

ELEKTRON CİHAZLARIN ETİBARLIĞININ NƏZƏRİ TƏDQIQI

E.Ə. KƏRİMOV, S.N. MUSAYEVA

Azərbaycan Dövlət Texniki Universiteti,
Azərbaycan, Bakı şəh., H. Cavid pros. 25, AZ-1073
E-mail: E_Kerimov.fizik@mail.ru

Müasir kosmik aparatların radioelektron və elektron avadanlıqları milyonlarla mürəkkəb qurğulara malik olduğundan belə aparatların etibarlığının tədqiq olunması mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Etibarlığa – obyektin verilmiş funksiyaları verilmiş rejimlərə və texniki xidmətə uyğun gələn verilmiş hədudlarda yerinə yetirməsi xassəsi kimi baxılmalıdır. Etibarlığın ən əsas kəmiyyət kriteriyalarından biri kimi imtinaların intensivliyi tədqiq olunur.

Açar sözlər: etibarlıq, imtina, imtinaların intensivliyi, cihazın köhnəlməsi, istismar müddəti, istismar parametri.

UOT: 666.9-129

PACS: 73.40.Ns, 73.40.Sx, 72.10.-d

İmtina dedikdə məmulatın işgörmə qabiliyyətinin pozulması olduğundan, elektron cihazın işgörmə qabiliyyətinin müəyyən t zamanı müddətində saxlanması xassəsi imtinasız rejimdir. Elektron cihazın bu xassəsi t zaman müddətində $p(t)$ imtinasız işləmə ehtimalı ilə xarakterizə olunur. $p(t)$ imtinasız işləmə ehtimalı aşağıdakı kimi hesablanabilir [1]:

$$p(t) = \frac{n(t)}{N},$$

burada, $n(t)$ – istənilən müşahidə anında düzgün işləyən cihazların sayı; N – tədqiq olunan cihazların başlanğıc ümumi sayı; $n(t)/N$ – isə istənilən t zaman müddətində ayrılıqda götürülmüş bir cihazın imtinasız işləmə ehtimalını təyin edir.

İmtinaların $\lambda(t)$ intensivliyi cihazların sıradan çıxması intensivliyini xarakterizə edir və aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n}{(N - d)\Delta t},$$

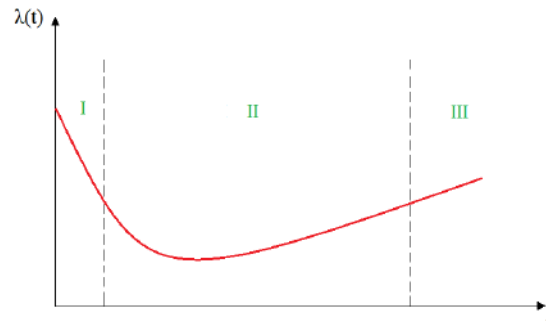
burada, n – cihazların kiçik Δt zaman müddətində imtinalarının sayı; N – tədqiq olunan cihazların ümumi sayı; d – isə Δt intervalının başlamasına kimi imtina edən cihazların sayıdır.

İmtinasız işləmə ehtimalı ilə imtinaların intensivliyi arasında belə bir əlaqə vardır [2,3]:

$$p(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right].$$

Elektron cihazlar üçün imtinaların $\lambda(t)$ intensivliyi üç xarakterik zaman intervalına malikdir (şəkil 1). Başlanğıc zaman intervalı (I oblast) ilkin imtinalara (cihazların işə başlama periodu) uyğun gəlir – bu imtinalara səbəb çox güman ki, tez bir zamanda üzə çıxan gizli istehsal defektləridir. İkinci zaman sahəsi (II oblast) $\lambda(t)$ -nin qiymətinin zamana görə çox az dəyişən və ilkin imtinalar periodu ilə müqayisədə kifayət qədər az olan

normal istismar perioduna uyğun gəlir. Şəkil 1-dən göründüyü kimi üçüncü zaman sahəsində (III oblast) imtinaların intensivliyi cihazların köhnəlməsi səbəbindən yenidən artır. Bu sahədə cihazların parametrlərinin dəyişməsi səbəbindən imtinalar üstünlük təşkil edir.



Şəkil 1. İmtinaların intensivliyinin zamandan asılılığı.

