

# Модельовання циклів навантаження для лінійок IGBT

**Арендт Вінтріх (Arendt Wintrich), Semikron Danfoss**

**Уве Шойерманн (Uwe Scheuermann), Semikron Danfoss**

**Переклад: Володимир Павловський, к.т.н, с.н.с., Інститут електродинаміки (ІЕД) НАН України**

**Редагування: Сергій Поліщук, к.т.н, с.н.с., ТОВ НВП «Техносервіспривід»**

**E-mail: sp.tsdrive@gmail.com**

**У даній статті компанія Semikron Danfoss представляє нові показники циклів «скид-накид навантаження» (power cycle, PC) для силових напівпровідникових модулів з дрововими з'єднаннями чипів. Види відмов, що розглядаються в цій статті, включають деградацію припою у чипі, розтріскування або відшарування основи сполучного дроту у точках припаювання, і на додаток до вищезгаданих відмов, також деградацію металізації верхньої сторони. Представлені нижче криві не охоплюють активні та пасивні циклічні зміни температури, які додатково напружують та погіршують пайку базової пластини.**

## ВВЕДЕННЯ

### Види відмов при циклічному навантаженні

Відмова при циклічному скиді-накиді навантаження є катастрофічним видом відмови (*End of Life, EOL*). Циклічне навантаження відбувається тоді, коли через напівпровідникову мікросхему усередині корпусу протікає силовий струм і нагріває її. Під час нагрівання всередині корпусу IGBT виникає градієнт температури. Після вимкнення струму чип охолоджується, і градієнт температури зникає.

Нагрівання та охолодження в поєднанні з неоднаковими коефіцієнтами теплового розширення у використовуваних матеріалах спричиняють механічну напругу між різними матеріалами та призводять до зносу напівпровідникового корпусу. Градієнт температури та тривалість циклу навантаження визначає, який з видів відмови (припій мікросхеми чи з'єднувальний дріт) проявиться першим. Більш детальну інформацію про механізми відмови можна знайти, наприклад, у [2].

### Процедура випробування, критерії відмови та статистика

Випробування, які моделюють такі відмови — це швидкий цикл з накиду і скиду навантаження (таку процедуру також називають  $PC_{sec}$ ) з тривалістю циклу у декілька секунд, і повільний цикл скиду і накиду навантаження (його називають тест  $PC_{min}$ ) з тривалістю циклу від 15-ти секунд до декількох хвилин. Зазвичай ці випробування проводять на постійному струмі (DC-Test), де на пристрій під випробуванням (*Device Under Test, DUT*) протягом певного часу  $t_{on}$  подається постійний струм, а втрати провідності нагрівають пристрій. Крім того, компанія Semikron Danfoss проводила випробування інверторів, де втрати на провідність та втрати на комутацію використовуються для швидкого нагрівання напівпровідників.

Для продукції Semikron Danfoss стратегію випробувань обрано максимально наближеною до реальних умов застосування. Це означає, що коливання температури спочатку задається шляхом вибору часу  $t_{on}$  та струмом навантаження  $I_L$ , а потім ці параметри під-

тримуються постійними протягом усього випробування незалежно від коливань температури. Старіння пристрою під випробуванням, таке як «деградація припою → вищий  $R_{th}$  → вищий  $\Delta T_f$ » або альтернативне «відшарування дроту → вища пряма напруга → вищі втрати →  $\Delta T_f$ », збільшує механічне напруження та прискорює згадане вище старіння. Причина підтримки постійних параметрів навантаження полягає в тому, що в реальних умовах експлуатації не застосовується зниження продуктивності для підтримки заданого перепаду температур. У [5] було показано, що ця стратегія є найбільш стресовою для пристрою під випробуванням. Критеріями відмови для досягнення EOL є збільшення або прямої напруги ( $V_p$ ,  $V_{CE}$  або  $V_{DS}$ ) на 20%, або  $R_{th}$  на 20%, або перепаду температури  $\Delta T$  на 20% порівняно з початковим значенням. Для розрахунку ймовірності відмови до результатів випробувань застосовується статистика Вейбулла. Показники PC, наведені в цій статті, відповідають ймовірності відмови у 15%.

