტრები	ჩამკეტის პირდაპირი დენის მაქსიმალურად დასაშვები მნიშვნელობა	$I_{3\max}$	იმპულსების ხანგრძლივობის და სიმეხრის მოცემული მნიშვნელობის დროს
	ჩამკეტის პირდაპირი იმპულსური დენის მაქსიმალურად დასაშვები მნიშვნელობა	$I_G$	
ეფექტურობა	ბლოკირების კოეფიციენტი	$\beta$	ჩასადენ-სათავე მაქსიმალური დაბეჭადის დროს

ეფექტურობა	საერთო სათავიანი სქემის დენის გადაცემის სტატიკური კოეფიციენტი  ღია მდგომარეობის წინაღობა ბიპოლარულ რეჟიმში	B  $R_{DS(on)BP}$	ჩასადენის დენის, ჩამკეტის დენისა და ჩასადენი-სათავე ძაბვის მოცემული მნიშვნელობის დროს
დინამიკური პარამეტრები	გაწოვის დრო ბიპოლარულ რეჟიმში	$t_{pacc}$	ჩასადენის და ჩამკეტის დენის მოცემული მნიშვნელობის დროს

სტატიკური ინდუქციური ტრანზისტორული გასაღებები სიმძლავრისეული და დინამიკური პარამეტრების მიხედვით ახლოსაა ბიპოლარულ ტრანზისტორულ გასაღებებთან. გარდა ამისა, ისინი ნორმალურად ღია გასაღებებს წარმოადგენენ, რის გამოც მათი მართვის საიმედოობა დაბალია. ყოველივე ამის გამო, სტატიკური ინდუქციური ტრანზისტორული გასაღებების გამოყენების სფერო საკმაოდ შეზღუდულია.

## 2. სრულად მართვადი ტირისტორული გასაღებები

სრულად მართვადი ეწოდება ტირისტორულ გასაღებს, რომელიც როგორც გახსნილ, ისე ჩაკეტილ მდგომარეობაში გადადის მართვის ელექტროდის საშუალებით. სრულად მართვად ტირისტორებს გამორთვად (ჩაკეტვად) ტირისტორებსაც უწოდებენ, რითაც ხაზგასმულია ის ფაქტი, რომ ჩვეულებრივი, ანუ ერთოპერაციული ტირისტორისგან განსხვავებით, მართვის ელექტროდით შესაძლებელია მათი არა მარტო გახსნა, არამედ ჩაკეტვაც (გამორთვაც).

სრულად მართვადი ტირისტორული გასაღებები მიეკუთვნებიან ყველაზე მძლავრ გასაღებთა ჯგუფს. ამ ჯგუფში შედის: ოროპერაციული (გამორთვადი) ტირისტორი, ინდუქციური ტირისტორი და ველით მართული ტირისტორი. განვიხილოთ ზემოჩამოთვლილი ტირისტორული გასაღებების კონსტრუქციული თავისებურებები და ელექტრული თვისებები.

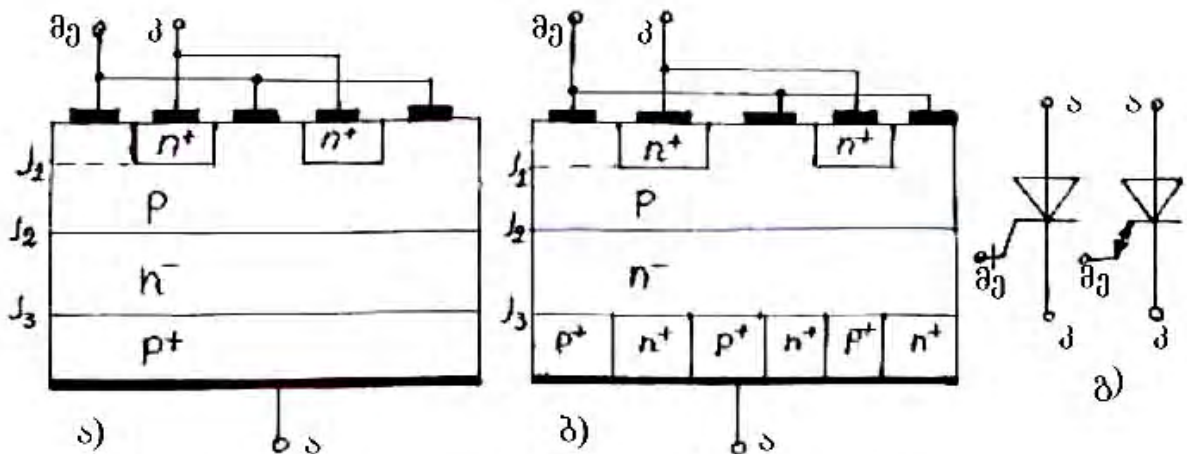
### 2.1. ძალური ოროპერაციული (გამორთვადი) ტირისტორი (GTO)

ძალური ოროპერაციული ტირისტორების დამზადება წარმოებს მრავალარხიანი სტრუქტურის მიხედვით. იგი შეიცავს ერთნაირი თვისების მქონე ელემენტარულ (საბაზო) უჯრედთა დიდ რაოდენობას. ასე მაგალითად, ოროპერაციული

ტირისტორი, რომელიც გათვალისწინებულია 4 კილოამპერი დენის გატარებაზე, შეიცავს 2000 საბაზო უჯრედს. თითოეული უჯრედის მართვის ელექტროდს შეუძლია ჩაკეტოს 2 ა დენი.

ძალური ოროპერაციული ტირისტორული გასადების საბაზო უჯრედის დამზადება ხდება ორი ძირითადი სახის სტრუქტურის მიხედვით, რომლებიც 2.1. სურათზეა ნახვენი. სურათზე წარმოდგენილ ორივე სახის საბაზო უჯრედს აქვს ვერტიკალური სტრუქტურა. კათოდისა და მართვის ელექტროდების საკონტაქტო ლითონის შრეები შექმნილია კრისტალის ერთ ზედაპირზე, ხოლო ანოდის საკონტაქტო ლითონის შრე-კრისტალის საწინააღმდეგო მხარის ზედაპირზე.

საფენად გამოყენებულია სუსტად ლეგირებული (მაღალმური)  $n^-$ -სილიციუმის ფირფიტა, რომლის ურთიერთმოპირდაპირე მხარეს მდებარე ზედაპირებზე აქცეპტორული მინარევის დიფუზიური მეთოდით შეტანის შედეგად მიღებულია ანოდის  $P^+$ -უბანი და  $P$ -ბაზის შრე.  $P$ -შრის ლოკალურ უბნებში დონორული მინარევის დიფუზიით მიიღება კათოდის  $n^+$ -უბნები. ამის შემდეგ კათოდის  $n^+$ -უბნების ზედაპირების მოლითონებით შექმნილია კათოდის საკონტაქტო გამოყვანები, ხოლო  $P$ -ბაზის ზედაპირული უბნების მოლითონებით-ბაზის საკონტაქტო გამოყვანები.



სურ. 2.1 ძალური ოროპერაციული ტირისტორის საბაზო უჯრედის სტრუქტურები (ა, ბ); ოროპერაციული ტირისტორის პირობითი აღნიშვნები (გ)

2.1, ა სურათზე წარმოდგენილ საბაზო უჯრედის სტრუქტურაში ანოდის  $P^+$ -უბანი ერთგვაროვანია. ტირისტორულ გასადებზე უკუძაბვის მოქმედების დროს გარეშე ძაბვა პრაქტიკულად მთლიანად  $J_3$  გადასასვლელზე მოედება, რადგან  $J_2$  გადასასვლელს ამ დროს პირდაპირი წანაცვლება გააჩნია, ხოლო  $J_1$  გადასასვლელის გამრღვევი უკუძაბვა მცირე სიდიდისაა ( $J_1$  გადასასვლელის მცირე სისქის გამო).  $J_3$  გადასასვლელი ძირითადად კონცენტრირებულია  $n^-$  - სუსტად ლეგირებულ უბანში. ამ გადასასვლელის გარღვევისთვის დიდი ძაბვაა საჭირო (გადასასვლელის დიდი სივანის გამო). ამავე დროს, საკმაოდ მაღალია ღია

გასაღებზე ნარჩენი ძაბვისა და სიმძლავრის დანაკარგის სიდიდე. ასეთი სტრუქტურის მქონე ოროპერაციული ტირისტორული გასაღებები გამოიყენება მაღალი ძაბვის დენის გარდამქმნელ მოწყობილობებში, რომლებიც არ საჭიროებენ სქემური კომპონენტის სახით უკუმაშუნტებელ დიოდებს.

2.1, ბ სურათზე წარმოდგენილ საბაზო უჯრედის სტრუქტურაში ანოდის P<sup>+</sup>-შრე არაერთგავროვანია. აქ შექმნილია n<sup>+</sup>-ძლიერლევირებული ლოკალური უბნები, რის შედეგადაც წარმოქმნილი დამატებითი ელექტრული გადასასვლელები ახდენენ J<sub>3</sub> გადასასვლელის განაწილებულ დაშუნტებას უკუძაბვის მოქმედების დროს, ე.ი. ასრულებენ უკუმაშუნტებელი დიოდების ფუნქციას. ასეთი სტრუქტურის მქონე საბაზო უჯრედის დასაშვები უკუძაბვა შედარებით დაბალია, თუმცა გაუმჯობესებულია სხვა ელექტრული თვისებები. ასეთი სტრუქტურის მქონე გასაღების ღია მდგომარეობის ნარჩენი ძაბვა და სიმძლავრის დანაკარგი შედარებით მცირე სიდიდისაა, გააჩნია უკეთესი დინამიკური თვისებები და მცირე გაუონვის უკუდენი. ოროპერაციული ტირისტორული გასაღებები ფართოდ გამოიყენება ძაბვის ავტონომიურ ინვერტორებში.

ძალური ოროპერაციული ტირისტორული გასაღების შერჩევისა და მუშაობის რეჟიმის გაანგარიშების დროს გამოყენებული საცნობარო პარამეტრები მოცემულია 2.1. ცხრილში.

ცხრილი 2.1. ძალური ოროპერაციული ტირისტორების პარამეტრები.

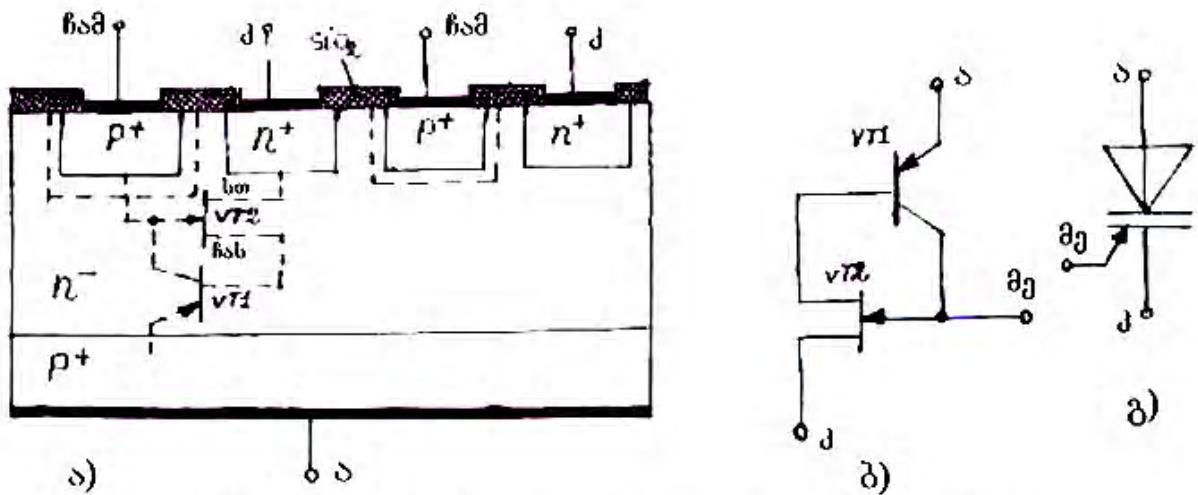
პარამეტრთა ჯგუფი	პარამეტრის დასახელება	აღნიშვნა		გაზომვის რეჟიმი
		რუს.	ინგლ.	
1	2	3	4	5
ანოდური წრედის ძაბვა	მუდმივი პირდაპირი ძაბვა ჩაკეტილ მდგომარეობაში	V <sub>ნოცტ</sub>	V <sub>D</sub>	ანოდური დენის მოცემული მნიშვნელობის დროს
	მუდმივი უკუძაბვა ჩაკეტილ მდგომარეობაში	V <sub>ნოცტ</sub>	V <sub>R</sub>	
	ღია მდგომარეობის ძაბვა	V <sub>ო.ც</sub>	V <sub>T</sub>	
	განმეორებადი (არაგანმეორებადი) იმპულსური პირდაპირი ძაბვა ჩაკეტილ მდგომარეობაში	V <sub>н (V<sub>н.н</sub>)</sub>	V <sub>DRM (V<sub>DSM</sub>)</sub>	
ანოდური წრედის დენი	განმეორებადი იმპულსური ჩასაკეტი დენი	I <sub>П-н</sub>	I <sub>TQRM</sub>	ანოდური ძაბვის და დაცვის წრედის პარამეტრების მოცემული მნიშვნელობის დროს

ანოდური წრედის დენი	საშუალო დენი ღია მდგომარეობის დროს	$I_{CP}$	$I_{T(av)}$	სინუსოიდური ფორმის (60 ჰც სიხშირე)
	დენის მოქმედი მნიშვნელობა ღია მდგომარეობის დროს	$I_{дейст}$	$I_{T(rms)}$	
	არაგანმეორებადი დარტყმის დენი ღია მდგომარეობის დროს	$I_{удар}$	$I_{TSM}$	სინუსოიდური ფორმის ნახევარპერიოდი (60 ჰც სიხშირე)
	შეკავების ანოდური დენი დაცვის მაჩვენებელი	$I_{уд}$ $I^2t$	$I_H$ $I^2t$	სინუსოიდური ფორმის ერთი პერიოდი (60 ჰც სიხშირე)
	ნარჩენი დენის საწყისი მნიშვნელობა გამორთვის დროს	-	$I_{TQT}$	გამორთვის მოცემული რეჟიმის და გადასასვლელის მოცემული ტემპერატურის დროს ანოდური ძაბვის მოცემული მნიშვნელობის დროს
პირდაპირი (უკუ) დენი ჩაკეტილი მდგომარეობის დროს	$I_{YT}$	$I_D(I_R)$		
მართვის წრედის პარამეტრები	იმპულსური პირდაპირი (უკუ) ძაბვა მართვის ელექტროდზე	$V_{YII-max}$ ( $V_{yo max}$ )	$V_{FGM}$ ( $V_{RGM}$ )	
	მართვის ელექტროდის გამღები ძაბვა	$V_{yo}$	$V_{GT}$	
	მართვის ელექტროდის იმპულსური პირდაპირი (უკუ) დენი	-	$I_{FGM}$ ( $I_{RGM}$ )	ანოდური წრედის მოცემული რეჟიმის დროს
	მმართველი გადასასვლელის გამღები დენი	$I_{yo}$	$I_{GT}$	
მმართველი ელექტროდის ჩამკეტი დენის ზრდის სიჩქარე	-	$di_{GQ}/dt$		
დინამიკური პარამეტრები	ჩართვის დაყოვნების დრო	$t_{3 BKЛ}$	$t_{GD}$	
	გამორთვის დრო	$t_{BKЛ}$	$t_{GT}$	
	მართვის ელექტროდის მიხედვით დაყოვნების დრო	-	$t_{GL}$	
	ანოდური დენის კლების დრო მართვის ელექტროდით ჩაკეტვისას	$t_{CI}$	$t_{GF}$	
	მართვის ელექტროდით ჩაკეტვის დრო	$t_B$	$t_{GQ}$	შემავალი და გამოშვებული წრედების მოცემული რეჟიმის დროს

თანამედროვე ძალური ოროპერაციული ტირისტორული გასაღებების სიმძლავრისეული პარამეტრები თანდათან უახლოვდება ერთოპერაციული ტირისტორების ანალოგიურ პარამეტრებს. ასე მაგალითად, იაპონურმა კომპანიამ "mitsubishi Electric" აითვისა ოროპერაციული ტირისტორები 6000 ა დენზე და 6000 ვ მუშა ძაბვაზე. ეს ტირისტორები ნორმალურად ფუნქციონირებენ 20 კპც მუშა სიხშირის დროს. ღია ტირისტორზე ნარჩენი ძაბვა არ აღემატება 6 ვ-ს. ჩაკეტვის კოეფიციენტი 5÷6-ის ფარგლებშია.

