

# ТЕСТЕР ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ТОПЛИННО СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА СИЛЮБИ ДИОДИ И ДИОДНИ СБОРКИ

проф.Иван Илиев Стоянов, Огнян Николов Маринов

## 1. Въведение.

Проблемите, свързани с измерване на топлинно съпротивление на полупроводникови прибори, се третираат отдавна в световната литература. Описани са методики и решения за определяне на този параметър [1],[2],[3],[4]. Независимо от това темата за измерване на топлинно съпротивление отново придобива актуалност поради все по-насовото навлизане на средномощните и мощните прибори в индустрията и повишаващите се изисквания за безотказната им работа. От друга страна постиженията на микропроцесорната техника дават нови възможности за управление на измервателните процедури и обработка на получената информация така, че да се разкриват нови качествени характеристики на приборите. Тук се предлагат метод и съществени постановки, съответстващи на тези тенденции. Решенията по-конкретно се отнасят за измерване на стационарно и преходно топлинно съпротивление на средномощни и мощни елементи и сборки. Предвидена е възможност за експресен контрол за надеждна работа, базирана върху проверката на този параметър. Предложените методи и решения с лекота могат да бъдат използвани за аналогични тествания и на триизводни прибори като транзистори, тиристорни и др.

## 2. Същност на метода

За да се уточнят функционалните и техническите параметри на тестера е необходимо предварително да се изясни спецификата на тествания параметър и връзката му с надеждната работа на полупроводниковите диоди.

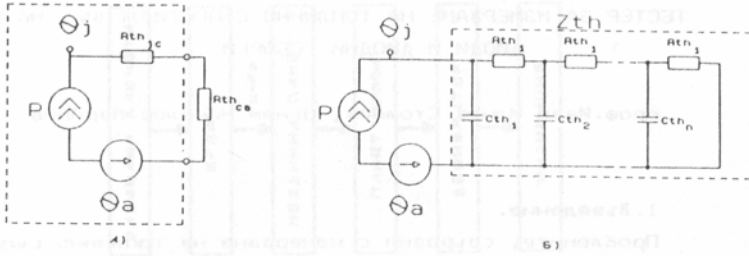
На фиг.1.а е показан електротоплинният модел на системата PN-преход-околна среда в стационарен режим, а моделът от фиг.1.б отразява преходните процеси.

В стационарен режим топлинното съпротивление е разделено на две основни съставки. Може да се напише:

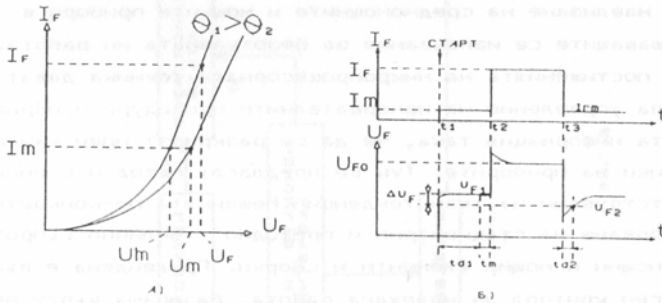
$$(1) R_{thjc} = \frac{\theta_j - \theta_c}{P}; R_{thca} = \frac{\theta_c - \theta_a}{P}; R_{thja} = R_{thjc} + R_{thca}$$

където:  $R_{thjc}$  е топлинното съпротивление переход - корпус, наричано още вътрешно топлинно съпротивление;

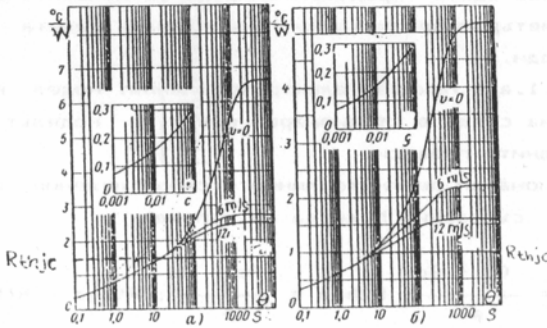
$R_{thca}$  - топлинно съпротивление от корпуса на прибора до околната среда;



Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

$R_{thja}$  - общо топлинно съпротивление (преход-околна среда);

$P$  - разсейвана в прибора електрическа мощност;

$\theta_j, \theta_c$  и  $\theta_a$  са съответно температурите на прехода, на корпуса и на околната среда.