### Історія моделювання терміну служби PC

Найпопулярніша модель у минулому, (з кінця 90-х років), була опублікована в дослідженні LESIT [3] і ввела залежність кількості циклів від середньої температури  $p$ - $n$ -переходу  $T_{jm} = (T_{j(max)} + T_{j(min)})/2$ , додатково до коливань температури переходу. Криві в посібнику з експлуатації [2] були отримані з цієї моделі з використанням адаптованого технологічного фактора  $A$ . У 2008 році на конференції CIPS було опубліковано модель [4], яка враховувала додаткові параметри, такі як гус-

тина струму, тривалість навантаження, клас напруги (пов'язаний з товщиною чипа) та діаметр з'єднувального дроту.

На конференції PCIM у 2013 році [6] та конференції ESREF у 2017 році [7] були опубліковані результати серії випробувань, які дозволили розділити типи відмов, пов'язані з деградацією припою та відривом/тріщинами сполучного дроту у точках припаювання. Це важливо для вдосконалення силових модулів і є основою для моделі силового модуля SKiM63, яка використовується для чипів зі срібним напленням ззаду та контакту з алюмінієвим дротом спереду. Крім того, така модель також відтворює функцію залежності від часу в набагато ширшому діапазоні тривалостей навантаження, ніж раніше.

### База для моделей терміну служби РС

Моделі терміну служби РС, наведені нижче, поєднують результати досліджень, опублікованих дослідниками Semikron Danfoss та інших афілійованих компаній, з великою базою даних, створеною Semikron Danfoss під час кваліфікаційних випробувань продукції та перевірки моделей терміну служби. Ця база даних містить:

- близько 1 000 випробувань силових модулів (DUT), що піддавались циклам скиду-накиду навантаження;
- понад 60% з них були піддані випробуванням до EOL. Інші 40% випробуваних пристроїв не вийшли з ладу під час випробувань, але їх тестування довелося зупинити через вихід з ладу однієї з 60% групи в установці;
- випробування модулів з базовою платою та без неї;
- класи напруги від 600 В до 1 700 В;
- IGBT, CAL-діод, модулі випрямляча та SiC-модулі, такі як MOSFET або діоди Шотткі;
- товщини чипа від 70 мкм до 310 мкм;
- час  $t_{on}$  від 0.07 до 60 с у випробуванні на постійному струмі та від 0.04 до 0.5 с в інверторному тесті (змінний струм з втратами на перемикання);
- $\Delta T_j$  від 50K до 120K (випробування на постійному струмі (DC-Test)) та від 30K до 63K (інверторний тест);
- середня температура між  $T_{jm} = 333K \dots 400K$  (32 °C ... 127 °C).

### Термін придатності

Представлені тут моделі дійсні для лінійки продуктів Semikron Danfoss, що використовуються переважно для транзисторів (IGBT, MOSFET), а в деяких випадках також для випрямлячів, але всі вони мають алюмінієве з'єднання

на передньому боці та з'єднання паянням або з'єднання спіканням срібла на задньому боці чипів. Криві з циклами навантаження, які були опубліковані раніше, є застарілими, особливо криві, представлені в посібнику з експлуатації [2]. Криві у 2-му виданні (2015) відображали стан знань на початок 2000-х років. Разом з тим багато досліджень та публікацій забезпечують набагато краще розуміння параметрів впливу та взаємодії різних умов експлуатації.

### МОДЕЛІ З ЦИКЛАМИ НАВАНТАЖЕННЯ ВПРОДОВЖ ВСЬОГО ТЕРМІНУ СЛУЖБИ

#### Рівняння для моделі повного терміну служби

У таких рівняннях використовують терміни давно відомих моделей циклів навантаження, наприклад термін Арреніуса та закон Коффіна-Менсона [3], а також залежність від часу та товщини чипа [6, 7]. У формулу додані два члени з показником  $\beta$ , що призводить до додаткового збільшення  $N_f$  при малих  $\Delta T_j$  [10]:

$$N_f = A_0 A_1 \Delta T_j^{-\beta} \Delta T_j^\alpha e^{\left(\frac{E_a}{k_B T_j}\right)} \frac{C + t_{on}^\gamma k_{th}}{C + 2^\gamma k_{th}}$$

$$\text{де } \beta = e^{-\frac{-(\Delta T_j - T_0)}{\lambda}}$$

Це рівняння можна використовувати для моделі всіх типів силових модулів Semikron Danfoss з дещо адаптованим набором параметрів.