## 2.2. ინდუქციური ტირისტორული გასაღები (FCT)

სტატიკური ინდუქციური ტრანზისტორების მსგავსად, არსებობს ინდუქციური ტირისტორის საბაზო უჯრედის შესრულების რამდენიმე ვარიანტი. 2.2. სურათზე ნაჩვენებია ინდუქციური ტირისტორის საბაზო უჯრედის შესრულების ერთ-ერთი სტრუქტურული ვარიანტი-საბაზო უჯრედი მართვის ელექტროდის ზედაპირული შესრულებით.



სურ. 2.2 ინდუქციური საბაზო უჯრედის სტრუქტურა (ა);  
საბაზო უჯრედის ექვივალენტური სქემა (ბ);  
ინდუქციური ტირისტორის პირობითი აღნიშვნა (გ)

საფენი წარმოადგენს P<sup>+</sup>-ტიპის სილიციუმის ფორფიტას (ინდუქციურ ტრანზისტორში საფენად n<sup>+</sup>-ტიპის სილიციუმი იყო გამოყენებული). საფენის უკანა ზედაპირი მოლითონებულია და გაკეთებული აქვს ანოდის საკონტაქტო გამომყვანი. საფენის წინა ზედაპირზე ფორმირებული შრეების განლაგება პრაქტიკულად ინდუქციური ტრანზისტორული ვარიანტის განმეორებას წარმოადგენს. აქ

განთავსებულია: სუსტად ლეგირებული  $n^-$ -ეპიტაქსიალური შრე, მართვის ელექტროდის ზედაპირული  $P^+$ -უბნები და კათოდის  $n^+$ -უბნები. სტრუქტურაში შემავალი და მორიგეობით განლაგებული ოთხი სხვადასხვა ტიპის გამტარობის მქონე უბნების არსებობამ განაპირობა ხელსაწყო დასახელება-ტირისტორი. ასეთი ტირისტორული გასაღების საბაზო უჯრედი წარმოადგენს p-n-p ტიპის ტრანზისტორისა (VT1) და p-n გადასასვლელიანი n-არხიანი ველით მართული ტრანზისტორის (VT2) კომბინაციას (სურ. 2.2, ბ). ინდუქციური ტირისტორის პირობითი აღნიშვნა 2.2, ბ სურათზეა ნაჩვენები.

ინდუქციურ ტირისტორში, ერთ და ოროპერაციული ტირისტორისგან განსხვავებით, არ არსებობს შინაგანი დადებითი უკუკავშირი და გაღების რეგენერაციული ინერციული პროცესი. ამის გამო, ინდუქციურ ტირისტორულ გასაღებს შეუძლია დიდი სიდიდის დენების მაღალი სიჩქარით გადართვა, ე.ი. იგი სწრაფმოქმედი გასაღებია.

ინდუქციური ტირისტორული გასაღები ნორმალურად ღია გასაღებს წარმოადგენს. როდესაც მართვის ელექტროდს ნულის ტოლი პოტენციალი აქვს, ხოლო ანოდს-დადებითი პოტენციალი, მაშინ  $P^+$ -ანოდური უბნიდან  $n^-$ -ეპიტაქსიალურ შრეში ინიექცირებული ხვრელების მოცულობითი მუხტი ახდენს  $n^-$ -სუსტად ლეგირებული შრის გამტარობის მოდულაციას (გამტარობის გაზრდას). სტრუქტურაში (სურ. 2.2, ა) შემავალი VT2 ველით მართული ტრანზისტორის დენგამტარი არხის წინაღობა მცირდება, ხოლო VT1 ბიპოლარული ტრანზისტორი გადადის გაჯერების რეჟიმში. ტირისტორში გაივლის ღია მდგომარეობის შესაბამისი დენი, რომლის გზაზე მხოლოდ ერთი  $p^+-n^-$  დაგასასვლელია. ამიტომ, ინდუქციურ ტირისტორულ გასაღებზე ღია მდგომარეობის ნარჩენი ძაბვა მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვიდრე ერთ და ოროპერაციულ ტირისტორულ გასაღებებზე, რაც ასეთი გასაღების მნიშვნელოვანი დადებითი თვისებაა. ინდუქციური ტირისტორული გასაღების მნიშვნელოვანი დადებით თვისებას წარმოადგენს ისიც, რომ ღია გასაღების წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი დადებითი ნიშნისაა. ამის გამო, ადგილი აქვს გასაღების სტრუქტურაში შემავალი ელემენტარული უჯრედების დენების თვითგათანაბრების ეფექტს. ინდუქციურ ტირისტორულ გასაღებს გააჩნია გაზრდილი თერმომედეგობა პიკური დენური გადატვირთვების მიმართ.

ინდუქციური ტირისტორული გასაღების შემდეგი დადებითი თვისებაა ის, რომ დენგამტარი არხის გამტარობის გასაზრდელად და ღია მდგომარეობის ნარჩენი ძაბვის შესამცირებლად არ არის საჭირო მართვის ელექტროდში დენის გატარება (რაც ინდუქციური ტრანზისტორული გასაღებისთვისაა საჭირო). ამიტომ, ინდუქციური ტირისტორული გასაღებების მართვის წრედი, ძალური ღდნ გასაღებების მსგავსად, მოითხოვს მცირე სიმძლავრეს.

ზემოაღნიშნული დადებითი თვისებების მიუხედავად, ინდუქციურმა ტირისტორულმა გასაღებებმა ჯერ-ჯერობით ვერ ჰპოვეს ფართო პრაქტიკული გამოყენება. ამის მიზეზი, ერთის მხრივ, ისაა, რომ მათ გააჩნიათ დამზადების რთული ტექნოლოგია. მეორეს მხრივ, იმის გამო, რომ იგი ნორმალურად ღია გასაღებია, გააჩნია მართვის დაბალი საიმედოობა. ინდუქციური ტირისტორული გასაღების ჩაკეტილი მდგომარეობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია მართვის ელექტროდზე უარყოფითი წანაცვლების ძაბვის (10-20ვ) უწყვეტი შენარჩუნება. უარყოფითი წანაცვლების ძაბვის ხანმოკლე გამორთვის შეუძლია გამოიწვიოს ასეთ გასაღებებზე მომუშავე გარდამქმნელ მოწყობილობებში კატასტროფული ავარიული პროცესები.

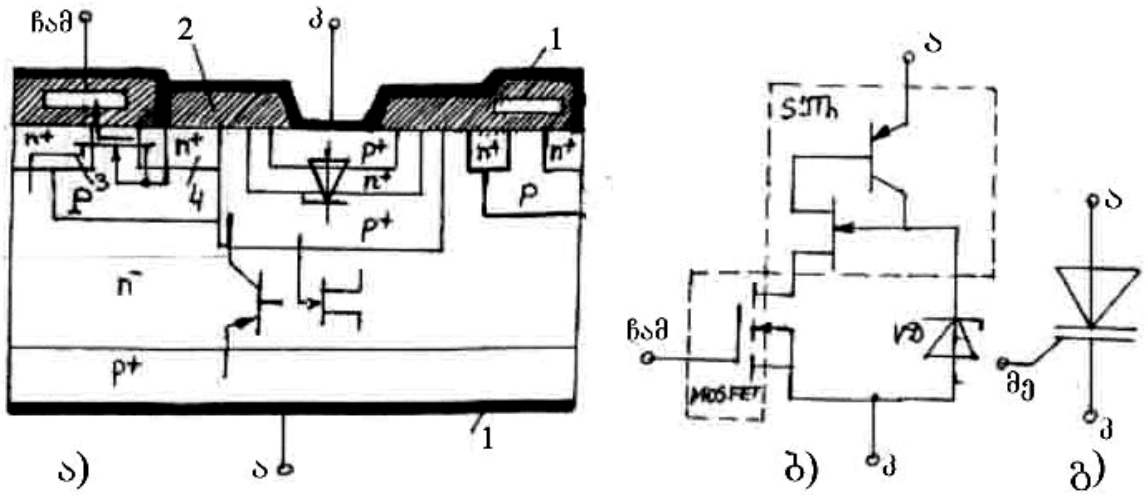
წამყვანი ფირმების ძალისხმევა მიმართულია ინდუქციური ტირისტორული გასაღების აღნიშნული ნაკლოვანი მხარის გამოსასწორებლად. უკვე შექმნილია ნორმალურად ჩაკეტილ ინდუქციურ ტირისტორულ გასაღებთა რამდენიმე ვარიანტი, თუმცა, მათი დამზადება დიდ ტექნოლოგიურ სირთულეებთან აღმოჩნდა დაკავშირებული.

### 2.3. ველით მართული ტირისტორული გასაღები (MCT)

ველით მართული ტირისტორები წარმოადგენენ ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების ახალ კლასს. ამ სახის გასაღების სტრუქტურაში ინტეგრებულია ინდუქციური ტირისტორი და იზოლირებულჩამკეტიანი ველით მართული ტრანზისტორი. გასაღების მართვა ხორციელდება ველით მართული ტრანზისტორის საშუალებით და ამის გამო იგი წარმოადგენს ნორმალურად ჩაკეტილ გასაღებს. ამავე დროს, მას გააჩნია ინდუქციური ტირისტორისთვის დამახასიათებელი დადებითი თვისებები.

მონოლითურმა ნახევარგამტარულმა სტრუქტურამ, რომელშიც ინტეგრებულია მმართველი ღდნ ტრანზისტორისა და ინდუქციური ტირისტორის სტრუქტურები, მიიღო კომბინირებული ტრანზისტორულ-ტირისტორული სტრუქტურის სახელწოდება-MCT (MOS Composite SIT<sub>n</sub>). ასეთი გასაღების საბაზო უჯრედის სტრუქტურა წარმოადგენილია 2.3, ა სურათზე. 2.3, ბ სურათზე კი ნაჩვენებია საბაზო უჯრედის ეკვივალენტური სქემა და MCT გასაღების პირობითი აღნიშვნა.

მმართველ ღდნ ტრანზისტორულ სტრუქტურაში შედის ძლიერლევირებული n<sup>+</sup>-სათავისა (4) და ჩასადენის (3) უბნები. სათავე დაკავშირებულია საბაზო უჯრედის კათოდის საკონტაქტო გამოყვანთან. ღდნ ტრანზისტორში იმ შემთხვევაში გაივლის დენი, თუ ჩამკეტზე მიწოდებული დადებითი ძაბვა აღემატება P-შრის გამტარობის ინვერსიისთვის საჭირო ზღურბლურ მნიშვნელობას. ამ დროს ღდნ



სურ. 2.3 ველით მართული ტირისტორული გასაღების (MCT) საბაზო უჯრედის სტრუქტურა (ა); ეკვივალენტური სქემა (ბ); ველით მართული ტირისტორის პირობითი აღნიშვნა (გ). 1-ლითონის შრე; 2-დიელექტრიკის შრე; 3-ლენ ტრანზისტორის ჩასადენი; 4-ლენ ტრანზისტორის სათავე.

ტრანზისტორის ჩასადენი, რომელიც უშუალო კავშირშია  $n^-$ -ეპიტაქსიალურ შრესთან, საბაზო უჯრედის კათოდთან აღმოჩნდება მიერთებული. მაშასადამე, საბაზო უჯრედის ანოდსა და კათოდს შორის დენი გაივლის მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ლენ ტრანზისტორის ჩამკეტზე ზღურბლურზე მეტი სიდიდის ძაბვა მოქმედებს, ე.ი. ასეთი სტრუქტურის მქონე უჯრედი ნორმალურად ჩაკეტილი გასაღებია.

საბაზო უჯრედის ცენტრალურ ნაწილში მოთავსებულია ინდუქციური ტირისტორის მართვის ელექტროდის (ჩამკეტის)  $P^+$ -უბანი. ეს უკანასკნელი კათოდის ლითონურ შრეს უკავშირდება ჩაშენებული  $p^+-n^+$  გადასასვლელით. სქემოტექნიკური თვალსაზრისით ეს გადასასვლელი წარმოადგენს  $(1,5 \div 2,5)\mu$  მუშა ძაბვის მქონე სტაბილიტრონს. ასეთი სტრუქტურული ერთეულის დამატება აუმჯობესებს საბაზო უჯრედის დინამიკურ მახასიათებლებს გაღების პროცესში და ხელს უწყობს გასაღების ღია მდგომარეობის შენარჩუნებას ანოდური დენის დიდი სიმკვრივის დროს. MCT გასაღების დადებითი თვისებაა ის, რომ არ არსებობს უშუალო კავშირი ანოდურ და მართვის (ლენ ტრანზისტორის ჩამკეტი) წრედებს შორის.

დამუშავებულია MCT გასაღების საბაზო უჯრედის სხვადასხვა ვარიანტი:  $n^-$ - და  $p^-$ -არხიანი ლენ ტრანზისტორით, ძაბვის შეკავების (ბლოკირების) სიმეტრიული და არასიმეტრიული თვისებით, გაღების ოპტიკური მეთოდით და სხვა. თუმცა, ყველა მათგანს გააჩნია ერთი საერთო თვისება: გასაღების ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადართვა ხორციელდება სტრუქტურაში ინტეგრებული ლენ ტრანზისტორით.

ძალური MCT გასაღების საქსპლოტაციო პარამეტრები ოროპერაციული ტირისტორების პარამეტრების ანალოგიურია. გარკვეული განსხვავებაა მხოლოდ მართვის წრედის პარამეტრთა ჯგუფში.

MCT გასაღებების სიმძლავრისეული პარამეტრები (მუშა ძაბვა და დენი) შესაბამისობაშია ერთ და ოროპერაციული ტირისტორული ანალოგიების სიმძლავრისეულ პარამეტრებთან.

### 3. ნახევარგამტარული გასაღებების ზღვრული პარამეტრები

ძალური გასაღების მუშაობის ზღვრულად დასაშვები რეჟიმი განისაზღვრება მაქსიმალურად დასაშვები ძაბვით და დენით, გაბნეული სიმძლავრის მაქსიმალური მნიშვნელობით, გადასასვლელების და კორპუსის მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურით.

ძაბვის ზღვრული მნიშვნელობა შეზღუდულია გასაღების სტრუქტურაში ამა თუ იმ სახის გარღვევის განვითარების გამო: მოცულობითი მუხტის ზონების მირთვა, ზვავური და ზედაპირული გარღვევა. თანამედროვე ძალური გასაღებების სტრუქტურაში განმსაზღვრელი როლი ზვავურ გარღვევას გააჩნია, რადგან მასთან დაკავშირებულია მუხტის გადამტანების უკონტროლო გამრავლების პროცესი.

გასაღების მაქსიმალურად დასაშვები დენის სიდიდე დამოკიდებულია: გადასასვლელების მაქსიმალურად დასაშვებ მუშა ტემპერატურაზე, კონსტრუქციულ შესრულებაზე (გამომყვანების და კონტაქტების საიმედოობაზე), აგრეთვე გასაღების მაძლიერებელი თვისების ცვლილების დიაპაზონზე მოცემული დენური დატვირთვის პირობებში.