Поради наличието на топлинни капацитети в системата при рязко увеличаване на разсейваната мощност температурата на прехода не нараства моментално, а се изменя по закон, който се моделира с паралелно и последователно свързани RC-групи. Така се дефинира преходно топлинно съпротивление, наричано още топлинен импеданс:

$$(2) \quad R_{thja}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n R_{thja_i} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{R_i \cdot C_i}})}{1}$$

Израз (1) показва, че общото топлинно съпротивление може да се определи като се знае разсеяната мощност  $P$ , температурата на околната среда и температурата на прехода. В тестера се прилага известния метод за индиректно определяне на температурата на прехода чрез измерване на температурното изменение на падението на напрежението на отпушения диод:

$$(3) \quad \Delta U_F = \sigma \cdot \Delta \theta_j, \text{ за } I_F = \text{const}$$

където  $\sigma = 1,8 - 2,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  е значително стабилна величина за определен тип диоди при един и същи ток. Тогава общото топлинно съпротивление се определя с формулата:

$$(4) \quad R_{thja} = \frac{\Delta \theta_j}{\Delta P} = \frac{\Delta U_F}{\sigma \cdot \Delta P},$$

където  $\Delta P = P_2 - P_1$  е градиентът на разсейваната мощност в прибора, определена като разлика между грееща и изнервателна мощност;

$\Delta \theta_j$  и  $\Delta U_F$  - съответните изменения на температурата и на напрежението на прехода.

Времениаграмите на фиг. 2 показват преходните процеси и установяващите се стойности на величините. Следователно коректното измерване на топлинното съпротивление изисква продължителността на греещия ток да е по-голяма от продължителността на преходните процеси в системата. Разликата в падението на напрежението  $\Delta U_F$  се намира чрез измерване на напрежението  $U_{F1}$  при изнервателен ток  $I_m$  преди подаване на греещия ток и на напрежението  $U_{F2}$  измерено след отпадане на греещата мощност, но при същия изнервателен ток.

На Фиг. 5 са дадени зависимостите на преходното топлинно съпротивление за диоди В10 (10А) и В25 (25А), оконплектовани със стандартни охладители. Тези зависимости показват, че преходните процеси при естествено охлаждане са твърде продължителни – около 1000 s, а при по-нощни диоди – до 3000 s. Преходният процес, обаче, при идеално охлаждане е с продължителност около 10 s, което означава, че фактически се касае въпросът за топлинното съпротивление  $R_{thjc}$ , тъй като в този случай  $\theta_c = \theta_a$ . Тази специфика позволява да се организира експресен контрол на диоди с радиатори и на диодни сборки.

Топлинното съпротивление  $R_{thjc}$  има неизменна стойност за всеки тип прибор, определяща се от конструктивните характеристики и използваните материали. Влошаването на качеството на запояването на кристала към подложката и корпуса на прибора са причина за влошаване на теплоотделянето и увеличаване на топлинното съпротивление  $R_{thjc}$ . Като следствие, при един и същи разсеяни мощности се увеличава температурата на прехода. Това, заедно с дефектната технология, определя прибора като потенциално ненадежен. В същото време втората съставка на топлинното съпротивление  $R_{thca}$  има високостабилна стойност в производствени условия, тъй като зависи изключително от геометричните размери на корпуса на прибора и на охладителните тела.

### 3. Основни параметри и структурна организация на тестер за измерване на $R_{th}$ .

Изборът на структурната организация и схемните решения са подчинени на следните основни изисквания:

а) Хардуерно и софтуерно тестерът да позволява както изследвания на топлинен импеданс и на статично топлинно съпротивление, така и експресен контрол за надеждността на силови полупроводникови прибори. За повишаване на ефикасността на контрола е целесъобразно да се предвиди допълнителен тест и за обратния ток на диодите;

б) Приета се хардуерно тестерът да покрива токова гама от 0,1А до 50А и напрежение за измерване на обратния ток до 500V. Универсален тестер за контрол на всички произведени диоди ще се получи с утежнена конструкция и схемотехника и икономически неизгоден.