#### Залежність від часу тривалості циклу $t_{on}$

Член у рівнянні моделі, пов'язаний з  $t_{on}$  в секундах, був введений у моделі

терміну служби модулів SKiM63 [6] для з'єднань спіканням і дротовими з'єднаннями силових модулів. Його було адаптовано відповідно до результатів випробувань, наведених тут, але для інших технологій складання з використанням параметра  $C$  та  $\gamma$ . Це залежний від часу коефіцієнт масштабування, нормалізований до тривалості імпульсу (часу нагрівання)  $t_{on} = 2\text{с}$ . Для модулів з мідною базовою платою було виявлено іншу залежність порівняно з модулями без базової плати, навіть якщо контакти чипа на передній та задній сторонах однакові. Причиною може бути різний градієнт температури всередині модуля в напрямку  $Y$  та  $X$ , а також різні мікромеханічні вигинання залежно від конструкції силового модуля (з базовою платою або без неї). Крім того, в модулях без базової плати використовуються чипи меншого розміру, тоді як у модулях із базовою платою зазвичай вбудовані чипи більшого розміру.

Однак, більша кількість циклів досяжна у всіх випадках для коротких циклів навантаження, тоді як для триваліших циклів здатність до циклічного ввімкнення та вимкнення потужності нижча. Функція досягає мінімального значення для часу 30..60 с, а в [8] зазначається, що для часу <40мс подальшого збільшення кількості циклів не очікується.

Деградація припою базової плати є додатковим типом відмови для модулів з базовою платою. Такий процес старіння не є релевантною причиною відмови у випробуваннях, що розглядаються тут для моделей РС, але він може бути причиною зменшення кількості циклів (блакитна крива на рисунку 1).

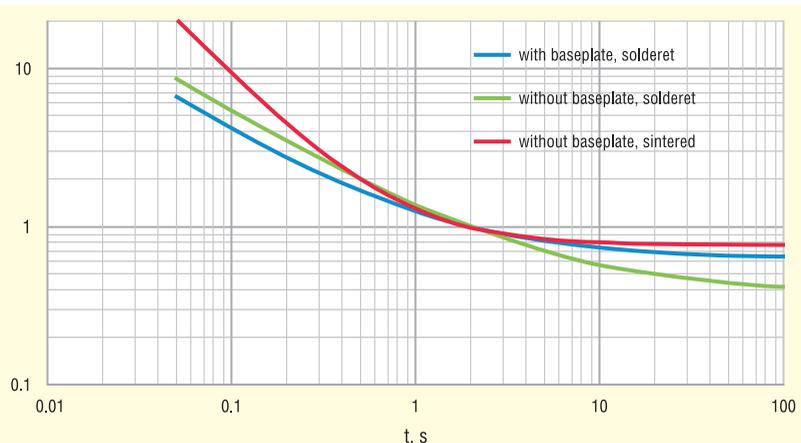


Рис. 1. Кількість циклів навантаження для силових модулів з базовою платою та без неї в залежності від часу

### Залежність від середньої температури $T_{jm}$

Середню температуру визначають як  $T_{jm} = (T_{j(max)} + T_{j(min)})/2$  і вимірюють у градусах Кельвіна. Вона не є середньою температурою за певний проміжок часу. Вплив цієї температури значно менший, ніж було передбачено, наприклад, в [3] і використано в [2]. Це може призвести до того, що старі моделі прогнозуватимуть набагато більшу кількість циклів, ніж сучасні, особливо за низьких температур.