ნახევარგამტარული გასაღების გადასასვლელებისა და კორპუსის მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურა განისაზღვრება ფუძე მასალის ფიზიკური თვისებებით. იგი დამოკიდებულია აგრეთვე გადასასვლელების სტრუქტურაზე და კონსტრუქციაზე.

ბიპოლარული ტრანზისტორების და სტატიკური ინდუქციის პრინციპზე მომუშავე ტრანზისტორების მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურა რამდენადმე მაღალია, ვიდრე ძალური ლდნ და IGBT ტრანზისტორების დასაშვები ტემპერატურა.

რეგენერაციულ ეფექტზე მომუშავე ტირისტორულ გასაღებებს შეუძლიათ ნორმალური ფუნქციონირება  $(125\div 140)^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე. ინდუქციური ტირისტორული სტრუქტურის მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურა  $200^{\circ}\text{C}$  აღწევს.

ნახევარგამტარული გასაღების მუშაობის მინიმალური ტემპერატურის ზღვარის დადგენა ხდება იმის მიხედვით, რომ არ მოხდეს ხელსაწყო კონსტრუქციის დაშლა და ელექტრული მახასიათებლების მნიშვნელოვანი გაუარესება. მინიმალური ტემპერატურის ზღვარი ძირითადად შემოიფარგლება  $(-40\pm-60)^{\circ}\text{C}$ -ით.

ნახევარგამტარული გასაღების მიერ გაბნეული მაქსიმალური სიმძლავრე დამოკიდებულია მისი სტრუქტურის სითბურ წინაღობაზე, რომელიც ამ სიმძლავრეს აკავშირებს გადასასვლელებს ტემპერატურასთან. ტემპერატურის კავშირს გასაღების სტრუქტურაში გამოყოფილ სიმძლავრესთან განსაზღვრავს სითბოს წართევების მეთოდი და გამაგრილებლის კონსტრუქცია.

ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების ზღვრული შესაძლებლობების თვალსაჩინოდ წარმოდგენის მიზნით გამოიყენება უსაფრთხო რეჟიმების არეს (ურა) ამსახველი დიაგრამა, რომელსაც მაქსიმალური რეჟიმების არესაც უწოდებენ (SOA-Safe Operation Area),

### 3.1. უსაფრთხო რეჟიმების არე (ურა)

უსაფრთხო რეჟიმების არე (ურა) ეწოდება ელექტრულ მახასიათებელთა ერთობლიობას, რომელთა შენარჩუნების შემთხვევაში უზრუნველყოფილია ნახევარგამტარული გასაღების საიმედო მუშაობა, მისი პარამეტრებისა და მახასიათებლების მნიშვნელოვანი გაუარესების გარეშე. ურა-ს საზღვრები განისაზღვრება გამოსავალი დენით, ძაბვით, მაქსიმალური გაბნეული სიმძლავრით და გადასასვლელების დასაშვები ტემპერატურით.

ნახევარგამტარული გასაღებების ნორმალური ფუნქციონირება დამოკიდებულია ექსპლოატაციის რეჟიმებზე. ამის გამო, მიზანშეწონილია ცალ-ცალკე იქნეს განხილული:

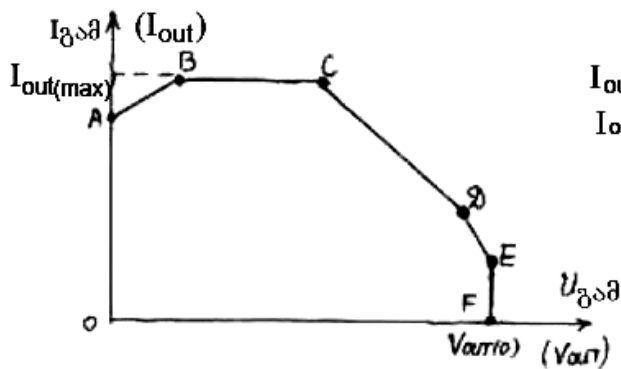
- ურა პირდაპირი წანაცვლების დროს (პურა) (FBSOA-Forward Bias SOA)-ექსპლოატაციის რეჟიმი გასაღების შესავალი წრედის დადებითი ძაბვით წანაცვლების დროს;
- ურა უკუწანაცვლების დროს (ურა)(RBSOA-Reverse Bias SOA)-ექსპლოატაციის რეჟიმი გასაღების შემავალი წრედის უარყოფითი ძაბვით წანაცვლების დროს;
- ურა დენური გადატვირთვის რეჟიმში (SCS OA-Short Circuit SOA).

პურა-ს დიაგრამის ტიპური სახე 3.1. სურათზეა ნაჩვენები. დიაგრამის პორიზონტალური უბანი BC შეესაბამება გამოსავალი დენის ( $I_{out}$ ) მაქსიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობას, ხოლო ვერტიკალური უბანი-EF-გასაღების გათიშული შემავალი წრედის შემთხვევაში (ყველაზე მძიმე რეჟიმი) გამოსავალი ძაბვის

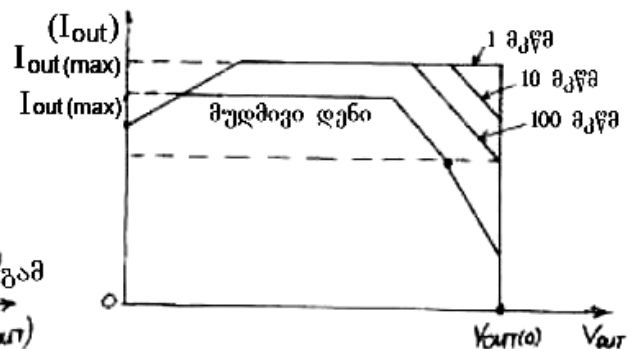
ზღვრულ (დასაშვებ) მნიშვნელობას ( $V_{out}$ ). აღნიშნულ სიდიდეებზე ხანმოკლე და მცირედი გადამტეხვაც კი იწვევს გასაღების სტრუქტურის შეუქცევად დაზიანებას.

დიაგრამის AB მონაკვეთი განსაზღვრავს გაჯერების ძაბვის მინიმალურად შესაძლო მნიშვნელობას დატვირთვის დენის მოცემულ მნიშვნელობაზე. ასეთი შეზღუდვა პრაქტიკულად არ არსებობს ბიპოლარულგამტარობიან გასაღებებში, დანგამტარი ბაზური შრეების წინაღობის მაღალი დონის მოდულაციის პირობებში.

დიაგრამის დახრილი CD მონაკვეთის საზღვრები განისაზღვრება გასაღების სტრუქტურაში გამოყოფილი იმ ზღვრული სიმძლავრით, რომლის დროსაც გადასასვლელის ტემპერატურა მიაღწევს მაქსიმალურად დასაშვებ  $T_{j(max)}$  მნიშვნელობას. იმის გამო, რომ დენის გავლის ხანგრძლივობის შემცირებისას გასაღების დენური გადატვირთვის უნარი იზრდება, ამით იზრდება პურა-ს



სურ. 3.1 პირდაპირწინააღმართული გასაღების უსაფრთხო რეჟიმების არეს დიაგრამის ტიპური სახე მუდმივი დენის რეჟიმში



სურ. 3.2 პირდაპირწინააღმართული გასაღების უსაფრთხო რეჟიმების არეს დიაგრამა ძალური დენის სხვადასხვა ხანგრძლივობის დროს

საზღვრები ზღვრული ძაბვის უცვლელი სიდიდის დროს. როდესაც გამოშვებული დენის ხანგრძლივობა 10 მკ წმ-ზე ნაკლებია ურბ-ის დიაგრამა დებულობს სწორკუთხა ფორმას და შემოფარგლულია გასაღების მაქსიმალურად დასაშვები იმპულსური დენით  $I_{OUT.P(max)}$  და ზღვრული გამოსავალი ძაბვით  $V_{OUT.0}$  (სურ. 3.2).

მუშა წერტილის გამოსვლა პურა-ს ფარგლებს გარეთ ბიპოლარული გასაღებებში მუშა დენის შედარებით მცირე და გამოსავალი ძაბვის დიდი მნიშვნელობის დროს უფრო სახიფათოა, ვიდრე დიდი დენისა და შედარებით მცირე ძაბვის დროს. გამოსავალი დენის გარკვეულ კრიტიკულ მნიშვნელობაზე უფრო მეტად შემცირებისას, ბიპოლარული გასაღების სტრუქტურაში აღიძვრება ელექტროსითბური უკუკავშირი, რაც მეორეული გარღვევის მიზეზი ხდება. ასეთი გარღვევის ფიზიკურ მიზეზს გამოსავალი დენის ლოკალიზაციის ეფექტი წარმოადგენს, რის შედეგადაც გასაღების სტრუქტურაში ჩნდება ე.წ. “ცხელი წერტილები” და ადგილი აქვს სტრუქტურის სითბურ დაშლას (განადგურებას). თუ ტექნოლოგიური პროცესის არაიდეალურობის გამო, გასაღების ელემენტარულ საბაზო უჯრედებში დენი არათანაბრად განაწილდა, მაშინ ზოგიერთი უჯრედი

(რომელშიც მეტი დენი გაივლის) დიდ ტემპერატურამდე ცხელდება. ვინაიდან ბიპოლარული სტრუქტურების ღია მდგომარეობის წინააღმდეგ უარყოფითი ტემპერატურული კოეფიციენტი გააჩნია, მეტ ტემპერატურამდე გაცხელებულ უჯრედებში კიდევ უფრო მეტი სიდიდის დენი გაივლის, რაც, თავის მხრივ, კიდევ უფრო გაზრდის სტრუქტურის ლოკალურ გადახურებას და ა.შ. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, პურა დამატებით იზღუდება დიაგრამაზე ნაჩვენები DE მონაკვეთით (სურ. 3.1). გამოსავალი დენის ზღვრული მნიშვნელობა, რომლის დროსაც გასაღების სტრუქტურაში თერმული არასტაბილობა იწყებს განვითარებას, დენის ხანგრძლიობაზე პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული.

მეორეული გარღვევის დენის ზღვრული მნიშვნელობა (გარღვევის საზღვარი)

$$I_{OUT} = a (V_{OUT})^n, \quad (3.1)$$

სადაც  $a$ ,  $n$ - გასაღების სტრუქტურასა და ტექნოლოგიაზე დამოკიდებული პარამეტრებია.

ველით მართულ და კომბინირებულ გასაღებებს გააჩნიათ ღია მდგომარეობის წინააღმდეგ დადებითი ტემპერატურული კოეფიციენტი. ამიტომ, ასეთ გასაღებებში არ არსებობს ელექტროსითბური უკუკავშირი და მასთან დაკავშირებული მეორეული გარღვევის უარყოფითი მოვლენა. ასეთი გასაღებების ცალკეული უჯრედის დენური გადატვირთვით გამოწვეული ტემპერატურის გაზრდა გამოიწვევს მათი წინააღმდეგობის გაზრდას და დენის ავტომატურ შემცირებას, ე.ი. ასეთი გასაღებების სტრუქტურაში მოქმედებს დენების თვითგათანაბრების მექანიზმი. აქედან გამომდინარე, ასეთი გასაღებები ხასიათდებიან გაზრდილი თერმომედეგობით. თუმცა, არც ასეთი გასაღებებია სრულად დაზღვეული თერმომედეგობის დარღვევისგან. საქმე იმაშია, რომ უწყვეტი გამოსავალი დენის გაზრდისას ტემპერატურის მომატებით გამოწვეული წინააღმდეგობის სწრაფი ზრდა იწვევს ხელსაწყოში სიმძლავრის მნიშვნელოვან დანაკარგს

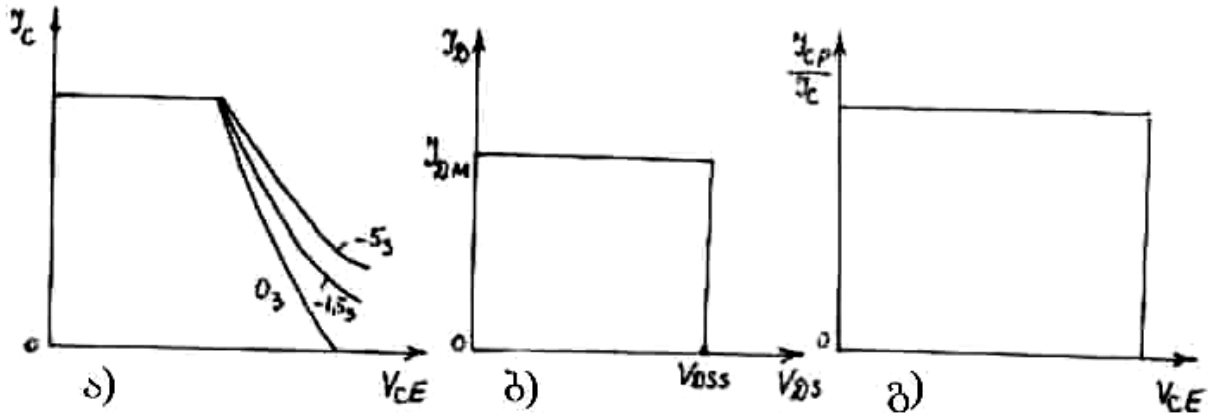
$$P = I_{OUT}^2 r_{on}(T), \quad (3.2)$$

სადაც  $r_{on}$ -ტემპერატურაზე დამოკიდებული ღია გასაღების შიგა წინააღმდეგობაა.

სიმძლავრის ეს დანაკარგი იწვევს კრისტალის ტემპერატურის მკვეთრ გაზრდას და მეორეული გარღვევის ანალოგიური მოვლენის განვითარებას. მისი აღმოფხვრის ერთ-ერთი გზაა სითბოს წამრთმევის (რადიატორის) გამოყენება. თერმული მდგრადობის დარღვევა ამ სახის გასაღებებში შეიძლება გამოიწვიოს აგრეთვე არასწორმა ექსპლოატაციამ (დენური გადატვირთვები, მაღალი ტემპერატურა, გამომავალი ძაბვის ნახტომისებური ცვლილება და სხვა), რომლის დროსაც შესაძლებელია მოხდეს გასაღების სტრუქტურაში შემავალი პარაზიტული  $n-p-n$  ტრანზისტორის ჩართვა და მეორეული გარღვევის ანალოგიური ეფექტის წარმოქმნა.

ნახევარგამტარული გასაღების ჩაკეტვის დროს უსაფრთხო მუშაობის შესაფასებლად გამოიყენება უკუწანაცვლებული გასაღების უსაფრთხო რეჟიმების

არეს (უურა) ამსახველი დიაგრამა. თუ გასაღების ჩასაკეტად უარყოფითი წანაცვლების მიწოდება საჭირო არ არის (მაგალითად, ძალური ღღნ ტრანზისტორები ან IGBT გასაღები), მაშინ ასეთ ურა-ს უწოდებენ გამორთვის უსაფრთხო რეჟიმის არეს (უურა) (Turn-off switching SOA). ტრანზისტორული გასაღებების უურა-ს დიაგრამები 3.4. სურათზეა ნახვენები.