в) За да се обезпечи голяма производителност при тестване на диодни сборки е целесъобразно тестерът да е оконплектован с подходящи конутиращи блокове;

г) Обслужването да е максимално просто при изследване на диоди и особено при провеждане на експресен контрол;

д) Тестерът да има възможност да запаметява голям брой тестови програми, които да позволяват тестването на до 50 вида диоди, респективно диодни сборки;

е) Документирането на резултатите да се осъществява с печатащо устройство;

ж) Да има връзка с външен компютър по стандартен интерфейс (RS232 и/или IEEE488) за да може да се осъществява автоматизиран анализ и моделиране по измерените стойности.

Обобщената структурна схема на тестера е показана на фиг.4. Тя се състои от стимулиращо-измервателен модул СИМ, комутиращ модул, блок за управление и блок за комуникация (клавиатура, индикация и интерфейс).

**СТИМУЛИРАЩО-ИЗМЕРВАТЕЛЕН МОДУЛ.** С него се генерират стимулиращите електрически величини и се измерват съответните реакции на тестваните диоди. Програмно могат да се задават един от следните режими на работа:

а) РЕЖИМ "I" - генератор на ток / измервател на напрежение. Токът се задава с три цифри в следните обхвати:  $0\pm 999\text{mA}$ ;  $0\pm 9,99\text{A}$  и  $0\pm 49,9\text{A}$ . Едновременно се измерва и полученото падение на напрежението в обхвати  $0\pm 999\text{mV}$  и  $0\pm 9,99\text{V}$ .

б) РЕЖИМ "V" - генератор на напрежение / измервател на ток. Генерира се напрежение в обхват  $0\pm 500\text{V}$ . Измерва се тока в обхват  $0\pm 9,99\text{mA}$ .

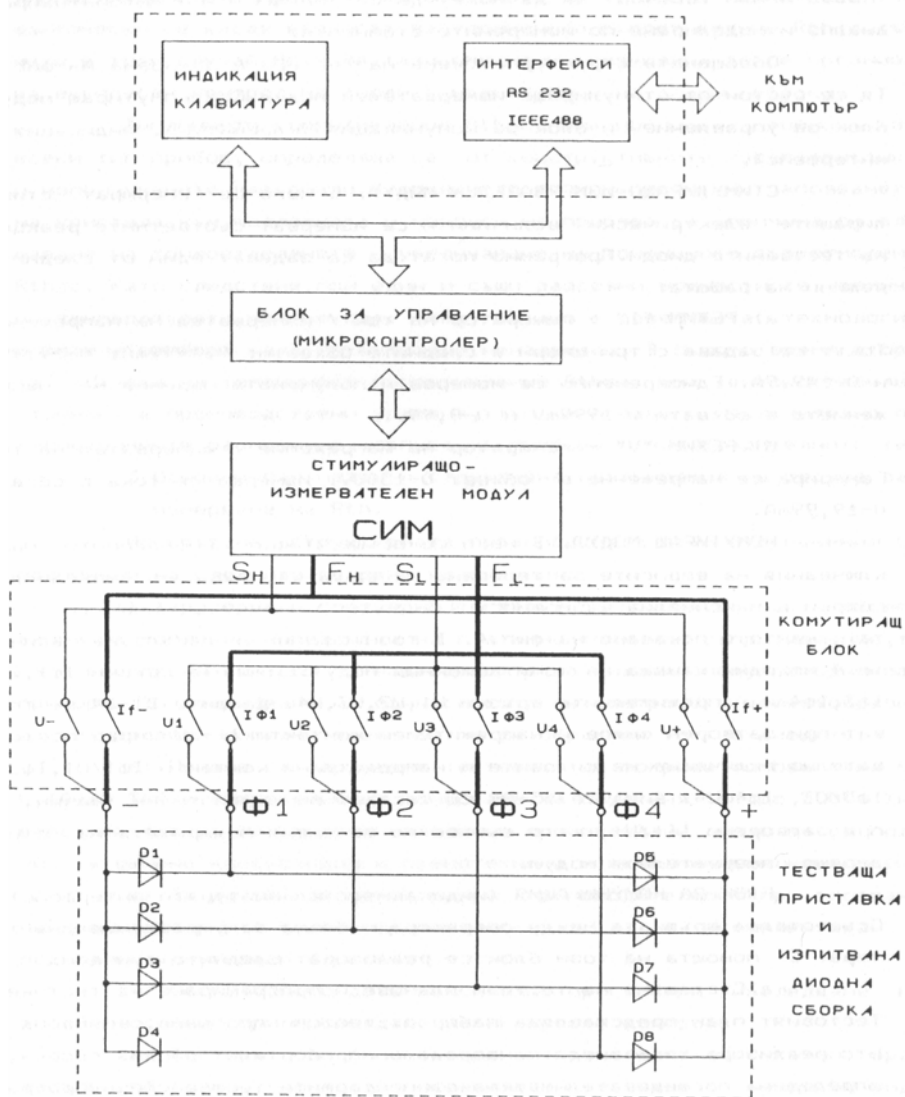
**КОМУТИРАЩ МОДУЛ.** В него се осъществяват необходимите превключвания на веригите за тестване на единични диоди и на диодни сборки с максимална възможност 4x2 диода (схема Паркингов със защита), както е показано на фиг.4. В този случай се използват всичките 4 изходни канала на комутационния модул: силовите връзки Iф1, Iф2, Iф3, Iф4 и напрежителните връзки U1, U2, U3, U4. Диодите D1-D4 се тестват при затворен силов и напрежителен контакти If-/U- чрез последователно включване на силовите и напрежителни контакти Iф1/U1, Iф2/U2, Iф3/U3, Iф4/U4. Диодите D5-D8 се тестват по аналогичен начин, но при затворени If+/U+, като съответно се сменя поляритета на стимулиращо-измервателния модул.