Наприклад, якщо IGBT працює при перепаді температури  $\Delta T_j = 60\text{K}$ , він може витримувати близько 880 тис. циклів при нижній точці  $T_{j(min)} = 40^\circ\text{C}$  ( $40^\circ\text{C} \leftrightarrow 100^\circ\text{C}$ ). З іншого боку, очікувана кількість циклів становить лише близько 260 тисяч при тій самій  $\Delta T = 60\text{K}$ , але у верхній точці  $T_{j(max)} = 150^\circ\text{C}$  ( $90^\circ\text{C} \leftrightarrow 150^\circ\text{C}$ ) (рис. 2).

### Надійність модулів при низькому $\Delta T_j$ , що описується показником $\beta$

У кількох статтях та дослідженнях [8] досліджувалася тема «Що відбувається при низьких значеннях  $\Delta T_j$ ?». Залежно від умов випробування та виду відмови під час випробувань (деградація припою) повідомлялося про збільшення  $N_f$ . Крім того, схоже, існує розбіжність між прогнозованою кількістю раніше використаних моделей РС та практичним досвідом роботи інверторів впродовж багатьох років на низьких частотах та низькому  $\Delta T_j$ , наприклад, при  $\Delta T_j = 30\text{K}$ . Ці міркування призводять до теорії збільшення числа циклів навантаження в області низьких значень  $\Delta T_j$ .

Одна з проблем полягає в тому, що згадані вище моделі отримані за результатами прискорених випробувань при  $\Delta T_j = 70\text{K}$  та  $\Delta T_j = 110\text{K}$ , коли домінує пластична деформація. Їх застосовують до низьких  $\Delta T_j$  у реальних умовах експлуатації, де відбувається все більше і більше пружних деформацій [9]. Випробування за умов, які аналогічні умовам експлуатації, неможливі для кваліфікації продукту, оскільки для цього знадобилися б роки випробувань.

Щоб підтвердити цю теорію, було проведено випробування інвертора зі з'єднанням «спина до спини», щоб створити навантаження на IGBT з боку інвертора та на діоди з боку випрямляча. Амплітуду струму синусоїдальної форми було встановлено на рівні 80% номінального струму, і з додатковими втратами на перемикання бажане  $\Delta T_j$  було досягнуто за досить короткий час. Вихідну частоту інвертора модулювали

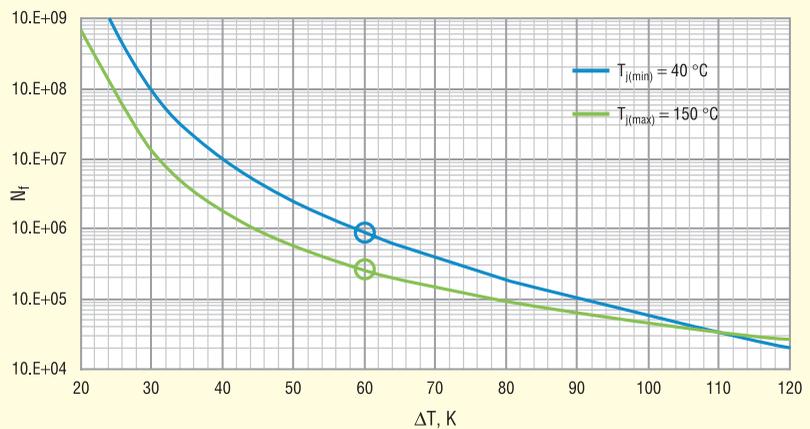


Рис. 2. Кількість циклів навантаження залежно від середньої температури для чипів зі з'єднанням паянням

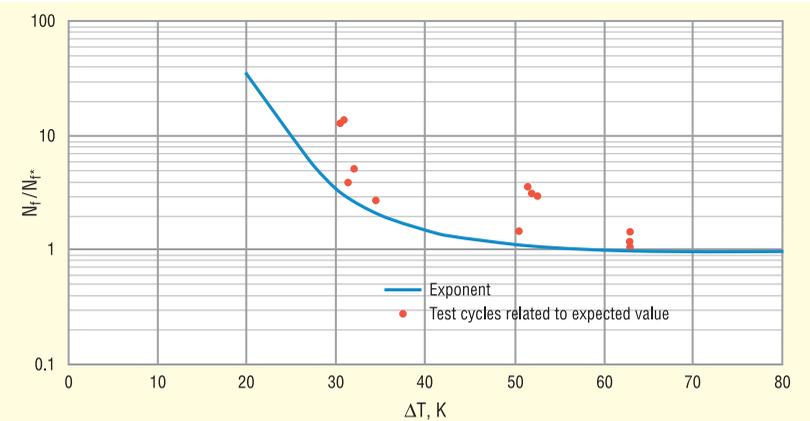


Рис. 3. Результати інверторних випробувань модулів IGBT та діодів за низького  $\Delta T$  відносно очікуваного значення

в діапазоні від 2 до 10.5 Гц для встановлення точного значення  $\Delta T_j$ . Загальна тривалість випробувань склала 1.5 року.