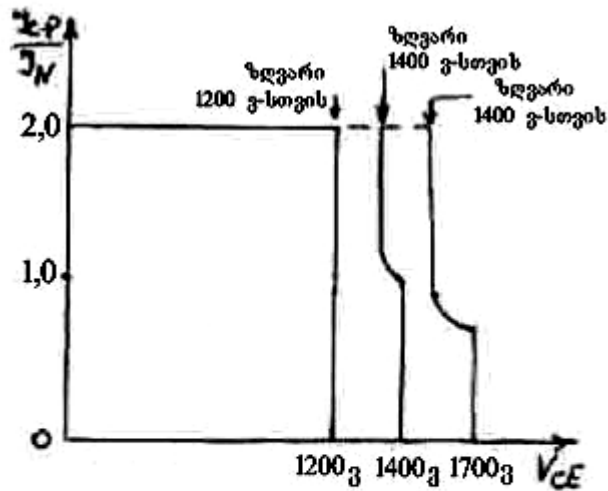
სურ. 3.4 უურა: ბიპოლარული ტრანზისტორისთვის ბაზის წრედის უარყოფითი ძაბვით წანაცვლების დროს (ა); ძალური ღღნ ტრანზისტორისთვის (ბ); IGBT გასაღებისთვის (გ)

ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორებისა და ბიპოლარულ რეჟიმში მომუშავე ინდუქციური ტრანზისტორებისთვის მთავარ შემზღუდველ ფაქტორს წარადგენს ემიტერის ცენტრალურ ნაწილში ენერგიის ლოკალიზება უარყოფითი ბაზური დენით ჩაკეტვის დროს. ამ ეფექტს მეორეულ გარღვევასაც უწოდებენ ბაზა-ემიტერის გადასასვლელის უკუწანაცვლების დროს. სითბური არასტაბილობის უბნის საზღვარი დამოკიდებულია ბაზის ჩამკეტი დენის ამპლიტუდაზე და უარყოფითი წანაცვლების ძაბვაზე.

ძალურ ღღნ ტრანზისტორებში, აგრეთვე ველიან სტატიკურ ინდუქციურ ტრანზისტორებში, მეორეული გარღვევის ეფექტის არარსებობის შემთხვევაში უურა-ს დიაგრამა მართკუთხედის ფორმისაა. გარკვეული შეზღუდვა შეიძლება დაკავშირებული იყოს მაღალძაბვიანი ტრანზისტორების სტრუქტურაზე  $dv/dt$  ეფექტის გავლენასთან. ამიტომ, ამ პარამეტრმა არ უნდა გადააჭარბოს ცნობარში მითითებულ სიდიდეს.

IGBT გასაღების ჩაკეტვის დროს ძირითადი ყურადღება უნდა დაეთმოს ტრანზისტორის სტრუქტურაში ტრიგერული ეფექტის აღქმის შესაძლებლობას. IGBT გასაღების გამორთვის გარდამავალი პროცესის დამამთავრებელ სტადიაზე ნარჩენი დენი განისაზღვრება p-n-p ტრანზისტორის ბაზაში დაგროვილი ხვრელების რეკომბინაციით. გამოსავალ წრედში ძაბვის გაზრდის დროს ხვრელების ნაწილი გადადის IGBT სტრუქტურის პარაზიტული n-p-n ტრანზისტორის ბაზაში. თუ ამ ტრანზისტორის p-ბაზის შრის გრძივ წინაღობაზე ( $R_p$ ) წარმოიქმნა კრიტიკული

სიდიდის წანაცვლება, მაშინ აღიძვრება ტრიგერული ეფექტი, რომელიც თავისი არსით მეორეული გარღვევის ეფექტის ანალოგურია. ეს პრობლემა 1200 ვ-მდე მუშაობის მქონე IGBT გასაღებებში გადაჭრილია ტექნოლოგიურ დონეზე-საბაზო უჯრედის სტრუქტურის გეომეტრიის ოპტიმიზაციის ხარჯზე, ხოლო უფრო მაღალი ძაბვის IGBT გასაღებების უურა-ში უნდა განხორციელდეს სათანადო შეზღუდვა (სურ. 3.3).



სურ. 3.3 მაღალი ძაბვის IGBT გასაღების უურა-ს დიაგრამა.  $I_{C,P}$ -ტრანზისტორის ნომინალური დენი

ვინაიდან გამორთვის გარდამავალი პროცესი შედარებით სწრაფად მიმდინარეობს, უურა-ს დენის ზღვრული მნიშვნელობის დადგენა ხდება მაქსიმალური იმპულსური დენის ( $I_{C,P}$ ) მიხედვით. ზღვრული ძაბვის დადგენა კი ისე, როგორც პურა-სთვის.

## 4. ნახევარგამტარული გასაღებების სიბური მახასიათებლები

ძალურ ნახევარგამტარულ გასაღებებში დანაკარგების ჯამურ სიმძლავრეს ან ენერგიას განსაზღვრავს შემდეგი ძირითადი მდგენელები:

- გასაღების გადართვისთვის საჭირო დენებთან და ძაბვებთან დაკავშირებული დანაკარგები მართვის წრედში;
- გამოსავალი წრედის ძაბვით და გაქონვის დენით განპირობებული დანაკარგი გასაღების ჩაკეტილი მდგომარეობის დროს;
- დატვირთვის დენით და ნარჩენი ძაბვით განპირობებული სტატიკური დანაკარგი გასაღების ღია მდგომარეობის დროს;
- დინამიკური, ანუ გადართვების დროს არსებული დანაკარგები.

თანამედროვე ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების გაქონვის დენები მეტად მცირე სიდიდისაა. ამის გამო, მასთან დაკავშირებული დანაკარგის უგულველყოფა სავსებით შესაძლებელია. ანალოგიურად შეიძლება ძალური ველით მართული გასაღებების (ლდნ და მმართველი p-n გადასასვლელით) მართვის წრედში არსებული დანაკარგების უგულველყოფა. დატვირთვის დიდი დენების დროს გაჯერების რეჟიმში მომუშავე ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორული გასაღებისთვის კი ასეთი დაშვების გაკეთება აღარ შეიძლება, რადგან დენის გადაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელოვანი შემცირების გამო, მართვის წრედში არსებული სიმძლავრის დანაკარგი თითქმის უთანაბრდება კოლექტორულ გადასასვლელზე არსებულ სიმძლავრის დანაკარგს.

ძალურ ნახევარგამტარულ გასაღებებში არსებული სიმძლავრის დანაკარგი გარდაიქმნება სითბოდ და გასაღების სტრუქტურა ცხელდება. გასაღების სტრუქტურის იმ უბნების ადგილმდებარეობა, სადაც სითბოს გამოყოფას აქვს ადგილი, დიდ ფარგლებში იცვლება. გადართვების გარდამავალი პროცესის დროს სითბოს გამოყოფა ხდება გადასასვლელების სივრცული მუხტის არეში დიდი სიჩქარით მოძრავი მუხტების კრისტალური მესერის ატომებთან დაჯახების დროს. ძაბვის კრიტიკული სიდიდის დროს, ამ დაჯახებების შედეგად ადგილი აქვს დამატებითი (მეორეული) მუხტის გადამტანების წარმოქმნას, რომლებიც ელექტრულ ველში აჩქარების შემდეგ ზვაგური გარღვევის მიზეზი ხდებიან. გასაღების სტრუქტურის არაერთგვაროვნების გამო, ზვაგური მიკროპლაზმები შემოიფარგლება ლოკალური უბნების სახით, რომლებშიც ადგილი აქვს სითბოს გამოყოფას.

ნახევარგამტარული გასაღების ღია მდგომარეობის დროს ყველა p-n გადასასვლელს პირდაპირი წანაცვლება გააჩნია. პირდაპირი დენის გავლისას

ელექტრონები და ხვრელები, დაძლევენ რა p-n გადასასვლელების პოტენციალურ ბარიერს, მოძრაობენ დიფუზიურად ან დრეიფულად, ვიდრე არ მოხდება მათი რეკომბინაცია, ანდა დაგროვება სტრუქტურის ზედაპირულ შრეებში. სითბოს გამოყოფა ამ დროს მუხტის არაძირითადი გადამტანების რეკომბინაციის ადგილებში ხდება. გარდა ამისა, ნახევარგამტარულ სტრუქტურაში გამოიყოფა ე.წ. ჯოჯის სითბო. ეს უკანასკნელი განპირობებულია ძაბვის ვარდნით, რომელიც მუხტის ძირითადი გადამტანების დენითაა გამოწვეული. სითბო გამოიყოფა აგრეთვე კონტაქტებზე და დენგამტარ სადენებში, რომელიც ომურ წინააღობებზე არსებული სიმძლავრის დანაკარგებითაა განპირობებული.

იმისათვის, რომ არ მოხდეს გადახურება, სტრუქტურაში გამოყოფილი სითბო უნდა გამოვიდეს სტრუქტურის გარეთ. ნახევარგამტარული სტრუქტურისადმი სითბოს წართმევის მეთოდი განსაზღვრავს მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურის დამოკიდებულების ხასიათს სტრუქტურაში არსებულ სიმძლავრის სრულ დანაკარგებთან.

უწყვეტი დენების რეჟიმში მუშაობის დროს ნახევარგამტარული გასაღებების მიერ სითბოს გაცემის დასახასიათებლად გამოიყენება პარამეტრი, რომელსაც სითბური წინააღობა ეწოდება- $R_{Th}$ . ეს უკანასკნელი განისაზღვრება ხელსაწყო კორპუსის ფარგლებში ტემპერატურათა სხვაობის ( $\Delta T$ ) შეფარდებით გადასაცემ სიმძლავრესთან ( $P_0$ )

$$R_{Th} = \Delta T / P_0. \quad (4.1)$$

იმპულსურ რეჟიმში მუშაობის დროს გამოყოფილი სითბო გროვდება გასაღების სტრუქტურის მასალის სითბურ ტევადობაში. ამ შემთხვევაში გამოიყენება გარდამავალი სითბური წინააღობის ( $Z_{Th}(t)$ ) ცნება. იგი განისაზღვრება ხელსაწყო ტემპერატურული რეაქციით დანაკარგების მყისიერი სიმძლავრისადმი

$$Z_{Th}(t) = \Delta T(t) / \Delta P, \quad (4.2)$$

სადაც  $\Delta P$ -დანაკარგების სიმძლავრის ნაზრდია;

$\Delta T(t)$ - $t$  მომენტში გასაღების სტრუქტურის ტემპერატურის ნაზრდი.

ნახევარგამტარული გასაღების სტრუქტურაში სითბოს გამოყოფის რთული ბუნების გამო, აუცილებელია ზოგიერთი გამარტივების შემოტანა, რის საფუძველზეც შესაძლებელი ხდება დასაშვები რეჟიმების რაოდენობრივი შეფასება. კერძოდ, მიიჩნევენ, რომ გასაღებში არსებული დანაკარგი მხოლოდ სითბოდ გარდამქნება და იგი გამოიყოფა ნახევარგამტარული კრისტალის

ძირითადი გადასასვლელის პარალელურ სიბრტყეში. ასეთი დაშვება სამართლიანია, თუ მხედველობაში არ მივიღებთ სტრუქტურის ე.წ. ცხელ წერტილებში ლოკალურ დანაკარგებს. მიღებული დაშვების დროს, მუშაობის დასაშვები რეჟიმების განსაზღვრა დაფუძნებულია გადასასვლელის ტემპერატურის  $T_J$  შეფასებაზე. იგი არ უნდა აღემატებოდეს საცნობარო პარამეტრის სახით მოცემულ  $T_{J(max)}$ .

#### 4.1. დანაკარგები ძალურ ნახევარგამტარულ გასაღებებში

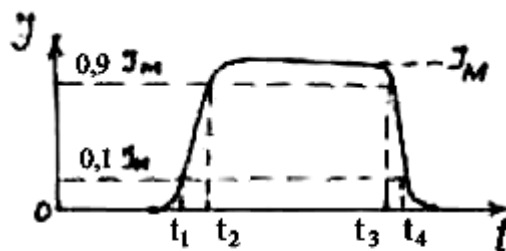
ძალურ ნახევარგამტარულ გასაღებში ჯამური დანაკარგების გაანგარიშების დროს მხედველობაში მივიღებთ დინამიკურ, ანუ გადართვების დროს არსებულ დანაკარგებს და სტატიკურ დანაკარგს გასაღების ღია მდგომარეობის დროს. გავითვალისწინებთ აგრეთვე იმ დამატებით დანაკარგებს, რომელსაც ადგილი აქვს ზოგიერთი ძალური ნახევარგამტარული გასაღების მართვის წრეში.

4.1. სურათზე ნაჩვენებია ნახევარგამტარული გასაღების პირდაპირი დენის იმპულსის ტიპური ფორმა. გაანგარიშების დროს გამოვიყენებთ შემდეგ დროით პარამეტრებს:

$t_P = t_3 - t_2$  - პირდაპირი დენის ხანგრძლივობა;

$t_R = t_2 - t_1$  - პირდაპირი დენის ზრდის დრო;

$t_F = t_4 - t_3$  - პირდაპირი დენის კლების დრო.



სურ. 4.1 პირდაპირი დენის იმპულსის ტიპური ფორმა

პირდაპირი დენის მოცემული ამპლიტუდის ( $I_M$ ) დროს გასაღების გაღების პროცესში დენის მყისი მნიშვნელობა აღიწერება განტოლებით

$$i(t)_{ON} = t/t_R I_M \quad (4.3)$$

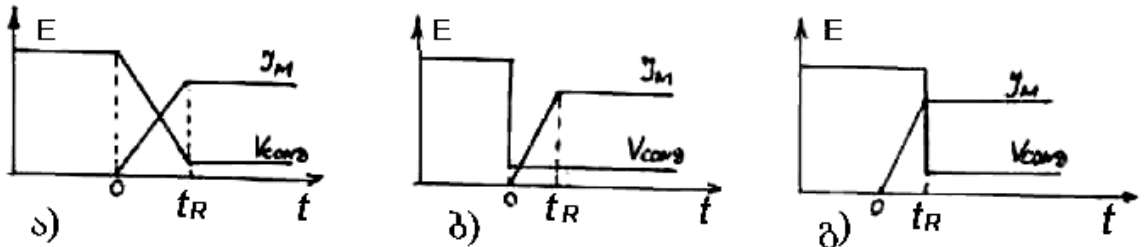
ღია მდგომარეობის დროს გასაღებში გადის დენი

$$i(t)_{COND} = I_M \quad (4.4)$$

გამორთვის პროცესში დენის მყისი მნიშვნელობა გამოისახება განტოლებით

$$i(t)_{\text{OFF}}=I_M(1-t/t_F) \quad (4.5)$$

პირველ რიგში განვსაზღვროთ დანაკარგები ნახევარგამტარული გასაღების გაღების (ჩართვის) გარდამავალი პროცესის დროს. 4.2. სურათზე ნაჩვენებია დენისა და ძაბვის ტიპური დიაგრამები გასაღების ჩართვის გარდამავალი პროცესის დროს სხვადასხვა ხასიათის დატვირთვის შემთხვევაში.



სურ. 4.2 ნახევარგამტარული გასაღების ჩართვის გარდამავალი პროცესის ტიპური დიაგრამები:  
 ა-გასაღები მუშაობს აქტიურ დატვირთვაზე;  
 ბ-გასაღები მუშაობს ინდუქციურ დატვირთვაზე იმპულსური დენის რეჟიმში;  
 გ-გასაღები მუშაობს ინდუქციურ დატვირთვაზე უწყვეტი დენის რეჟიმში

გასაღების ჩართვის პროცესში დანაკარგის ენერგია- $E_{ON}$  ზოგადად წარმოდგება შემდეგი სახით  $t_2$

$$E_{ON}=\int_{t_1}^{t_2} i(t)v(t)dt \quad (4.6)$$

(4.6) გამოსახულებიდან შეიძლება განისაზღვროს დანაკარგების ენერგია სხვადასხვა ხასიათის დატვირთვის დროს. როდესაც დატვირთვა აქტიური ხასიათისაა

$$E_{ON}=I_M E/6 \cdot t_R \quad (4.7)$$

თუ დატვირთვა ინდუქციური ხასიათისაა, მაშინ იმპულსური დენების რეჟიმში დანაკარგების ენერგია

$$E_{ON}=I_M \cdot V_{COND}/2 \cdot t_R \quad (4.8)$$

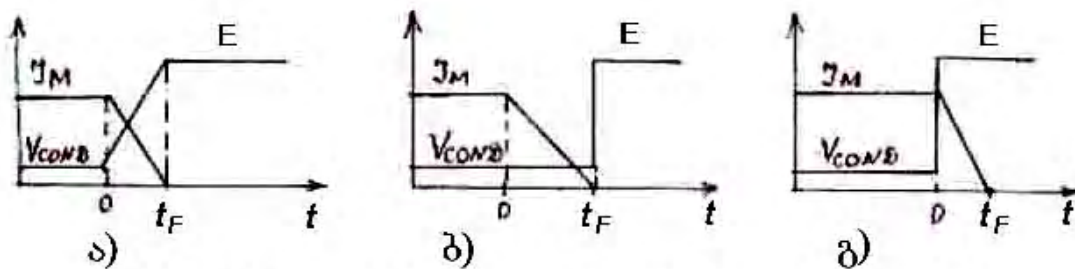
როდესაც დატვირთვა ინდუქციური ხასიათისაა, მაშინ უწყვეტი დენების რეჟიმში დანაკარგების ენერგია

$$E_{ON}=I_M E/2 \cdot t_R, \quad (4.9)$$

სადაც E-ჩაკეტილ გასაღებზე არსებული ძაბვაა;

$V_{COND}$ -ღია გასაღებზე ძაბვის გარდნაა (ნარჩენი ძაბვა).