**БЛОК ЗА КОМУНИКАЦИЯ** (индикация, клавиатура и интерфейс). Осъществява връзката между оператора и блока за управление на тестера. С помощта на този блок се реализират следните функции:

а) Съставяне на тестови планове и програмиране на тестовете. Тестовият план представлява набор от тестови програми, всяка от които реализира тестването на определен прибор или диодна сборка, в определена последователност на елементарните тестове. Тези програми са заложили в панелта на блока за управление и с елементарни действия от страна на оператора или команди по интерфейса може да бъде приведена в действие.

б) Индикаторният блок показва:

- номера на избраната тествача програма и параметрите на тестването;



ФИГ. 4.

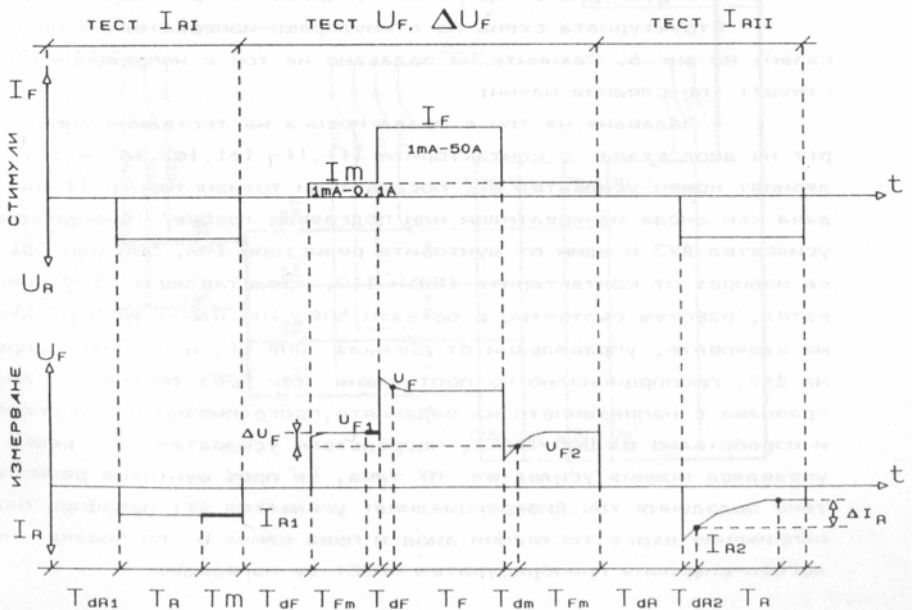
- класификация "годен-негоден" по определени признаци;
- изобразяване на резултата от изиране на параметрите  $\Delta U_F$ ,  $U_F$ , и  $R_{th}$ .

в) Интерфейсът осигурява дистанционно управление и предаване на данните от измерването от и към външно устройство. Възможна е връзка с печатащо устройство по интерфейса RS232. Специална опция прави тестера пригоден за свързване с персонален компютър по инструменталния интерфейс IEEE488 и работата му в компютърни измервателни системи.