Bir imtinaya qədər t_{or} orta müddət imtinaların $\lambda(t)$ intensivliyi ilə aşağıdakı kimi asılıdır:

$$t_{or} = \frac{1}{\lambda(t)}.$$

$\lambda(t) = 5 \cdot 10^{-6}$ saat⁻¹ və $t = 5000$ saat olduqda $\lambda(t) \cdot t = 2,5 \cdot 10^{-2}$ və deməli, $p(t) = p(5000) = 0,975$; $t_{or} = 2 \cdot 10^5$ saat yəni, baxılan misalda imtinaya qədər orta zaman müddəti 20000 saat təşkil edəcəkdir.

Etibarlığın göstəriciləri cihazların çox mühüm istismar parametri olan elektron cihazların onların istismar zamanı zəmanətli işgörmə vəziyyətinin müddətini qərarlaşdırən uzunömürlüyü təyin edir [4]. Elektron cihazların parametrlərinin dəyişməsi xarakterinə uyğun olaraq imtinalar iki böyük qrupa ayrılır:

1) cihazın parametrlərinin impulsu (sıçrayışlı) dəyişməsi ilə xarakterizə olunan katastrofik (qəfildən) imtinalar;

2) parametrlərin hamar şəkildə dəyişməsi nəticəsində yaranan şərti imtinalar.

Birinci növ imtinalar əksər hallarda cihazların işgörmə qabiliyyətinin tamamilə itirilməsinə gətirir. İkinci halda isə cihaz işgörmə qabiliyyətini tam, yaxud qis-

mən saxlaya bilər, lakin onun parametrləri zaman keçdikcə başlanğıc və ya kompleks qiymətlərdən nəzərəcarpacaq dərəcədə fərqlənəcəkdir.

Katastrofik imtinalar bir qayda olaraq, konstruksiyanın və ya texnologiyanın çatışmazlıqları və həmçinin istismar şəraitləri ilə şərtlənir.

Katastrofik imtinalara gətirən konstruktiv çatışmazlıqlar cihazların elementlərində yer alan materialların istilik genişlənmə əmsallarının müxtəlifliyi ilə əskara çıxır ki, nəticədə müxtəlif növ kontaktların mexaniki pozulmasına, yarımkeçirici kristalların çatlamasına gətirir. Bu hadisə daha çox güclü cihazlarda yer alır. Belə növ defektlərə yol verməmək üçün konstruksiyanın ayrı-ayrı elementləri arasında termokompensə aralıqları tətbiq olunur.

Yüksək tezlikli cihazlarda elektrodların ölçüsü əksər hallarda 10mkm təşkil edir. Söylənənlər xüsusən yarımkeçirici cihazlara aid edilir. Belə cihazların çıxışları uzunluğuna görə tamamilə bircins yaradılması mümkün olmayan nazik (8 mkm) keçiricilərdən hazırlanır. Kontaktların sıradan çıxması həm də daxili uzun çıxışların istifadə olunması zamanı nəzərəcarpacaq dərəcədə temperatur fərqlərinin yaranması və kontaktların lehilməmə proseslərinin texnoloji pozulması ilə baş verə bilər. Çıxışların qırılması və yanmasından əlavə elektron cihazlarda keçid və ya oksid təbəqələrin deşilməsi, qısa qapanmalar mümkündür. Deşilmələr bütün növ elektron cihazlarda yer alır. Onlar müxtəlif elektrodlar arasında qısa qapanmalara gətirir. Deşilmələrin səbəbi texnologiyaların pozulması və qeyri-mükəmməlliyi, cihazların işləmə rejimlərinin gözlənilməməsi ilə əlaqədar olan qeyri-düzgün istismarla şərtlənir. Planar tranzistorlarda texnologiyaların qeyri-mükəmməlliyinə misal, oksid təbəqəsində deşilmələrin yaranmasının səbəbi olan mikroskopik dəliklərin mövcudluğudur. Fotorezistorun səthində tozcuqların olması aşındırma prosesindən sonra onların yerində dəliklərin yaranmasına səbəb olur [5].

Qeyri-düzgün istismar zamanı katastrofik imtinaların əsas səbəbləri sxemdə (qurğuda) cihazların işinin təkcə məxsusi etibarlılığı ilə deyil, həm də istismar şəraitlərindən asılı olaraq nəzərdən keçirmək vacib şərtidir. Yarımkeçirici cihazların bütün imtinalarının 70%-dən çoxu qeyri-düzgün istismar ilə şərtlənir. Qeyri-düzgün istismar olunmanın ən çox rast gəlinən misalı cihazların maksimal yol verilən rejimlərdən yuxarı və ya bu rejimə yaxın rejimlərdə istifadə olunmasıdır.