ნახევარგამტარული გასაღების ჩაკეტვის გარდამავალი პროცესის დროს, დანაკარგების განსაზღვრის მიზნით, გამოვიყენოთ დენისა და ძაბვის ცვლილების გამარტივებული სურათი, რომელიც სხვადასხვა ხასიათის დატვირთვის დროს 4.3. სურათზეა ნაჩვენები



სურ. 4.3 ნახევარგამტარული გასაღების ჩაკეტვის გარდამავალი პროცესის ტიპური დიაგრამები:  
 ა-გასაღები მუშაობს აქტიურ დატვირთვაზე;  
 ბ-გასაღები მუშაობს ინდუქციურ დატვირთვაზე იმპულსური დენების რეჟიმში;  
 გ-გასაღები მუშაობს ინდუქციურ დატვირთვაზე უწყვეტი დენების რეჟიმში

გასაღების გამორთვის პროცესში დანაკარგის ენერგია  $E_{OFF}$  განისაზღვრება ფორმულიდან

$$E_{OFF} = \int_{t_3}^{t_4} i(t)v(t)dt \quad (4.10)$$

(4.10)-ის მიახლოებით ამონახსნს აქვს შემდეგი სახე

$$E_{OFF} = I_M E / K_{OFF} \cdot t_F \quad (4.11)$$

სადაც  $K_{OFF} = 6$ -აქტიური დატვირთვის დროს;

$K_{OFF} = 2E / V_{COND}$ -ინდუქციური დატვირთვის დროს, იმპულსური დენების რეჟიმში;

$K_{OFF} = 2$ -ინდუქციური დატვირთვის დროს უწყვეტი დენების რეჟიმში.

გასაღების ღია მდგომარეობის დროს სტატიკური დანაკარგების ენერგია  $E_{COND}$  განისაზღვრება გამოსახულებიდან

$$E_{COND} = \int_{t_2}^{t_3} i(t)v(t)dt = I_M V_{COND} \cdot t_F \quad (4.12)$$

დანაკარგების სრული ენერგია ნახევარგამტარულ გასაღებებში, რომელთა მართვის წრედში უმნიშვნელო სიდიდის დანაკარგებია, ეტოლება დინამიკური და სტატიკური დანაკარგების ენერგიათა ჯამს

$$E_0 = E_{ON} + E_{OFF} + E_{COND} \quad (4.13)$$

ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორული გასაღებებისა და ბიპოლარულ რეჟიმში მომუშავე სტატიკური ინდუქციური ტრანზისტორული გასაღებების მართვის წრედში არსებული დამატებითი დანაკარგების ენერგია შეიძლება შეფასდეს შემდეგი გამოსახულების მიხედვით

$$E_{iN} = V_{iN}(sat) I_{iN} t_p \quad (4.14)$$

სადაც  $V_{iN}(sat)$ -გაჯერების რეჟიმის დროს მმართველ გადასასვლელზე მოქმედი ძაბვაა;

$I_{iN}$ -შესავალი დენის ამპლიტუდაა.

ძალური ღღნ და IGBT გასაღებების მართვის წრედში არსებული დამატებითი დანაკარგების ენერჯია განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით

$$E_{iN}=Q_G \cdot V_{iN}, \quad (4.15)$$

სადაც  $Q_G$ -ჩამკეტის ტევალობაში დაგროვილი მუხტია;

$V_{iN}$ -გასაღების შესავალ წრედზე მოქმედი ძაბვაა.

მართვის წრედში არსებული დამატებითი დანაკარგების გათვალისწინებით, გასაღებში არსებული დანაკარგების სრული ენერჯია

$$E_0=E_{iN}+E_{ON}+E_{OFF}+E_{COND}. \quad (4.16)$$

გადართვის მოცემული  $f$  სიხშირის დროს გასაღებში არსებული დანაკარგების საშუალო სიმძლავრე  $P_{AV}$  განისაზღვრება ფორმულით

$$P_{AV}=f E_0. \quad (4.17)$$

დენის გავლის მოცემული  $t_p$  ხანგრძლივობის დროს გასაღებში არსებული დანაკარგების მაქსიმალური სიმძლავრე შეიძლება ნაპოვნი იქნეს შემდეგი ფორმულის გამოყენებით

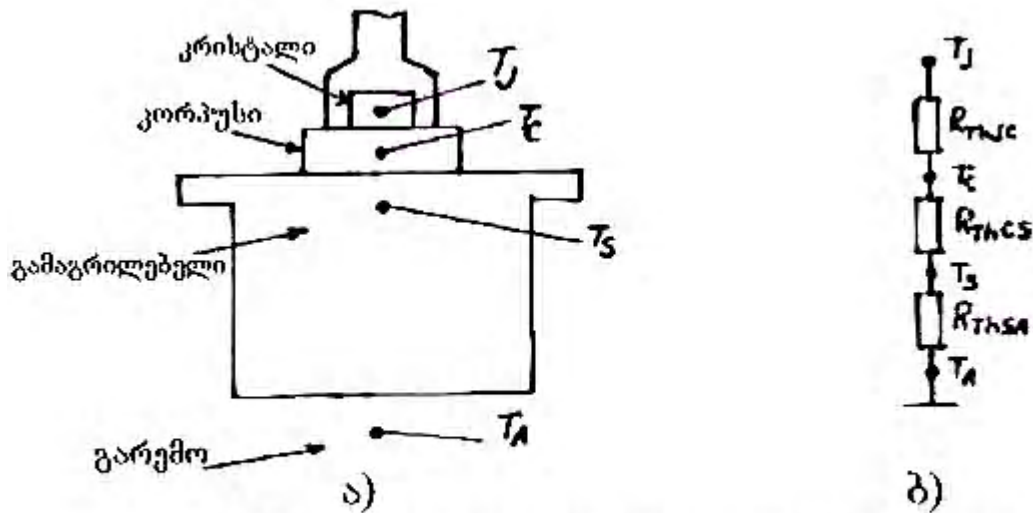
$$P_M=E_0/t_p. \quad (4.18)$$

## 4.2. სითბური წინაღობები

ნახევარგამტარული გასაღების სტრუქტურის ტემპერატურა ( $T_J$ ), როდესაც ცნობილია დანაკარგების სრული სიმძლავრე, შეიძლება განისაზღვროს სითბური წინაღობის დახმარებით. გასაღებისა და სითბოს წართმევისგან (გამაგრილებელი) შედგენილი სისტემა, მუდმივი დენის რეჟიმში, შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს ჩანაცვლების სქემით, რომელიც შედგება სითბოგადაცემის მახასიათებელი სითბური წინაღობებისაგან (სუ. 4.4, ბ). სითბოს წართმევის იმიტაციის მიზნით გამოიყენება ელექტროსითბური მოდელი, რომელიც საშუალებას იძლევა ერთმანეთთან დაკავშირდეს სისტემის ტემპერატურის ცვლილება და დანაკარგების სიმძლავრე- $P_0$ .

ჩანაცვლების სქემის მიხედვით გადასასვლელის ტემპერატურა- $T_J$  შეიძლება გამოისახოს შემდეგი განტოლებით

$$T_J=P_0(R_{ThJC}+R_{ThCS}+R_{ThSA})+T_A, \quad (4.19)$$



სურ. 4.4 გასაღები-გამაგრებელი სისტემის სითბური ჩანაცვლების სქემა მუდმივი დენის რეჟიმში

სადაც  $T_A$ -გარემოს ტემპერატურაა;

$R_{ThJC}$ -გადასასვლელი-კორპუსი უბნის სითბური წინაღობაა;

$R_{ThCS}$ -კორპუსი-გამაგრებელი უბნის სითბური წინაღობაა;

$R_{ThSA}$ -გამაგრებელი-გარემო უბნის სითბური წინაღობაა.

გადასასვლელი-კორპუსი უბნის სითბური წინაღობა განისაზღვრება გასაღების შინაგანი კონსტრუქციით და სითბური პარამეტრებით. კერძოდ: ხელსაწყო ფუძისა და კრისტალის გეომეტრიული ზომებით და ფორმით, ხელსაწყო ფუძის მასალის სითბური წინაღობით, კრისტალის ხელსაწყო ფუძესთან კონტაქტის ხარისხით და სხვა. აღნიშნული სითბური წინაღობა განაპირობებს ნახევარგამტარული გასაღების დატვირთვის უნარიანობის ზღვარს, რომელიც შეიქმნება განისაზღვროს (4.19) გამოსახულებიდან იდეალური სითბოწართმევისა და გაგრილების მეთოდის შემთხვევაში ( $R_{ThCS}=R_{ThSA}=0$ )

$$P_{max} = T_J - T_A / R_{ThJC} \quad (4.20)$$

კორპუსი-გამაგრებელი უბნის სითბური წინაღობა ( $R_{ThCS}$ ) დამოკიდებულია: გასაღების კორპუსის ტიპზე, საკონტაქტო ზედაპირის ფართობზე, გასაღების კორპუსის და გამაგრებლის ურთიერთ მიჯერის ძალაზე.  $R_{ThCS}$  სითბური წინაღობის შესამცირებლად და გასაღების კორპუსსა და გამაგრებელს შორის კონტაქტის გასაუმჯობესებლად იყენებენ სითბოგამტარი შეხეთვის მეთოდს. რიგ შემთხვევაში გასაღების კორპუსი ელექტრულად იზოლირებული უნდა იყოს გამაგრებლისგან. ამ მიზნით, დისკრეტული შესრულების ხელსაწყოებისთვის მზადდება სპეციალური ელექტრომაიზოლირებელი საფენები. ამ საფენების ფორმა ისეთია, რომ კორპუსისა და გამაგრებლის ზედაპირების ელექტროიზოლაცია ხელს არ უშლის მათ შორის სითბოგადაცემის პროცესს. სითბური წინაღობის შემცირების მიზნით იყენებენ სითბოგამტარი შეხეთვის მეთოდსაც.

სითბური წინაღობები  $R_{ThJC}$  და  $R_{ThCS}$  (ან მათი ჯამი) ყოველი ძალური გასაღებისთვის მოცემულია საცნობარო პარამეტრის სახით. მაშინ, გადასასვლელსა და გარემოს შორის ტემპერატურის დასაშვები სხვაობის  $\Delta T_{JA}=T_J-T_A$  მიხედვით, (4.19) გამოსახულებიდან, შეიძლება გაანგარიშებული იქნეს გამაგრილებელი-გარემო უბნის სითბური წინაღობა  $R_{ThSA}$  და შეირჩეს სათანადო მონაცემების მქონე გამაგრილებელი (რადიატორი).

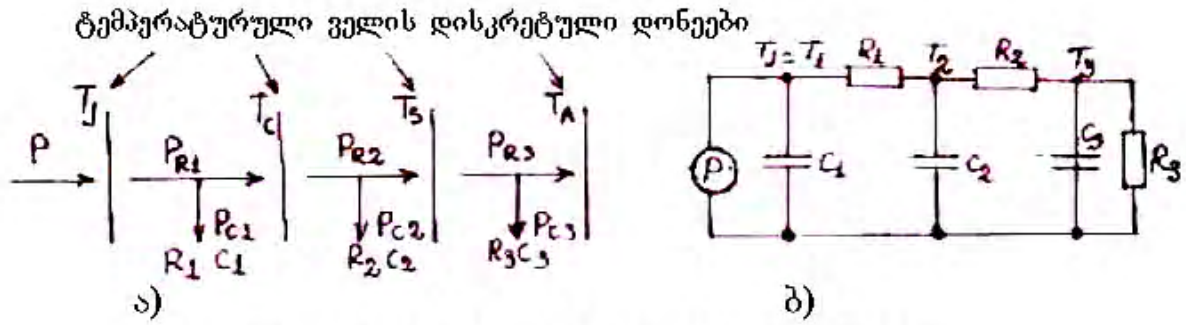
$$R_{ThSA}=\Delta T_{JA}/P_O-(R_{ThJC}+R_{ThJS}). \quad (4.21)$$

სითბურ წინაღობათა ძირითადი მდგენელებისთვის მიღებული გამოსახულებები სამართლიანია მოდულური კონსტრუქციის ძალური გასაღებისთვისაც.

გაგრილების პირობებიდან გამომდინარე, სითბური წინაღობა შეიძლება იცვლებოდეს დიდ ფარგლებში. 10 კვტ-მდე სიმძლავრის გარდამქმნელ მოწყობილობებში გამოყენებულ ნახევარგამტარული გასაღებებისთვის გამოიყენება ბუნებრივი გაგრილება. მეტი სიმძლავრის გარდამქმნელი მოწყობილობების გასაღებებისთვის-ჰაერი ან სითხით იძულებითი გაგრილების სისტემა. უკანასკნელ წლებში ფართო გამოყენება ჰპოვა ე.წ. აორთქლებით გაგრილებამ, რომელიც გამოიყენება, თუ სითბური ნაკადის სიმკვრივე 20 ვტ/სმ<sup>2</sup>-ს აღემატება. ძალური ნახევარგამტარული გასაღებებისთვის ამა თუ იმ სახის გაგრილების შერჩევას ახდენენ სპეციალური დიაგრამების გამოყენებით, რომლებიც ერთმანეთთან აკავშირებენ გამოყოფილი სითბური ნაკადის სიმკვრივეს და გასაღების სტრუქტურის დასაშვებ ტემპერატურას- $T_J$ .

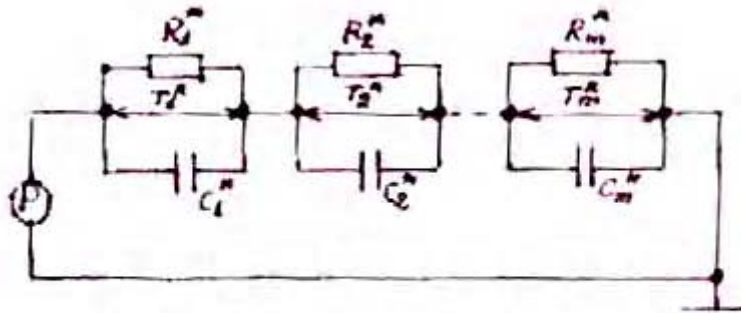
როდესაც ძალური ნახევარგამტარული გასაღები მუშაობს იმპულსური დენების რეჟიმში, მაშინ სითბური გაანგარიშების დროს გათვალისწინებული უნდა იქნეს სტრუქტურის სითბური წინაღობის გავლით სითბური ნაკადის არა მარტო გადაცემა, არამედ სტრუქტურის ცალკეული შრეების სითბოტევადობაში სითბოს ნაწილობრივი დაგროვებაც. ასეთი შრეები წარმოადგენენ ტემპერატურული ველის დისკრეტულ დონეებს.