**БЛОК ЗА УПРАВЛЕНИЕ.** Служи за програмиране на тестовите процедури, управление на съответните конутации и обработка на получените резултати от измерването. Представява микропроцесорен контролер с енергозащитена постоянна и оперативна памет.

4. Времени диаграми и изходни алгоритми за изобразяване на програмното осигуряване.

Тестовите процедури е целесъобразно да се съставят в съответствие с временни диаграмите на прилаганите стимулиращи въздействия и получените реакции, показани на фиг.5.



ФИГ. 5.

Всички амплитудни и временни параметри на стимулите са програмируеми. В три последователни тестови процедури се определят: обратният ток на незагрягата структура (тест  $I_{RI}$ ); параметрите падение на напрежението (тест  $U_F$  и  $\Delta U_F$ ); и обратен ток след подгряване (тест  $I_{RII}$ )

Чрез отделни програмни модули се осъществяват следните режими на работа на тестера:

а) ЕКСПРЕСЕН КОНТРОЛ. Тестването се осъществява в рамките на един цикъл, отразяващ времедиаграмите на фиг.5. Продължителностите на токовете и напрежителните импулси са съкратени в рамките до около  $1s$ , през което време се проявява вътрешното топлинно съпротивление  $R_{thjc}$  преход-корпус на изпитваните прибори;

б) ВИСОКОНАДЕЖДЕН ЕКСПРЕСЕН КОНТРОЛ. Тестването се осъществява в многократно повторяеми  $n$ -цикли ( $n \leq 1000$ ) по избор на оператора. Производителността на тестера в този случай се намалява за сметка на увеличаване на надеждността на контрола;

в) ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВОЛТ-АМПЕРНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ. Програмират се границите на стимулиращи токове и напрежителни развилки, брой заснети точки, продължителност на тествашите импулси и др.;

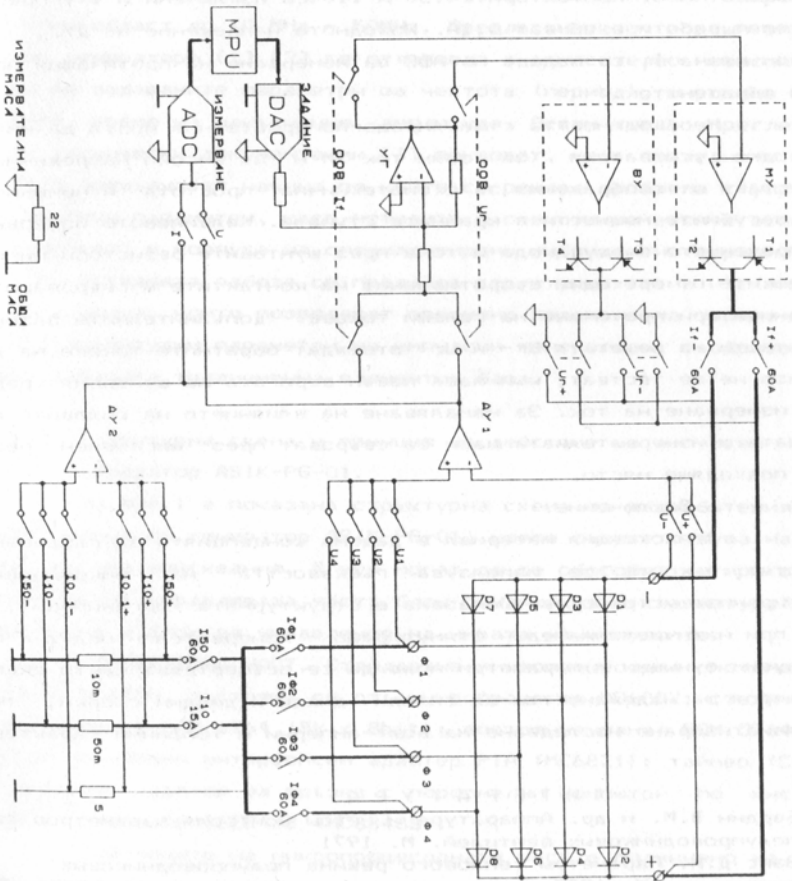
г) ИЗСЛЕДВАНЕ И МОДЕЛИРАНЕ НА СИСТЕМАТ  $PN$ -ПРЕХОД - ОКОЛНА СРЕДА. В този режим продължителността на стимулиращите въздействия обхваща целия топлинен преходен процес за установяване на температурата на  $PN$ -прехода. Чрез многократно измерване се сменя кривата на топлинния импеданс.