Результати випробувань на рисунку 3 встановлені стосовно очікуваного значення  $N_{fr}$  без урахування впливу низького  $\Delta T_j$ . Показник  $N_{fr}$  був розрахований згідно з моделлю циклу навантажень (див. вище) без розширення  $A\beta \cdot \Delta T_j^{-\beta}$ , але з коефіцієнтом товщини та залежністю від часу:

$$N_{fr} = A_0 \Delta T_j^\alpha e^{\left(\frac{E_a}{k_B T_m}\right)} \frac{C + f_{on}^\gamma}{C + 2^\gamma} k_{th}$$

Можна побачити чітке збільшення для низьких значень  $\Delta T_j$  (коефіцієнт > 1). Параметри  $A_1$ ,  $T_0$  та  $\lambda$ , що використовуються в поєднанні з показником  $\beta$  експоненти, були отримані з синьої кривої на рисунку 3.

Основною причиною відмови в тесті інвертора була втома припою, що починається в центрі кристала. У [7] було показано, що цей ефект пов'язаний з короткою тривалістю циклу навантаження. Це відрізняється від випробувань

на постійному струмі з високим значенням  $\Delta T_j$ , у яких втома припою починається в кутах і на краях мікросхем. Коли пристрій вийшов з ладу, контакт зі сполучним дротом все ще зберігався, але вже був серйозно пошкоджений.

### Коефіцієнт $k_{th}$ товщини чипа

Вплив товщини чипа спостерігався також на очікуване значення  $N_{fr}$ , оскільки він опосередковано визначався класом напруги в [4] (IGBT вищого класу напруги товстіші, ніж IGBT низької напруги). Товстіші чипи жорсткіші та створюють більше навантаження на міжз'єднання, і тому виходять з ладу раніше.

Зазвичай товщина чипів різних поколінь та від різних постачальників невідома користувачеві силових модулів. Крім того, спостерігалася лише дуже незначна залежність між модулями IGBT на 650 В та 1200 В, що значно менше за стандартне відхилення, враховуючи загальну кількість результатів випробувань, проведених в однакових умовах. Тому товщина чипів зведена тут в одну групу, щоб зробити модель зручнішою для користувача. В моделі

для розрахунків товщина чипа представлена сталими коефіцієнтами. Для пристроїв з карбїду кремнію (SiC) цей коефіцієнт відображає не лише товщину, яка впливає на жорсткість, але й інші властивості матеріалу, такі як модуль Юнга (модуль пружності), який приблизно в 3 рази вищий для SiC порівняно з Si.

- Коефіцієнт = 1 використовується для IGBT з блокувальною напругою ≤ 1 200 В.
- Коефіцієнт = 0.65 для IGBT 1 700 В і діодів CAL.
- Коефіцієнт = 0.5 використовується для випрямляча (тиристорного або діодного), розташованого всередині корпусів IGBT-модулів.
- Коефіцієнт = 0.33 використовується для SiC-приладів з блокувальною напругою ≤ 1 200 В.

**Розмір чипа та коефіцієнт використання площі модуля**

Площа окремого чипа не дуже впливає на кількість циклів навантаження. Це означає, що великий чип на 150 А може досягти такої ж кількості циклів при заданому  $\Delta T_j$ , як і малий чип на 25 А. Те саме стосується використання внутрішньої площі модуля. Модуль, повністю заповнений кремнієвими чипами, досягає майже такої ж кількості циклів, як і модуль такого ж типу, заповнений чипами лише частково (див. результати в [11]). Таким чином, можна застосовувати одну й ту саму формулу для всієї лінійки продуктів, і немає потреби розрізняти модулі з меншими та більшими номінальними струмами.