გადასასვლელი-გარემო უბნის ტემპერატურული ველის დისკრეტულ დონეებს შორის მოთავსებული ყოველი ელემენტარული უბანი შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს საკუთარი სითბური წინაღობით და სითბოტევადობით (სურ. 4.5). 4.5. სურათზე:  $R_1C_1$ - გადასასვლელი-კორპუსი უბნის სითბური წინაღობა და თბოტევადობა,  $R_2C_2$ -კორპუსი-გამაგრილებელი უბნის ანალოგიური თბური პარამეტრებია,  $R_3C_3$ -გამაგრილებელი-გარემო უბნის თბური პარამეტრებია.



სურ. 4.5 გასაღები - გამაგრილებელი სისტემის სითბური მოდელი

მოცემული სითბური მოდელი აგებულია გადასასვლელი-გარემო სისტემის რეალური შრეების ტემპერატურული დისკრეტიზაციის საფუძველზე, მაგრამ ასეთი სითბური მოდელის პრაქტიკული გამოყენება გაძნელებულია  $R$ ,  $C$ -პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრის სირთულის გამო. მიტომ პრაქტიკული გამოყენება ჰპოვა მეორე სითბურმა მოდელმა, სადაც გამოყენებულია დაყვანილი  $R^*$ ,  $C^*$  პარამეტრები (სურ. 4.6).



სურ. 4.6 გასაღები - გამაგრილებელი სისტემის სითბური მოდელი დაყვანილი პარამეტრებით

ასეთი სითბური მოდელის შესავალის წინაღობა და, მაშასადამე, გადასასვლელის ტემპერატურა, ნამდვილი პარამეტრების მიხედვით შედგენილი მოდელის შესავალი წინაღობისა და გადასასვლელის ტემპერატურის ტოლია. სითბური მოდელის პარამეტრების განსაზღვრა კი ხდება ყოველი კონკრეტული ტიპის ხელსაწყოების გაგრილების მრუდის მიხედვით, ხოლო სტრუქტურის ტემპერატურის ( $T_j$ ) დროში ცვლილება განისაზღვრება ფორმულით

$$T_j(t) = T_A + P_0 \sum R_i (1 - e^{-t/R_i C_i}), \quad (4.22)$$

სადაც  $T_A$  - გარემოს ტემპერატურაა;

$P_0$  - სიმძლავრის ნახტომია იმპულსურ რეჟიმში;

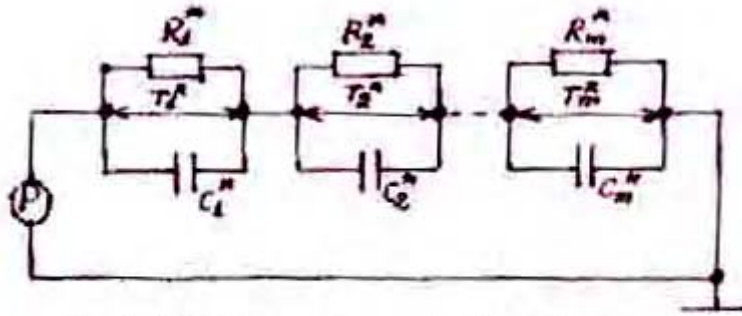
$R_i, C_i$  - სითბური მოდელის დაყვანილი პარამეტრებია;

$n$  - სითბური მოდელის რგოლების რიცხვია.

საცნობარო ინფორმაციის სახით, როგორც წესი, მოცემულია მრავალრგოლიანი მოდელის  $R_i$  და  $C_i$  პარამეტრები (ან  $R_i$  და  $\tau_i = R_i \cdot C_i$ ) და გარდამავალი სითბური წინააღობის-  $Z_{ThJS}$  ცვლილების დიაგრამა, რომელიც წარმოსდგება შემდეგი მათემატიკური გამოსახულებით

$$Z_{ThJS}(t) = \sum R_i (1 - e^{-t/R_i C_i}) \quad (4.23)$$

4.6. სურათზე სითბური წინააღობა  $Z_{ThJS}$  მოცემულია, როგორც იმპულსური სიმძლავრის ფუნქცია ლოგარითმულ მასშტაბში.



სურ. 4.6 გასაღები - გამაგრილებელი სისტემის სითბური მოდელი დაყვანილი პარამეტრებით

სიმძლავრის  $P_0$ -ნახტომის დროს გადასასვლელის ტემპერატურის დროში ცვლილება შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$T_J(t) = T_A + P_0 Z_{ThJC} \quad (4.24)$$

(4.22) და (4.24) ფორმულების გამოყენებით,  $T_J(t)$ -ტემპერატურის გაანგარიშების დროს იგულისხმება, რომ გაანგარიშება უნდა მოხდეს სიმძლავრის  $P_0$  იმპულსის  $t_p$  ხანგრძლიობის შესამაბის დროის ინტერვალში ( $t < t_p$ ). ცხადია, გადასასვლელის ტემპერატურა უდიდეს მნიშვნელობას მიაღწევს  $t = t_p$  დროის მომენტში

$$T_{MAX} = T_A + P_0 Z_{ThJC}(t_p) \quad (4.25)$$

$t > t_p$  დროის ინტერვალში ტემპერატურის განსაზღვრისას გამოიყენება ზედდების მეთოდი. კერძოდ, ნულოვანი სიმძლავრის რეჟიმში განიხილება როგორც ერთნაირი ამპლიტუდის, მაგრამ სხვადასხვა პოლარობის ორი  $P_0$ -იმპულსის მოქმედება. ამ შემთხვევაში გადასასვლელის ტემპერატურა შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი გამოსახულებით

$$T_J(t) = T_A + P_0 Z_{ThJC}(t) - P_0 Z_{ThJC}(t - t_p) \quad (4.26)$$

თუ სიმძლავრის იმპულსის ფორმა განსხვავებულია მართკუთხა ფორმისგან (გააჩნია ნებისმიერი ფორმა) ტემპერატურის ანალიზური გაანგარიშება ძალზე რთულ ამოცანას წარმოადგენს. ამ შემთხვევაში მიზანშეწონილია მრავალრგოლიანი სითბური მოდელის

რიცხვითი გაანგარიშება ეგმ-ზე ან სიმძლავრის იმპულსის-P(t) გარდაქმნა მართკუთხა ფორმის სიმძლავრის ექვივალენტურ იმპულსად. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში ტემპერატურის საანგარიშო ფორმულები სიმძლავრის განმეორებადი იმპულსების ტიპური კომბინაციებისთვის მოცემულია სპეციალურ ლიტერატურაში ცხრილების სახით.

### 4.3 ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების მუშაობის დასაშვები რეჟიმები

თეორიული განხილვის საფუძველზე, რომელიც 4.1, 4.2. პარაგრაფებშია მოცემული, შეიძლება განისაზღვროს ძალური ნახევარგამტარული გასაღების დატვირთვის დენსა და გასაღების კორპუსის ტემპერატურას შორის დამოკიდებულება, გადასასვლელის მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურის გათვალისწინებით.

ნახევარგამტარული გასაღების პირდაპირი დენის იმპულსისთვის (სურ.4.1) მიღებული იყო გასაღებში არსებული საშუალო და მაქსიმალური დანაკარგების სიმძლავრის გამნსაზღვრელი ფორმულები (4.17) და (4.18). თუ გავითვალისწინებთ გასაღების სითბურ წინაღობას, მაშინ გადასასვლელის საშუალო  $T_J (AV)$  და მაქსიმალური- $T_{J(MAX)}$  ტემპერატურა განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებების მიხედვით

$$T_{J(AV)}=T_C+P_{AV}R_{ThJC}; \quad (4.27)$$

$$T_{J(MAX)}=T_C+P_M Z_{ThJC}(t_p), \quad (4.28)$$

სადაც  $T_C$ -გასაღების კორპუსის ტემპერატურაა;

$R_{ThJC}$ -გადასასვლელი-კორპუსი უბნის სტატიკური სითბური წინაღობაა;

$Z_{ThJC}$ -გადასასვლელი-კორპუსი უბნის გარდამავალი წინაღობაა დენის იმპულსის დამთავრების მომენტში;

$t_p$ -დატვირთვის დენის იმპულსის ხანგრძლივობაა.

დენის იმპულსის ხანგრძლივობის ( $t_p$ ) შემცირებისა და იმპულსების სიმეჩხრის (D) გაზრდისას გარდამავალი წინაღობა- $Z_{ThJC}(t)$  გადადის დიაგრამის ჰორიზონტალურ უბანში (სურ. 4.6). ეს იმას ნიშნავს, რომ იმპულსური სიმძლავრის ამ სიხშირულ ინტერვალში გასაღების სტრუქტურის სითბური ინერციულობა საკმაოდ მაღალია, ხოლო გადასასვლელის საშუალო ტემპერატურა  $T_{J(AV)}$  პრაქტიკულად არ განსხვავდება მაქსიმალური ტემპერატურისგან- $T_{J(max)}$ . ამ დროს სრულდება ტოლობა

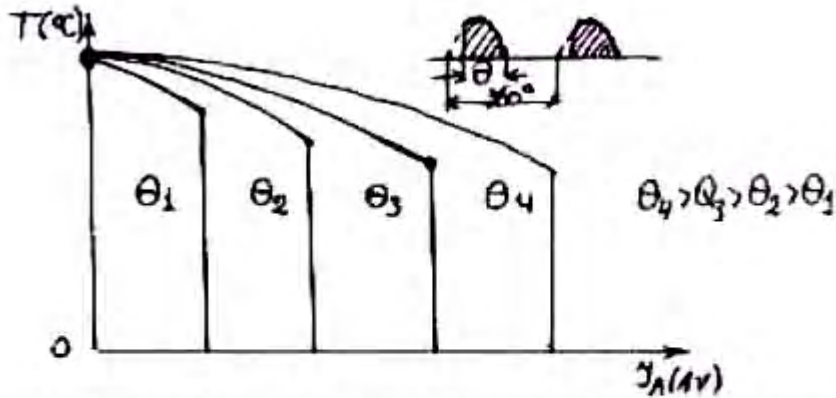
$$P_M/P_{AV}=R_{ThJC}/Z_{ThJC}(t_p) \quad (4.29)$$

განგარიშების საფუძველზე დგინდება, რომ ზემოაღნიშნული სამართლიანია გასაღების გადართვების სისწორეებზე (3÷10)კპც. სხვა შემთხვევებში  $T_{J(max)} > T_{J(AV)}$  და სითბური გადატვირთვების განგარიშება უნდა მოხდეს გარდამავალი სითბური წინაღობის დიაგრამების გამოყენებით.

(4.18) და (4.24) ფორმულების გამოყენებით შეიძლება ჩაიწეროს გადასასვლელის მაქსიმალური ტემპერატურის შემდეგი გამოსახულება

$$T_{J(max)} = T_C + E_0 / t_p Z_{ThjC}(t_p) \quad (4.30)$$

ნახევარგამტარულ გასაღებში არსებული დანაკარგების ენერგია ( $E_0$ ) დატვირთვის დენის ფუნქციაა. ამიტომ, გადასასვლელის მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურის მნიშვნელობის გამოსახულება (4.30) ამავე დროს წარმოადგენს გასაღების არაცხადი სახით ჩაწერილ დატვირთვის დენის საანგარიშო ფორმულასაც.



სურ. 4.7 გასაღების დატვირთვის დასაშვები დენის დამოკიდებულება კორპუსის ტემპერატურაზე აქტიური და ინდუქციური ხასიათის დატვირთვის დროს

საცნობარო ლიტერატურაში, დასაშვები დატვირთვის დენი როგორც გასაღების კორპუსის ტემპერატურის ფუნქცია (გადასასვლელის მაქსიმალური ტემპერატურის დროს), მოცემულია გრაფიკების სახით სხვადასხვა ფორმის მქონე დენებისთვის. 4.7. სურათზე ნახვენებია ასეთი გრაფიკის ტიპური სახე ერთი კერძო შემთხვევისთვის.

## 5. ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების (ვენტილების) მართვის სისტემები

### 5.1 მართვის სისტემის დანიშნულება

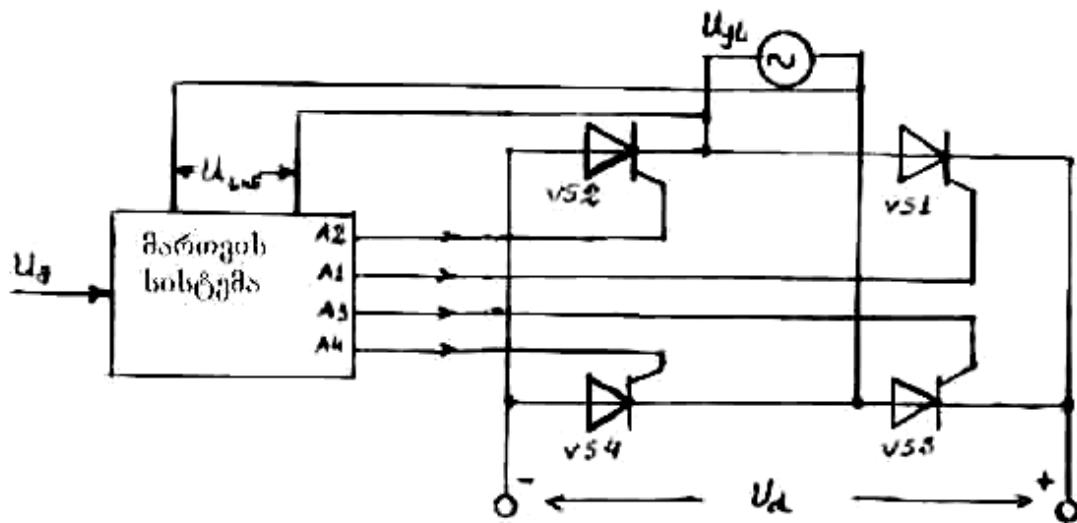
ელექტრული ენერჯის გარდამქმნელი მოწყობილობები შედგება ძალური და მმართველი ნაწილებისაგან, რომლებიც განუწყვეტლივ ზემოქმედებენ ერთმანეთზე. ძალური ნაწილი, რომელიც უმეტეს შემთხვევაში მართვადი გასაღებების (ვენტილების) ბაზაზეა აწყობილი, უზრუნველყოფს კვების წყაროდან მიღებული ელექტრული ენერჯის დატვირთვისადმი გადაცემას, ხოლო მმართველი ნაწილის დანიშნულებაა დატვირთვისადმი გადაცემული ელექტრული ენერჯის ნაკადის რეგულირება. გარდა ამისა, მმართველ ნაწილს დაკისრებული აქვს გარდამქმნელი დანადგარის ტექნიკური მდგომარეობისა და ფუნქციონირების შესახებ ინფორმაციის მოპოვება და უწყესივრობათა დიაგნოსტიკა, რის შედეგადაც მიიღება ერთიანი ინფორმაციული სისტემა.

ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების მართვის სისტემა წარმოადგენს გარდამქმნელი დანადგარის საერთო ინფორმაციული სისტემის ნაწილს. ფუნქციური თვალსაზრისით იგი წარმოადგენს დამოუკიდებელ ბლოკს, რომელიც გამოიმუშავებს გასაღებების (ვენტილების) მართვისთვის საჭირო იმპულსებს. მართვის სისტემის სტრუქტურა, მუშაობის ალგორითმი და მახასიათებლები დამოკიდებულია გარდამქმნელის ტიპზე, სქემურ შესრულებაზე და მუშაობის რეჟიმზე.