Yarımkeçirici cihazların etibarlılığını təyin edən ən mühüm parametrlərindən biri keçidin cihazda səpələn güclə, ətraf mühitin temperaturu və keçidlə ətraf mühitin istilik mübadiləsi şəraiti ilə təyin olunan maksimal yol verilən temperaturudur.

Cihaz tərəfindən səpələn gücün artması cihazın elementlərinin qızmasına gətirir. Temperaturun artması aşqarlı yarımkeçiricidə məxsusi elektrikkeçiriciliyinin payının böyüməsinə səbəb olur. Nəticədə hər hansı bir temperaturda elektron-deşik keçidi ümumiyyətlə mövcud olmayacaqdır. Maksimal yol verilən temperatur qismində cihazın əsas xassələrinin saxlandığı daha aşağı temperatur qəbul olunur. Keçidin temperaturu material (germanium, silisium, qallium arsenid və s.) və yarımkeçiricinin aşqarlanma dərəcəsi ilə təyin olunur.

Yüksək aşqarlıq dərəcəsinə malik yarımkeçiricilər (məsələn, tunel diodları) keçidin daha böyük $T_{max.k}$ maksimal yol verilən temperaturuna, zəif aşqarlı materiallar (məsələn, yüksək voltlu diod) əsasında cihazlar isə ən kiçik $T_{min.k}$ temperatura malik olur. Praktikada etibarlılığın artırılması üçün ətraf mühitin temperaturu 30...40°C məhdudlanır, işçi güc isə P_{max} qiymətinin yarısından aşağı qərarlaşdırılır.

Cihazların elektrodları arasında maksimal yol verilən gərginlik keçidin deşilmə gərginliyindən nəzərəcarpacaq dərəcədə aşağı səviyyədə qərarlaşdırılır:

- kollektor keçiddə yük daşıyıcıların çoxalmasının cərəyanın ötürülməsi əmsalına təsirinin olmaması tələbi səbəbindən;

- yarımkeçirici materialın texnoloji defektləri (qeyri-bircinslik, kənar qoşulmalar və s.) və bir sıra digər səbəblərdən.

Cərəyanların maksimal yol verilən qiymətləri materialın qeyri-bircinsliyi nəzərə alınmaqla keçidin qızması şəraitlərindən təyin olunur. Katastrofik imtinalar ümumi imtinaların sayının 15...20%-ni təşkil edir.

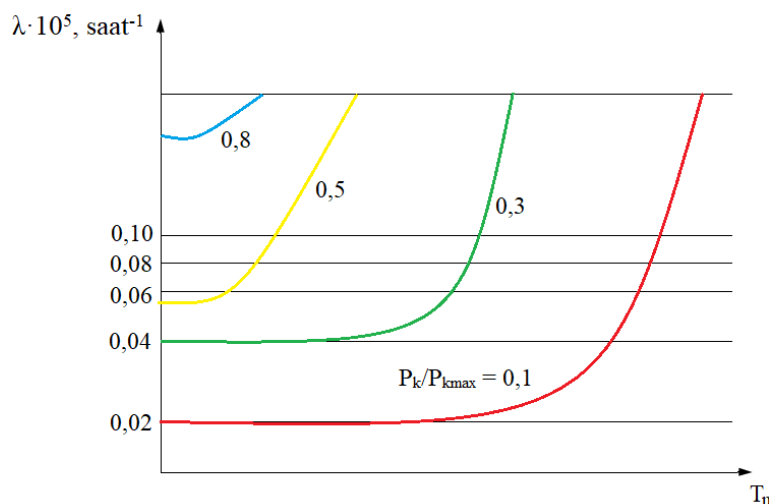
Əksər imtinalar cihazların parametrlərinin hamar dəyişilmələrinin çox yüksək yol verilən kənara çıxmaları ilə şərtlənir. Şərti imtinalar əksər hallarda yarımkeçirici cihazlarda səthdə və həcmdə baş verən fiziki və kimyəvi proseslərlə yaranır. Parametrlərin yol verilməyən dəyişilməsinə gətirən həcmi proseslər yarımkeçirici cihazlarda zəif rol oynayır. Yarımkeçirici cihazların parametrlərinin hamar dəyişilməsi əsasən səthdə baş verən hadisələrlə əlaqəlidir. Səth hallarının dəyişilməsi əks cərəyanların, ötürmə əmsallarının və deşilmə gərginliklərinin nəzərəcarpacaq dərəcədə dəyişilməsinə gətirir.