**ЦИФРОВІ ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЕНТІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ НАДІЙНОСТІ**

Для різних типів технологій складання модулів використовуються три частково різні набори параметрів.

**Модулі з мідною базовою платою, припаяними мікросхемами та алюмінієвими з'єднувальними дротами**

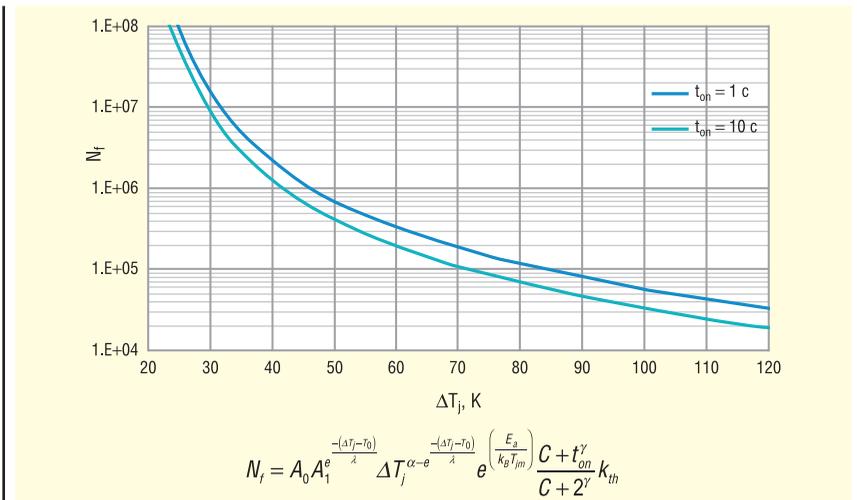
Модель дійсна для сімейств модулів SEMITRANS та SEMiX (табл. 1, рис. 4).

**Модулі без базової плати, зі з'єднанням чипів паянням та алюмінієвими з'єднувальними дротами**

Модель дійсна для сімейств модулів MiniSKiiP, SEMITOP, SKiiP3, SKiiM4/5 (табл. 2, рис. 5).

**Таблиця 1. Параметри для моделі циклу навантаження «Модулі з базовою платою»**

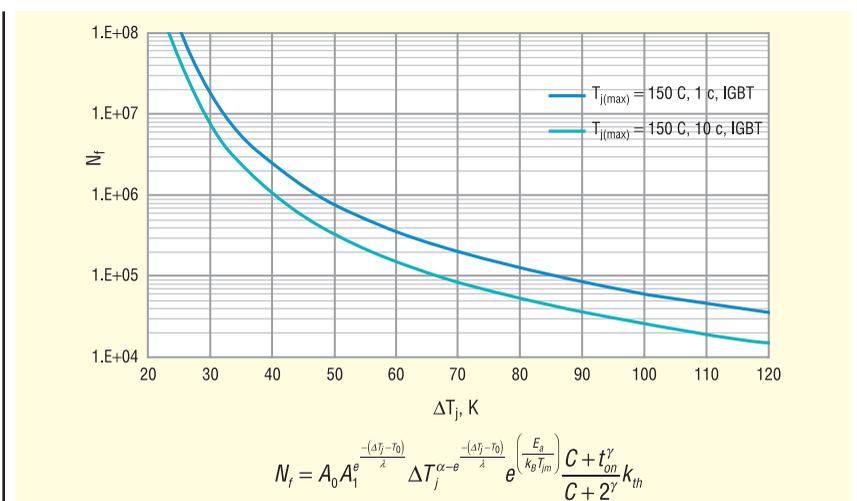
Параметр	Значення	Найменування
$A_0$	2.9E+09	Коефіцієнт технології
$A_1$	60	Коефіцієнт збільшення $\Delta T$
$T_{0r}$ , K	40	Початкова температура для розширення малого $\Delta T$
$\lambda$ , K	17	Константа падіння при розширенні низького $\Delta T$
$\alpha$	-4.3	Показник експоненти Коффіна-Мансона
$E_a$ , J	4.50E-20	Енергія активації
$k_{Br}$ , J/K	1.38E-23	Константа Больцмана
C	1	Коефіцієнт часу
$\gamma$	-0.75	Часова експонента
$k_{th}$	1 0.65 0.5 0.33	Коефіцієнт товщини чипа