### 5.2. გარდამქმნელების მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემები და მუშაობის ზოგადი პრინციპი

ქსელის ამჟამინდელი გარდამქმნელების (გამმართველი, ქსელის ამჟამინდელი ინვერტორი, რევერსული გარდამქმნელი, სისშირის გარდამქმნელი ქსელთან უშუალო კავშირით) მართვის სისტემების მუშაობა დაფუძნებულია იმპულსურ-ფაზური მართვის პრინციპზე. ამ პრინციპის გამოყენების დროს ადგილი აქვს ძალური გასაღების მართვის ელექტროდზე გამღები იმპულსის მიწოდების მომენტის შეცვლას ცვლადი დენის ქსელის ძაბვის დადებითი ნახევარტალის საწყისი ფაზის (ნულის) მიმართ, რაც განაპირობებს გარდამქმნელის გამოსავალი ძაბვის შესაბამის ცვლილებას. ასეთი გარდამქმნელების მართვის სისტემის მუშაობის პრინციპი განვიხილოთ ერთფაზა ბოგური გამმართველის მაგალითზე (სურ. 5.1). გამმართველის იმპულსურ-ფაზური

მართვის ფუნქციონალური სქემა და მასში შემავალი ფუნქციური კვანძების მუშაობის ამსახველი დროითი დიაგრამები 5.2 სურათზეა წარმოდგენილი.



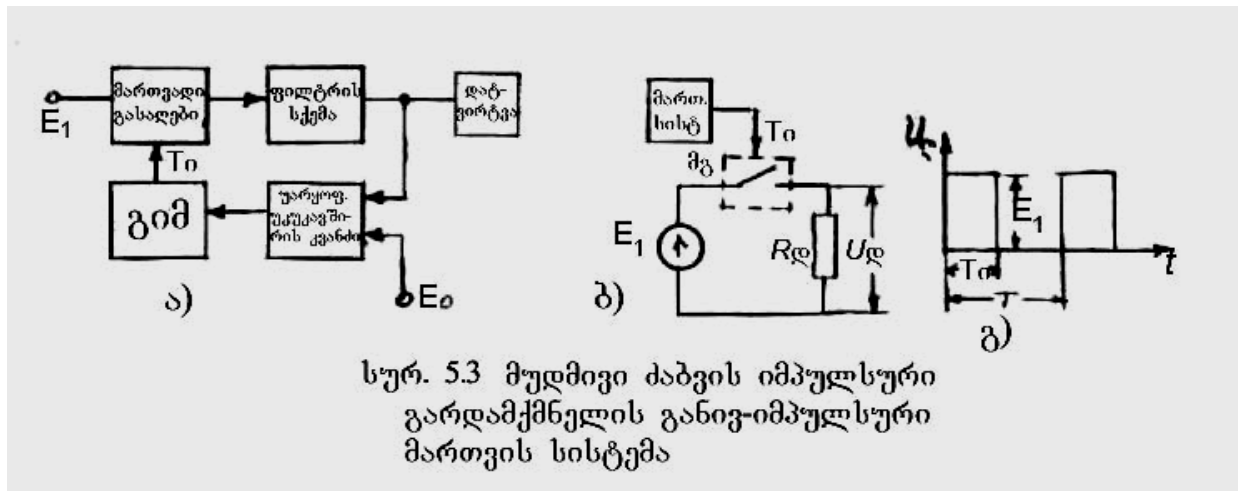
სურ. 5.1 ერთფაზა ბოგური გამმართველი

გამმართველის მართვის სისტემის მუშაობის ზოგადი პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს. მკვებავი ცვლადი დენის ქსელის დაბვა (სურ. 4.2,ა) 1-ტრანსფორმატორული ბლოკის საშუალებით გარდაიქმნება საჭირო ამპლიტუდისა და ფაზის მქონე  $U_1$  სინუსოიდურ დაბვად (სურ. 5.2,ბ), რომელიც მიეწოდება იმპულსთა მიმღევრობის მაფორმირებელ მე-2 ბლოკს. ეს უკანასკნელი გამოიმუშავებს, ერთის მხრივ, მე-3 ბლოკში გამოყენებული წრფივადცვლადი (ხერხისებური) დაბვის გენერატორის გამშვებ  $U_2$  იმპულსურ დაბვას, მეორეს მხრივ,  $U_3$  და  $U_4$  იმპულსურ დაბვებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ მართვის არხებში იმპულსების გამანაწილებელი მე-5 ბლოკის ქსელის ცვლად დაბვასთან სინქრონიზმში მუშაობას. მე-3 ბლოკში ხდება  $U_5$ -ხერხისებური დაბვისა და მმართველი სიგნალის დაბვის ( $U_a$ ) შედარება. ამ დაბვების გატოლების მომენტში წარმოიქმნება  $U_6$ -მმართველი იმპულსები.  $U_a$  მმართველი სიგნალის დაბვის შეცვლისას იცვლება  $U_6$ -მმართველი იმპულსების წარმოქმნის მომენტი, რაც, თავის მხრივ, გამოიწვევს  $U_1$  დაბვის დადებითი ნახევარტაღლის საწყისი ფაზის (ნულის) მიმართ ტირისტორების გაღების მომენტის, ანუ მართვის  $\alpha$  კუთხის შეცვლას. მე-3 ბლოკიდან გამოსული იმპულსები მიეწოდება იმპულსთა ხანგრძლივობის მაფორმირებელ მე-4 ბლოკს, ხოლო ამ უკანასკნელიდან გამოსული  $U_7$ -მმართველი იმპულსები,  $U_3$  და  $U_4$  მასინქრონებელ იმპულსებთან ერთად, მიეწოდება მართვის არხებში იმპულსების გამანაწილებელ მე-5 ბლოკს. იგი ახდენს იმპულსების ორ არხში განაწილებას. ამ არხებიდან გამოსული  $U_8$  და  $U_9$  მმართველი იმპულსები ერთმანეთის მიმართ დაძრული არიან  $180^\circ$ -ით.  $U_8$  და  $U_9$  მმართველი იმპულსები შედიან მე-6 ბლოკში, სადაც ხდება მათი სიმძლავრისეული პარამეტრების მიყვანა ტირისტორების საიმედო გაღებისთვის საჭირო დონემდე. მე-6 ბლოკიდან გამოსული მმართველი იმპულსები, პოტენციალური განმხილვების მე-7 ბლოკის (იმპულსური



იმპულსების გენერატორი, რომელიც განსაზღვრავს გამოსავალი ძაბვის ან დენის სიხშირეს.

მუდმივი ძაბვის იმპულსური გარდამქმნელების (მუდმივი ძაბვის რეგულატორების) მართვის სისტემების აგება ხდება გამოსავალი ძაბვის იმპულსური რეგულირების პრინციპზე დაყრდნობით. კერძოდ, ამ სახის გარდამქმნელებში ძირითადად გამოიყენება რეგულირების განივ-იმპულსური მეთოდი, რომლის დროსაც იცვლება მმართველი იმპულსების ხანგრძლივობა სიხშირის უცვლელი სიდიდის დროს. ამ სახის გარდამქმნელების მართვის სისტემის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს განივ-იმპულსური მოდულატორი (გიმ), რომელიც ანხორციელებს გასაღებთა კომუტაციას (სურ 5.3).



სურ. 5.3 მუდმივი ძაბვის იმპულსური გარდამქმნელის განივ-იმპულსური მართვის სისტემა

იმპულსური გარდამქმნელის მართვის სისტემაში გამოიყენება უარყოფითი უკუკავშირის კვანძი, რომელიც წარმოქმნის რა რეგულირების შეკრულ კონტურს, ანხორციელებს გარდამქმნელის გამოსავალი ძაბვის სტაბილიზაციას.

ელექტრული ენერჯიის გარდამქმნელების მართვის სისტემების ტექნიკური სრულყოფის თანამედროვე ტენდენციაა სქემური ელემენტების ინტეგრაციის ხარისხის გაზრდა. დისკრეტულ ელემენტებიანი სქემოტექნიკური გადაწყვეტები აღიღეს უთმობს ინტეგრალურ მიკროსქემებს და მიკროკონტროლებს.

ელექტრული ენერჯიის გარდამქმნელი დანადგარების მართვის ნაწილის უნივერსალურ საშუალებას მიკროკონტროლერი წარმოადგენს, რომელიც, ჯერ ერთი, ანხორციელებს გარდამქმნელის ძალური ნაწილის გასაღებების (გენტილების) ლოგიკურ კომუტაციებს უკუკავშირის სიგნალების მიღების შედეგად და, მეორეც, უზრუნველყოფს ინტერფეისული ფუნქციის შესრულებას ოპერატორთან ან სხვა ტექნოლოგიურ ობიექტთან კავშირის დამყარების დროს. მაგალითად, ელექტრული ამძრავის მართვის სისტემაში გამოყენებული მიკროკონტროლერი შეიცავს განივ-იმპულსურად მოდულირებადი გენერატორების საჭირო რაოდენობას, რომლებიც მიიღებენ რა საჭირო ინფორმაციას პროცესორიდან მოთხოვნილ სიხშირეზე ან იმპულსთა სიმეჩხრეზე, დამოუკიდებლად ანხორციელებენ ინვერტორის ძალური გასაღებების ლოგიკურ (შეთანხმებულ) მართვას.

ციფრული ინტეგრალური მიკროსქემების გამოსავალი სიგნალის სიმძლავრე, როგორც წესი, ძალური გასაღებების საიმედო ფუნქციონირებისთვის არ არის საკმარისი. ამიტომ საჭიროა მისი გაძლიერება, რისთვისაც აუცილებელია მართვის სისტემაში სიმძლავრის მაძლიერებლის გამოყენება. უმეტეს შემთხვევაში, სიმძლავრის მაძლიერებელმა უნდა უზრუნველყოს გარდამქმნელის ძალური და ინფორმაციული ნაწილების პოტენციალური (გალვანურ) განმხოლოებაც. ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების მართვის სისტემებისთვის შექმნილია სიმძლავრის მაძლიერებელთა სპეციალიზებული მიკროსქემები, რომელსაც დრაივერებს (driver) უწოდებენ.

### 5.3. მმართველი იმპულსების მაფორმირებელთა ძირითადი ტიპები

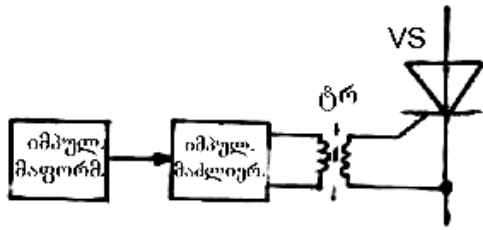
ელექტრული ენერჯის გარდამქმნელების მართვის სისტემას, სხვა ფუნქციებთან ერთად, შემდეგი ორი ფუნქციის შესრულება ეკისრება: ძალური გასაღებების (ვენტილების) გაღება-ჩაკეტვის (კომუტაციის) ლოგიკის ჩამოყალიბება და მმართველი იმპულსების სიმძლავრისეული პარამეტრის მიყვანა გასაღებების საიმედო კომუტაციისათვის საჭირო დონემდე. გარდამქმნელის მართვის სისტემის ნაწილს, რომელსაც ზემოაღნიშნული ფუნქციის შესრულება აკისრია, მმართველი იმპულსების მაფორმირებელი (მიმ) ეწოდება. მაშასადამე, მიმ უნდა შეიცავდეს საინფორმაციო-ლოგიკურ ნაწილს და მმართველი იმპულსების მაძლიერებელს.

გარდამქმნელის ძალური ნაწილი და მიმ-ის მაძლიერებელი ნაწილი მუშაობის პროცესში წარმოქმნის მართვის სისტემის ნორმალური ფუნქციონირების ხელშეშლებს (დაბრკოლებებს). გარდამქმნელის ძალურ ნაწილში დიდი ამპლიტუდის დენის გავლის დროს წარმოქმნილი დაბრკოლება (ხელშეშლა) ამცირებს მართვის სისტემის მუშაობის საიმედოობას და შეიძლება გახდეს მართვის სისტემის მტყუნების მიზეზი. მაგალითის სახით განვიხილოთ 5.4 სურათზე ნაჩვენები იზოლირებულბაზიანი ბიპოლარულ ტრანზისტორებზე აწყობილი ბოგური გამმართველის სქემა, რომელშიც მართვის ბლოკი უშუალო (პოტენციალურ) კავშირშია გარდამქმნელის ძალურ სალტესთან.

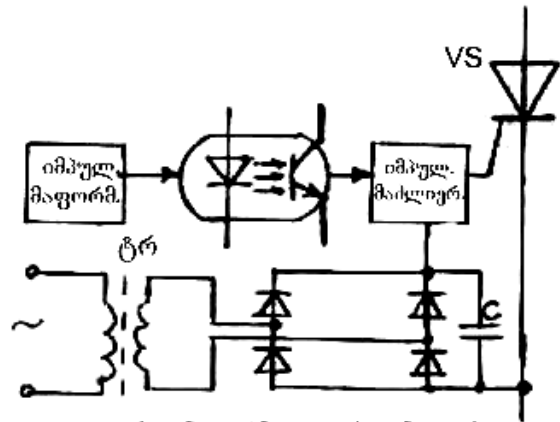
ბოგას მარცხენა მხრის ქვედა VT1 ტრანზისტორული გასაღების ღია მდგომარეობის დროს ძალურ სალტეში გამავალი დენი L-პარაზიტულ ინდუქციურობაში აღძრავს დაბრკოლების  $L \frac{di}{dt}$  ძაბვას. ამის გამო სალტეს სხვადასხვა წერტილს აღმოაჩნდება სხვადასხვა პოტენციალი ( $\varphi_A > \varphi_B > \varphi_C$ ). პოტენციალთა შორის ასეთი განსხვავების გამო შემდეგი პრობლემები წარმოიქმნება:

- $\varphi_A > \varphi_B$  უტოლობის გამო VT1 ტრანზისტორის ჩართვა მოხდება დიდი დაყოვნებით;



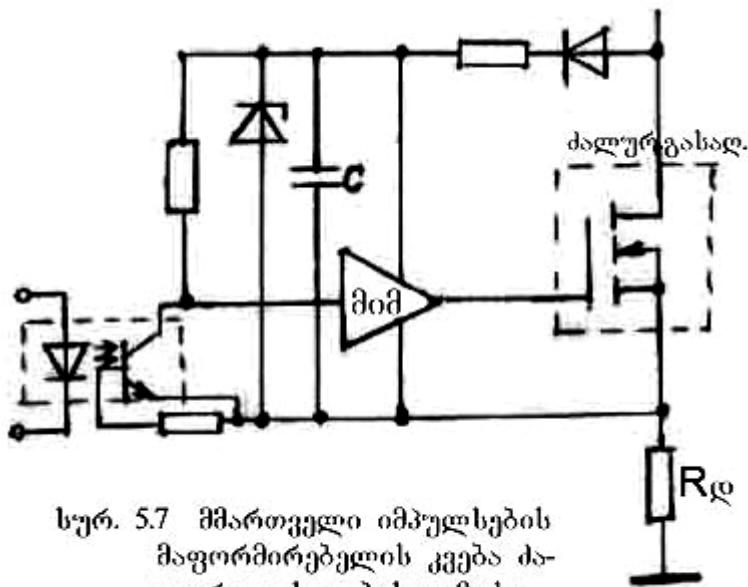


სურ. 5.5 მმართველი იმპულსისა და ენერჯის ერთობლივი გადაცემა



სურ. 5.6 საინფორმაციო სიგნალისა და ენერჯის განცალკევებული გადაცემა

მეორე ტიპის მმართველი იმპულსების მაფორმირებელში, სადაც იმპულსების მაძლიერებლისთვის საჭირო ელექტრული ენერჯია და ინფორმაციული სიგნალი განცალკევებულად გადაიცემა, გამოიყენება ინფორმაციული სიგნალის პოტენციალური განმსოლოებისა და მაძლიერებლისადმი ელექტრული ენერჯის მიწოდების სხვადასხვა მეთოდი.