#### 5. Структурна схема на стимулиращо-измервателния модул.

Структурната схема на стимулиращо-измервателния модул е показана на фиг.6. Режимите на задаване на ток и напрежение се осъществяват по следния начин:

\* Задаване на ток в права посока на тествания диод - Изборът на диод става с контакторите  $I_{f+}$ ,  $I_{f-}$ ,  $I_{f1}$ ,  $I_{f2}$ ,  $I_{f3}$  и  $I_{f4}$ . Двуполярният мощен усилвател МУ, посредством транзисторите T1 или T2, подава към диода измервателен или подгряващ токове. Диференциалният усилвател ДУ2 и един от шунтовите резистори  $10\Omega$ ,  $50\Omega$  или  $5\Omega$ , които се избират от контакторите I50 и I10, представляват I-V преобразувател, работещ съответно в обхвати 50A, 10A или 0,1A. При затваряне на ключовете, управлявани от сигнала 00В  $I_f$ , изходното напрежение на ДУ2, пропорционално на протичащия ток през тествания диод, се сравнява с напрежението на заданието, програмирано от микропроцесора и изработвано от ЦАП (DAC), посредством усилвателя на грешка УГ. УГ управлява мощния усилвател МУ така, че през шунтовия резистор да тече зададения ток. Диференциалният усилвател ДУ1 нащабира падът на напрежение върху тествания диод и през ключа U го подава на аналогово-цифровия преобразувател (ADC) за измерване.





ЭИЛТ. 5.

\* Задаване на напрежение в обратна посока на тествания диод - Изборът на диод става с контакторите IФ1, IФ2, IФ3 и IФ4 и релетата Ur- или Ur+. Двуполярният високоволтов усилвател ВУ посредством транзисторите Т3 или Т4 подава към диода запушващо напрежение. Диференциалният усилвател ДУ1 нащабира падът на напрежение върху тествания диод. При затваряне на ключовете, управлявани от сигнала 00В Ur, изходното напрежение на ДУ1, пропорционално на напрежението върху тествания диод, се сравнява с напрежението на задаването, програмирано от микропроцесора и изработвано от ЦАП (DAG), посредством усилвателя на грешка УГ. УГ управлява високоволтовия усилвател ВУ така, че напрежението върху тествания диод да съответствува на зададеното от MPU. Контакторите I50 и I10 са изключени и I-V преобразувателят работи в обхват 0,1А. Изходното напрежение на ДУ2, посредством ключа I, се подава на АСР за измерване на протичащия през диода обратен ток.

Необходимостта стимулиращо-измервателния модул да има два изходни усилвателя (за голям ток УМ и за високо напрежение) се обуславя от съображения за схемотехнична простота и минимизиране на загубните мощности в крайните стъпала. Келвиновото измерване на напрежението върху диода и тока през шунтовите резистори минимизира грешките от преходни съпротивления на контактите и свързващите проводници при протичане на големи токове. Допълнителните заземяващи контакти на релетата Ur- и Ur+ отвеждат обратните токове на диодите, които не се тестват, към маса извън веригата на шунтовия резистор за измерване на ток. За намаляване на влиянието на силовите вериги общата и измервателната маса се свързват през нискоомен резистор на подходящо място.

#### 6. Заключение.

В настоящия материал е дадена концепцията за създаване на тестер, в който се използва гъвкавостта на микропроцесорно базираните устройства. Показана е структурната организация, в която при наличието на един стимулиращо - измервателен модул с програмируеми функции и параметри може да се осъществява както експресен контрол за надеждността на силови диоди и диодни сборки, така и автоматизирано изследване на волт-амперни и топлинни характеристики.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бардин В.М. и др. Аппаратура и метро контроля параметров силовых полупроводниковых вентиляей. М. 1971
2. Закс Д.И. Параметры теплового режима полупроводниковых микросхем. М. 1983
3. Blaha E., Havlik. Mereni polovodnicovych sucastek. Praha. 1970
4. Чебовский О. Г. и др. Силовые полупроводниковые приборы. М. 1981.
5. Чебовский О. Г. и др. Испытания силовых полупроводниковых приборов. М. 1981