**Рис. 4.**  $N_f$  для IGBT у модулях з базовою платою:  $t_{on} = 1$  с;  $t_{on} = 10$  с та  $T_{j(max)} = 150$  °C

**Таблиця 2. Параметри для моделі циклу навантаження «Модулі без базової плати»**

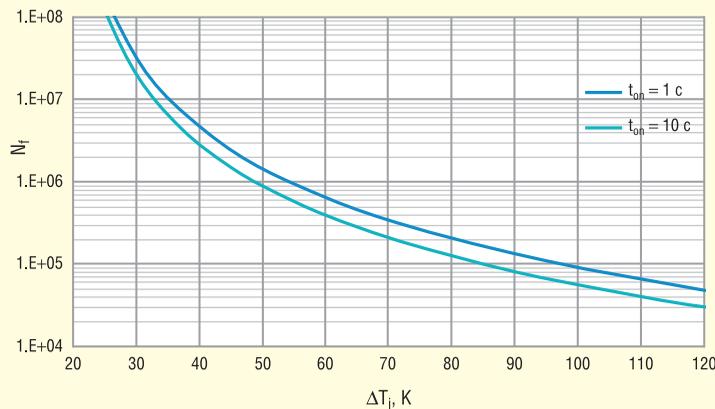
Параметр	Значення	Найменування
$A_0$	2.9E+09	Коефіцієнт технології
$A_1$	60	Коефіцієнт збільшення $\Delta T$
$T_{0r}$ , K	40	Початкова температура для розширення малого $\Delta T$
$\lambda$ , K	17	Константа падіння при розширенні низького $\Delta T$
$\alpha$	-4.3	Показник експоненти Коффіна-Мансона
$E_a$ , J	4.50E-20	Енергія активації
$k_{Br}$ , J/K	1.38E-23	Константа Больцмана
C	0.38	Коефіцієнт часу
$\gamma$	-0.7	Часова експонента
$k_{th}$	1 0.65 0.5 0.33	Коефіцієнт товщини чипа



**Рис. 5.**  $N_f$  для IGBT у модулях без базової плати:  $t_{on} = 1$  с;  $t_{on} = 10$  с та  $T_{j(max)} = 150$  °C

Таблиця 3. Параметри для моделі циклу навантаження «Модулі зі з'єднанням чипів спіканням»

Параметр	Значення	Найменування
$A_0$	2.05E+11	Коефіцієнт технології
$A_1$	60	Коефіцієнт збільшення $\Delta T$
$T_0, K$	38	Початкова температура для розширення малого $\Delta T$
$\lambda, K$	17	Константа падіння при розширенні малого $\Delta T$
$\alpha$	-4.3	Показник експоненти Коффіна-Мансона
$E_a, J$	2.54E-20	Енергія активації
$k_B, J/K$	1.38E-23	Константа Больцмана
$C$	1,44	Коефіцієнт часу
$\gamma$	-1.21	Часова експонента
$k_{th}$	1 0.65 0.5 0.33	Коефіцієнт товщини чипа



$$N_f = A_0 A_1^{\frac{-(\Delta T_j - T_0)}{\lambda}} \Delta T_j^{\alpha - \frac{-(\Delta T_j - T_0)}{\lambda}} e^{\left(\frac{E_a}{k_B T_m}\right)} \frac{C + t_{on}^{\gamma}}{C + 2^{\gamma}} k_{th}$$

Рис. 6.  $N_f$  для IGBT у модулях без базової плати та з'єднанням чипів одностороннім спіканням;  $t_{on} = 1$  c,  $t_{on} = 10$  c та  $T_{j(max)} = 150^{\circ}C$ 

### Модулі без базової плати, чипи зі з'єднанням одностороннім спіканням та алюмінієвими з'єднувальними дротами

Модель дійсна для сімейств модулів SKiM63/93 та SKiiP4 (табл. 3, рис. 6).