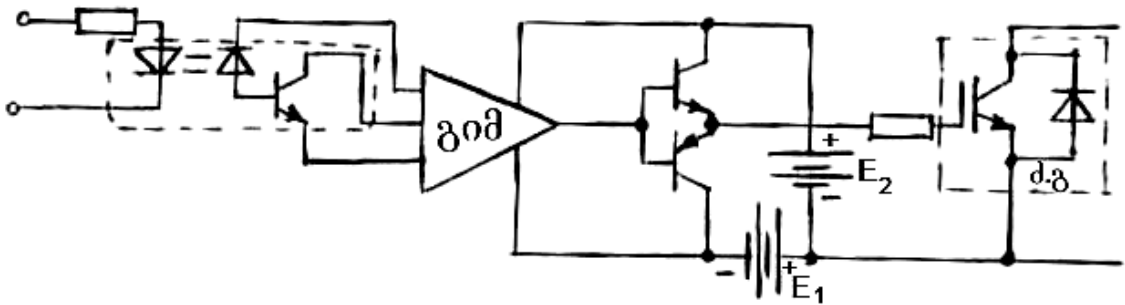


სურ. 5.7 მმართველი იმპულსების მაფორმირებელის კვება ძალური გასადების გამოსავალი წრედიდან

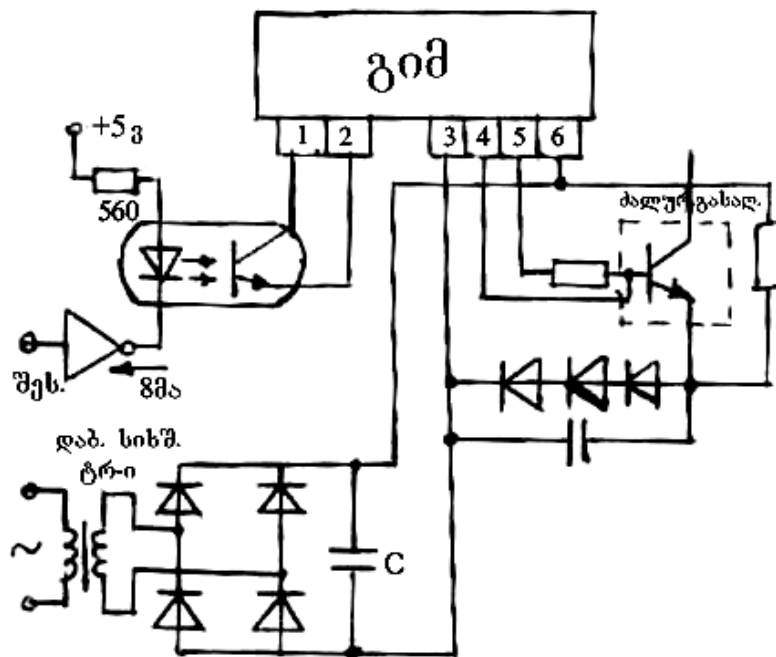
ინფორმაციული არხის პოტენციალური განმსოლოება ხორციელდება მაღალი სიხშირის ტრანსფორმატორის ან ოპტრონული წყვილის გამოყენებით. თუ გარდამქმნელის მუშაობა ძაბვა ძალზე დიდია, ოპტრონული წყვილის ნაცვლად გამოიყენება ინფორმაციული სიგნალის გადაცემის ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სისტემები.

რაც შეეხება იმპულსური მაძლიერებლისათვის საჭირო ელექტრული ენერჯის მიწოდებას, ის შეიძლება განხორციელდეს:

- მკვებავი ცვლადი დენის ქსელიდან დაბალი სიხშირის ტრანსფორმატორით და გამმართველით (სურ. 5.9);
- ძალური გასაღების გამოსავალი წრედიდან (სურ. 5.7);
- იზოლირებული მუდმივი დენის წყაროებიდან (სურ. 5.8).



სურ. 5.8 მმართველი იმპულსების მაფორმირებელი იზოლირებული წყაროებიდან



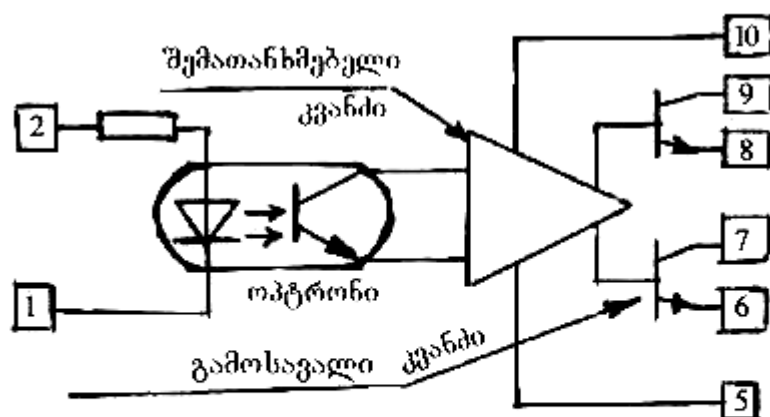
სურ. 5.9 მმართველი იმპულსების მაფორმირებელის კვება დაბალი სიხშირის ტრანსფორმატორიდან

## 5.4. ძალური ნახევარგამტარული გასადებების დრაივერები

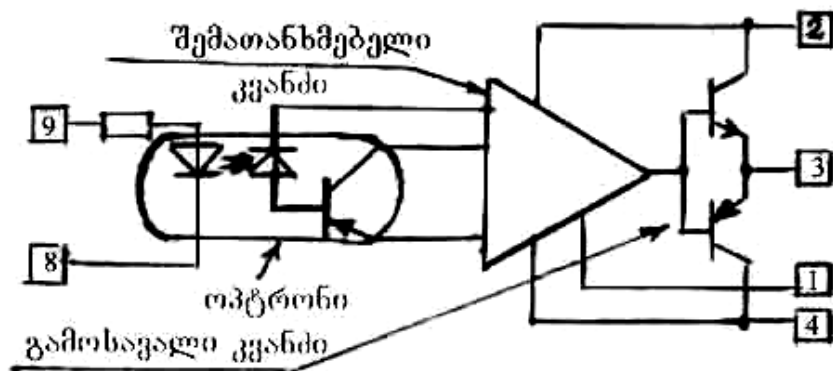
მმართველი იმპულსების მაძლიერებელს, რომელიც საჭირო ფორმისა და სიმძლავრის სიგნალს იძლევა და დამზადებულია ინტეგრალური მიკროსქემის სახით, დრაივერს უწოდებენ (ინგლისური სიტყვის “driver”-ის მიხედვით, რაც ქართულად “მძღოლს” ნიშნავს). ასეთი მიკროსქემების დამზადება სწარმოებს ჰიბრიდული ტექნოლოგიის მიხედვით როგორც ცალკეული ძალური გასადებებისათვის, ისე ბოგური კონფიგურაციის ძალური სქემებისთვის (ზედა და ქვედა დონის გასადებების განცალკევებული მართვით).

ინფორმაციული არხის პოტენციალური (გალვანური) განმხოლოების მეთოდის მიხედვით არსებობს: დრაივერები ჩაშენებული ოპტრონული და მაღალი სიხშირის ტრანსფორმატორიანი განმხოლოების წრედებით და დრაივერები, რომელთათვისაც გათვალისწინებულია პოტენციალური განმხოლოების საშუალებათა გარედან მიერთება. დრაივერთა ელექტრული კვება შეიძლება განხორციელდეს წინა პარაგრაფში განხილული ნებისმიერი მეთოდის გამოყენებით.

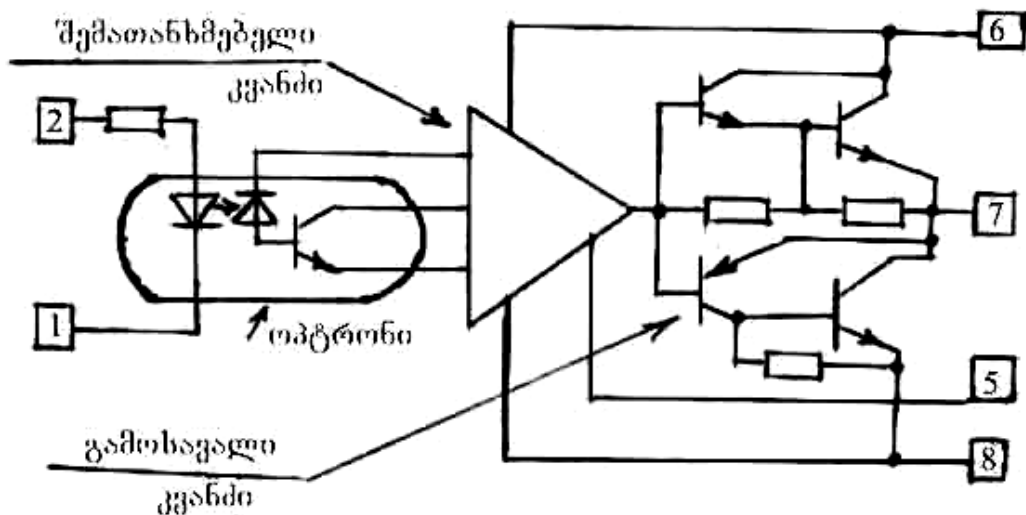
მაშასადამე, დრაივერი სპეციალიზებულ მიკროსქემას წარმოადგენს. დრაივერის სტრუქტურული სქემა სხვადასხვა ტიპის ძალური ნახევარგამტარული გასადებისთვის სხვადასხვაა. ქვემოთ ნაჩვენებია: ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორის (სურ. 5.10), იზოლირებულჩაბკეტიანი ველით მართული ძალური ტრანზისტორის (სურ. 5.11) და იზოლირებულბაზიანი ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორის (IGBT) (სურ. 5.12) დრაივერების სტრუქტურული სქემები.



სურ. 5.10 ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორული გასადების დრაივერის სტრუქტურული სქემა



სურ. 5.11 იზოლირებულხამკეტიანი ველით მართული ტრანზისტორული გასაღების დრაივერის სტრუქტურული სქემა.



სურ. 5.12. იზოლირებულბაზიანი ბიპოლარული ტრანზისტორული გასაღების დრაივერის სტრუქტურული სქემა

დრაივერის სტრუქტურაში შედის: შესავალი, შემათანხმებელი და გამოსავალი კვანძები. შესავალი კვანძი წარმოადგენს საინფორმაციო არხის სიგნალის მიმღებს. შემათანხმებელი კვანძი ახდენს საინფორმაციო სიგნალის გარდაქმნას საჭირო პოტენციალური დონის მმართველ სიგნალად. გამოსავალ კვანძში საბოლოოდ ჩამოყალიბდება მოთხოვნილი ფორმისა და სიმძლავრის მმართველი სიგნალი.

სწორად, დრაივერს დამატებით დაკისრებული აქვს ძალური გასაღების გადატვირთვისგან დაცვის ფუნქცია ან მიკროსქემის კვების ძაბვის დონის თვალთვალი.

დრაივერის შესავალი კვანძი წარმოადგენს ოპტიკურ წყვილს (ოპტრონს). ზოგჯერ ოპტრონის ნაცვლად დრაივერის სტრუქტურაში გამოყენებულია ლოგიკური სქემა,

რომელიც საინფორმაციო სიგნალს აწვდის პოტენციალური განმხოლოების მადალსისშირულ ტრანსფორმატორს.

შემათანხმებული კვანძი აწყობილია ერთი ან რამდენიმე გასაღებისებურ რეჟიმში მომუშავე ტრანზისტორის გამოყენებით. მისი ფუნქციაა ინფორმაციული სიგნალის დონის ამადლება. ამ კვანძს უნდა ჰქონდეს დენის გაძლიერების მაღალი კოეფიციენტი და გაზრდილი სწრაფქმედება. აქედან გამომდინარე, სქემაში გამოყენებული ტრანზისტორები არ შედიან გაჯერებაში და სქემას აქვს დენის გადაცემის მაღალი კოეფიციენტი.

ყველა ტიპის ძალური ტრანზისტორული გასაღების დრავერების როგორც შესავალი, ისე შემათანხმებული კვანძი ერთნაირი სქემური შესრულებისაა. დრავერების გამოსავალი კვანძის სქემურ შესრულებას კი განაპირობებს ძალური გასაღების მართვის წრედის მახასიათებლები და დროითი პარამეტრების მართვის რეჟიმზე დამოკიდებულების ხასიათი (მმართველი სიგნალის ოპტიმალური ფორმა).

დრავერი, როგორც წესი, წარმოადგენს დასრულებულ მოწყობილობას. იგი გათვალისწინებულია კონკრეტული ტიპის ტრანზისტორული გასაღებისთვის და მართვის წრედთან მისი მიერთების დროს პრობლემები არ წარმოიქმნება. დამატებითი სქემოტექნიკური დონისძიების გატარება მხოლოდ იმ შემთხვევაშია საჭირო, როდესაც აუცილებელია მართვის სიგნალის პარამეტრების შეცვლა, ანდა ერთი დრავერიდან პარალელურად შეერთებული გასაღებების მართვა.

დრავერის თვისებების შეფასება ხდება პარამეტრთა სისტემით. დრავერის ძირითადი პარამეტრებია: შესავალი და გამოსავალი სიგნალების ელექტრული პარამეტრები (დენი, ძაბვა), მუშა ტემპერატურული დიაპაზონი, სიგნალის გადაცემის დაყოვნების დრო, გაფანტული სიმძლავრე.

საზღვარგარეთის ფირმები და კომპანიები (მოტოროლა, სემიკონი, მიცუბიში და სხვა) აწარმოებენ სხვადასხვა ტიპის დრავერებს როგორც ერთეული ძალური გასაღებებისთვის, ისე ნახევრადბოგური და ბოგური კონფიგურაციის სქემებისთვის. დრავერების პარამეტრები მოცემულია ცნობარში [1].

## ლიტერატურა

1. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи.  
М. Издательский дом “Додека – XXI”. 2005.

## შინაარსი

შესავალი . . . . .	3
1. ძალური ტრანზისტორული გასაღებები	
1.1. ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორული გასაღები . . . . .	6
1.2. ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორების საექსპლოატაციო პარამეტრები . . . . .	8
1.3. ძალური ველით მართული ტრანზისტორები იზოლირებული მართვის ელექტროდით . . . . .	10
1.4. ძალური ღღნ გასაღებების საექსპლოატაციო პარამეტრები . . . . .	13
1.5. ძალური ბიპოლარული ტრანზისტორული გასაღები იზოლირებული ბაზით	16
1.6. სტატიკური ინდუქციური ტრანზისტორული გასაღები . . . . .	19
2. სრულად მართვადი ტირისტორული გასაღებები . . . . .	22
2.1 ძალური ოროპერაციული (გამორთვადი) ტირისტორი . . . . .	22
2.2 ინქუდციური ტირისტორული გასაღები . . . . .	26
2.3 ველით მართული ტირისტორული გასაღები . . . . .	28
3. ნახევარგამტარული გასაღებების სითბური მახასიათებლები . . . . .	30
3.1. უსაფრთხო რეჟიმების არე . . . . .	31
4. ნახევარგამტარული გასაღებების სითბური მახასიათებლები . . . . .	36
4.1. დანაკარგები ძალურ ნახევარგამტარულ გასაღებებში . . . . .	38
4.2. სითბური წინაღობები . . . . .	41
4.3. ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების მართვის სისტემები . . . . .	46
5. ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების მართვის სისტემები . . . . .	48
5.1. მართვის სისტემის დანიშნულება . . . . .	48
5.2. გარდამქმნელების სისტემის სტრუქტურული სქემები და მუშაობის ზოგადი პრინციპი . . . . .	48
5.3. მმართველი იმპულსების მაფორმირებელთა ძირითადი ტიპები . . . . .	52
5.4 ძალური ნახევარგამტარული გასაღებების დრაივერები . . . . .	56
ლიტერატურა . . . . .	59