

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРНИХ МОДУЛІВ

Д. ф.-м. н. П. В. Горський^{1,2}

¹Інститут термоелектрики НАН та МОН України,
²Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича
Україна, м. Чернівці
gena.grim@gmail.com

В результаті аналізу та обробки результатів ресурсних випробувань термоелектричних генераторних модулів встановлено, що найкращим законом розподілу їх часу відмов є немонотонний дифузійний. Це обумовлено незастосовністю до термоелектричних генераторних модулів традиційної лінійної моделі відносної часової деградації їх основних параметрів, а саме генерованої вихідної потужності та коефіцієнта корисної дії. На основі цього розподілу визначаються стандартизовані показники надійності згаданих модулів.

Ключові слова: термоелектричний генераторний модуль, деградація параметрів, немонотонний дифузійний розподіл, еквівалентна інтенсивність відмов.

Традиційний підхід до надійності мікроелектронних виробів передбачає використання так званої лінійної моделі відносної часової деградації їхніх параметрів [1]. У цій моделі відносна зміна будь-якого параметра-критерію придатності мікроелектронного виробу по відношенню до початкового значення у момент введення в експлуатацію або постановки на випробування пропорційна часу, який минув від цього моменту. Відповідні коефіцієнти пропорційності для значної номенклатури виробів навіть наведено у довідковій літературі. А оскільки за критерій відмови, як правило, береться досягнення певним параметром (параметрами) деяких абсолютних граничних значень, то зрозуміло, що закон розподілу часу відмов певною мірою «копіює» закон розподілу параметрів виробів, тобто є нормальним [1] або логарифмічно нормальним [2]. Попри те, що ці закони не є експоненціальними, тобто не відповідають припущенню про сталу у часі інтенсивність відмов λ , для них — як, зокрема, рекомендується у [2] для логарифмічно нормального закону — можна ввести «еквівалентну інтенсивність відмов», як величину, обернену часу, протягом якого кількість придатних виробів зменшується у 2,72 рази. Таке введення інтенсивності відмов, значення якої також наведено у довідковій літературі для значної номенклатури виробів, дозволяє відносно просто моделювати і передбачати зміну надійності виробів залежно від режимів їх роботи, а також розраховувати надійність складних систем, які містять ці вироби, й оптимізувати ці системи. Для розрахунку надійності термоелектричних генераторних модулів такий підхід корисний тим, що дозволяє порівнювати між собою за надійністю термоелектричні генераторні модулі з різними схемами сполучення термоелементів.

Однак в результаті проведених нами досліджень деградації вихідної потужності та коефіцієнта корисної дії термоелектричних генераторних модулів у ході ресурсних випробувань було встановлено, що відносна деградація цих параметрів у часі підпорядковується не лінійному закону, а закону Вейбула. Тому закон розподілу часу відмов у вибірці термоелектричних генераторних модулів, підданих випробуванням, вже не «копіює» розподіл їхніх параметрів, тобто не є ні нормальним, ні логарифмічно нормальним. Для цього випадку, як показали результати наших досліджень, найбільш підходящим є так званий немонотонно-дифузійний закон розподілу часу відмов, запропонований та стандартизований співробітниками Інституту проблем математичних машин НАН України [3, 4].

Густина розподілу часу відмов в рамках цього закону має вигляд

$$\rho(x) = \frac{1}{\nu \mu x \sqrt{2\pi x}} \exp\left[-\frac{(1-x)^2}{2\nu^2 x}\right], \quad (1)$$

де μ — середнє напрацювання між відмовами;
 ν — коефіцієнт варіації швидкості деградаційних процесів;
 $x = t/\mu$;
 t — час, який минув з початку експлуатації (випробувань).

Відмінність нашого підходу до обробки результатів ресурсних випробувань полягає в тому, що ми запропонували не розраховувати параметри закону за даними ресурсних випробувань за так званими формулами «максимальної правдоподібності», а безпосередньо згладжувати дані ресурсних випробувань методом найменших квадратів.

Перевага пропонованого закону у порівнянні з іншими, наприклад з тим, що копіює людську смертність, полягає не лише в тому, що він найкраще описує результати ресурсних випробувань, а й тому, що будучи побудованим на основі нормального закону, він дозволяє визначити не лише значення стандартизованих показників надійності, як то середнього напрацювання між відмовами, гама-відсоткового ресурсу, імовірності безвідмовної роботи у заданому інтервалі часу та еквівалентної інтенсивності відмов, але й відносні похибки їх визначення. Так, наприклад, розрахункове значення еквівалентної інтенсивності відмов термоелектричних генераторних модулів, кожен з яких складався зі 127 послідовно з'єднаних термодіодних термоелементів, склало $\lambda = 8,172 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹. На перший погляд, така інтенсивність відмов видається доволі значною. Але слід враховувати, що випробувані термоелектричні генераторні модулі створювалися за найменш надійною, а саме, суто послідовною схемою сполучення термоелементів. Тому інтенсивність відмов окремого термоелемента складає $\lambda_{te} = 6,435 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹, а це у 3,1 рази менше, ніж найменше значення, наведене у [5]. Використання послідовно-паралельної або паралельно-послідовної схеми може значно підвищити надійність завдяки резервуванню. Відносна похибка визначення еквівалентної інтенсивності відмов істотно залежить від коефіцієнта варіації швидкості деградаційних процесів і у такому випадку складає 10,5%.

Таким чином, можна зробити висновок, що найкращим для опису розподілу часу відмов термоелектричних генераторних модулів є немонотонно-дифузійний закон.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Львович Я.Е. *Теоретические основы конструирования, технологии и надежности РЭА*. Москва, Радио и связь, 1986.
2. MIL – STD – 883E. 31 December 1996 Superseding.
3. ДСТУ 3433-96 (ГОСТ 27.005-97). *Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення*.
4. ДСТУ 3004-95. *Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними*.
5. Котырло Г.К., Лобунец Ю.Н. *Конструирование термоэлектрических генераторов и тепловых насосов. Справочник*. Киев, Наукова думка, 1980.

P. V. Horskyi

Particular aspects of determining reliability indicators of thermoelectric generator modules

By analyzing and processing the results of resource tests of thermoelectric generator modules, the author finds that their failure time distribution is best described by the nonmonotonic diffusion distribution law. This is due to the non-use of the traditional linear relative time degradation model for thermoelectric modules main parameters, namely the generated output power and efficiency. This distribution is used to determine standardized reliability indicators of such modules.

Keywords: thermoelectric generator module, parameters degradation, non-monotonic diffusive distribution, equivalent failures intensity.