Більш детальну інформацію щодо продукції Semikron Danfoss можна отримати, звернувшись до офіційного дистриб'ютора в Україні — ТОВ НВП «Техносервіс-привід»:

03057, м. Київ,  
пр-т Берестейський, 56,  
офіс 335,  
тел. +38 (044) 458-47-66,  
e-mail: sp.tsdrive@gmail.com,  
semikron@ukr.net,  
www.tsdrive.com.ua,  
www.semismart.com.ua

Література:

1. www.semikron-danfoss.com
2. A. Wintrich, U. Nicolai, W. Tursky, T. Reimann, «Application Manual Power Semiconductors», 2nd edition, ISLE Verlag 2015, ISBN 978-3-938843-83-3.

Power Electronic and Drive Systems 1997 («LESIT»).

4. R. Bayerer, T. Herrmann, T. Licht, J. Lutz und M. Feller, «Model for Power Cycling lifetime of IGBT Modules — various factors influencing lifetime», 5th International Conference on Integrated Power Systems (CIPS), 2008.

5. U. Scheuermann, S. Schuler. Impact of Test Control Strategy on Power Cycling Lifetime», Microelectronic Reliability 50, 2010.

6. U. Scheuermann, R. Schmidt: «A New Lifetime Model for Advanced Power Modules with Sintered Chips and Optimized Al Wire Bonds», Proc. PCIM Europe 2013, 810–817.

7. M. Junghaenel, U. Scheuermann: «Impact of load pulse duration on power cycling lifetime of chip interconnection solder joints»; ESREF 2017.

8. G. Zeng, R. Alvarez, C. Künzel, J. Lutz: «Power cycling results of high power IGBT modules close to 50 Hz heating process» EPE ECCE Europe 2019.

9. N. Dornic, et al.: «Stress-Based Model for Lifetime Estimation of Bond Wire Contacts Using Power Cycling Tests and Finite-Element Modeling» IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Bd. 7, 2019.

10. J. Lutz, C. Schwabe, Z. Guang, L. Hein, «Validity of power cycling lifetime models for modules and extension to low temperature swings», EPE 2020.

11. F. Nehr, M. Kind, M. Montaine, U. Scheuermann, «Chip Area Impact on Power Cycling Lifetime of IGBT Modules», PCIM 2021. **CN**

3. M. Held, P. Jacob, G. Nicoletti, P. Scacco, M.-H. Poehc «Fast Power Cycling lifetime of IGBT Modules in Traction Application»,

### SMA ВПРОВАДЖУЄ МОДУЛЬ SEMIKRON DANFOSS З 2-KB SiC MOSFET ROHM

Компанія SMA Solar Technology AG, провідний світовий спеціаліст у галузі фотоелектричних технологій та систем зберігання, використовує модуль Semikron Danfoss з новітніми 2кВ SiC MOSFET ROHM у своїй новій великомасштабній системі «Sunny Central FLEX», модульній платформі, розробленій для оптимізації та покращення підключення до мережі для фотоелектричних установок, систем зберігання енергії та нових технологій.

SEMISTRANS® 20 від Semikron Danfoss розроблений для високопотужних застосувань і швидкого перемикання. Він представляє наступне покоління силових модулів для великих перетворювачів. Новий SEMISTRANS® 20 пропонує прості та ефективні рішення для роботи з напругою 1500 В постійного струму. Ці модулі ідеально підходять для сонячних інверторів та інверторів для зберігання енергії. Майбутні потужні зарядні пристрої для електричних вантажівок, а також вітрогенератори також отримають вигоду від їх використання.

Semikron Danfoss і ROHM співпрацюють вже понад десять років, зосереджуючись в основному на впровадженні карбиду кремнію (SiC) в силові модулі. Зовсім недавно компанії об'єднали зусилля для інтеграції кремнієвих IGBT.

«Співпраця між SMA, Semikron Danfoss та ROHM є доказом того, як безперешкодна інтеграція інноваційних технологій створює умови для перспективних енергетичних проєктів», — сказав Бернд Гесснер (Bernd Gessner), продукт-менеджер з систем перетворення енергії в SMA.

www.semikron-danfoss.com