Yarımkeçiricilərin elektrofiziki xassələrinin qeyri-stabilliyini təyin edən ən mühüm faktorlardan biri rütubətin mövcudluğudur. Yarımkeçiricinin səthinə rütubətin düşməsinin qarşısını almaq üçün cihazların korpusu kifayət qədər germetikləşdirilir və bundan əlavə korpusun daxilinə rütubətdən (sorbent) – silikagel və ya alüminogel daxil edilir. Səthin xassələrinin qeyri-stabilliyinin digər səbəbi qələvi metalların (natrium, kalium, kalium) ionlarının oksid təbəqədə hərəkəti ilə bağlıdır. Belə ionların səthi sıxlığı 10^{14} ion/sm² qiymətini ala bilər. Bu ionlar silisium iki oksidin təbəqəsində keçidin xassələrinə və cihazın parametrlərinə xüsusən də artırılmış temperaturalarda təsir edən mütəhərrik həcmi yüklər yaradır.

Beləliklə, iş şəraitinin təsiri özünü həm katastrofik, həm də şərti imtinaların intensivliyində göstərir. Tranzistorlar üçün belə təsiri normallaşmış T_n temperaturun və səpələn P_k gücünün λ kəmiyyətinə təsirini şəkil 2-də verilmiş asılılıqlar əsasında göstərmək olar ($P_{k,max}$ kollektorda maksimalm yol verilən gücdür). Normallaşdırılmış temperatur aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$T_n = \frac{T_{i\text{şçi}} - T_{düşmə}}{T_{max} - T_{düşmə}}$$

burada, $T_{i\text{şçi}}$ – işçi temperatur; T_{max} – maksimal yol verilən temperatur; $T_{düşmə}$ – elektrik rejiminin düşməsinin başlanması temperaturudur.



Şəkil 2. λ kəmiyyətinin T_n -dən asılılığı.

Beləliklə, cihazların uzun müddətli və imtinasız (etibarlı) işləmələri zamanı istismar rejimlərini maksimal yol verilən rejimlərdən aşağı götürmək məqsədə uyğun sayılır. Cihazların etibarlığını təyin etmək üçün mexaniki, iqlim sınaqları və uzun ömürlüyə görə sınaqlar aparılır.

NƏTİCƏ

Son olaraq elektron cihazların imtinalarının intensivliyinin konkret qiymətlərini vermək olar. İmtinaya

qədər zaman periodu (şəkil 1, $\lambda(t)$ asılılığının I oblasti) müxtəlif elektron cihazlar üçün 1-100 saata qədər diapazonda dəyişir. İmtinaların intensivliyinin köhnəlmə perioduna uyğun gələn nəzərəçarpaq artım (şəkil 1, $\lambda(t)$ asılılığının III oblasti) yarımkeçirici cihazlar üçün müşahidə olunmur və bu şərt də belə cihazların uzun ömürlüyünü təyin edir. İmtinaların nominal rejimdə normal istismar perioduna uyğun gələn $\lambda(t)$ intensivliyi (şəkil 1, $\lambda(t)$ asılılığının II oblasti) diod və tranzistorlar üçün $10^{-7} \dots 10^{-3}$ diapazonunda yerləşir.

- [1] *Г.Г. Шишкин.* Приборы квантовой электроники. - М.: Сайнс-Пресс, 2004.
 [2] *А.А. Шука* /под ред. А.С. Сигова. Электроника, 2005.
 [3] *В.П. Драгунов, И.Т. Неизвестный, В.А. Гридчин.* Основы нанoeлектроники. - м" 2006.

- [4] *И.П. Степаненко.* Основы микроэлектроники. - М.; СПб.: Лаб. баз. знаний «Невский Диалект», физматлит, 2001.
 [5] *А.Н. Пухтин.* Оптическая и квантовая электроника. - М.: Высшая школа, 2001.

E.A. Kerimov, S.N. Musaeva

THEORETICAL INVESTIGATION OF THE RELIABILITY OF ELECTRONIC DEVICES

Radio-electronic and electronic equipment of modern spacecraft includes up to tens of millions of complex devices, so the problem of improving reliability is extremely important. Reliability is a property of an object to perform specified functions, preserving in time the values of the set indicators within the specified limits, corresponding to the specified modes and conditions of use and maintenance. Failure rate is investigated as one of the main quantitative reliability criteria.

Э.А. Керимов, С.Н. Мусаева

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Радиоэлектронное и электронное оборудование современных космических аппаратов включает в себя до десятка миллионов сложных устройств, поэтому проблема повышения надежности имеет крайне важное значение. Надежность – это свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания. В качестве одного из основных количественных критериев надежности исследуется интенсивность отказов.

Qəbul olunma tarixi: 19.01.2022