

# Оптрони від Würth Elektronik і Sos: високоякісна оптоелектроніка для безпечної ізоляції кіл

Володимир Рентюк, Геннадій Штрапенін

**Переваги оптронів — це проста і надійна гальванічна розв'язка з високою робочою напругою на ізоляційному бар'єрі за прийнятних габаритів, низької прохідної ємності, за відсутності імпульсного проміжного перетворення, а отже, і проблем від електромагнітних завад. Але одна з найголовніших їхніх переваг — можливість передачі через ізолювальний бар'єр як імпульсних, так і аналогових сигналів. Усе перераховане стало основою їхньої популярності та попиту. А там, де є попит, він, за законами ринкової економіки, буде задоволений виробниками. Одним із таких виробників оптронів виступає компанія Würth Elektronik. Свого часу компанія випустила оптрони WL-OCPT серії 816 [1]. У цій статті представлено серію оптронів WL-OCDA, акцент у якій зроблено на довговічності цих пристроїв.**

## ВСТУП

Сьогодні оптопар, або оптрони, широко використовуються в джерелах живлення, побутовій техніці, промислового контролю та інших застосуваннях для регулювання і контролю. Як розв'язувальні пристрої оптопар були винайдені 1963 року в компанії IBM [2] і пройшли довгий шлях від того моменту, як вони з'явилися у вигляді простої лампочки, з'єднаної з фоторезистором. Розвиток технології твердотільних джерел світла, тих самих світлодіодів [3], призвів до мініатюризації оптопар та її широкого розповсюдження в промисловості як ізолювального пристрою. Сьогодні найтипівіші оптопар складаються зі світлодіода, оптично з'єданого з фототранзистором, іноді зі схемою Дарлінгтона або у вигляді фототристора. Але під час оцінки терміну служби сучасних оптронів проблемою залишався не фототранзистор, а світлодіод, хоча його надійність була незрівнянно вищою за лампи розжарювання.

Як відомо з теорії надійності, очікуваний термін служби проектного виробу ґрунтується на використаних у

ньому окремих компонентах, типі виробу та умовах його експлуатації.

Основні причини відмов світлодіодів можна розділити на відмови, пов'язані зі з'єднанням кристалів, і відмови, пов'язані з корпусуванням [4]. Ці збої проявляються на ранньому етапі експлуатації і є результатом браку під час виготовлення або наслідком неправильного поводження. Приклади цього — неправильний профіль паяння, підвищена вологість під час паяння або спричинене температурою навантаження на з'єднання, тобто термомеханічна напруга між з'єднувальними дротами та прозорою епоксидною смолою, що герметизує світлодіод [5].

Що стосується деяких типів компонентів, з часом вони можуть не вийти з ладу з повною, катастрофічною відмовою, а деградувати, починаючи з деякого часу напрацювання. Це не завжди помітно, але в підсумку призводить до відмови, і такий процес складно піддається прогнозу. Якщо говорити про оптрони, то найважливішим параметром їхньої, як зараз заведено говорити, продуктивності, є  $CTR$  (*Current Transfer Ratio* —

*коефіцієнт передачі за струмом*), ось він із часом, залежно від терміну й умов експлуатації, погіршується. Це і створює проблеми при їх застосуванні для аналогового зворотного зв'язку.

Відмови або деградація кристала, що впливають на термін служби світлодіодів, пов'язані насамперед із температурним режимом під час роботи, який перебуває в прямій залежності від номінального струму діода і розсіювання тепла. Термічне навантаження в зоні з'єднання світлодіодів призводить до зниження їхньої яскравості й, таким чином, безпосередньо впливає на  $CTR$  [6].

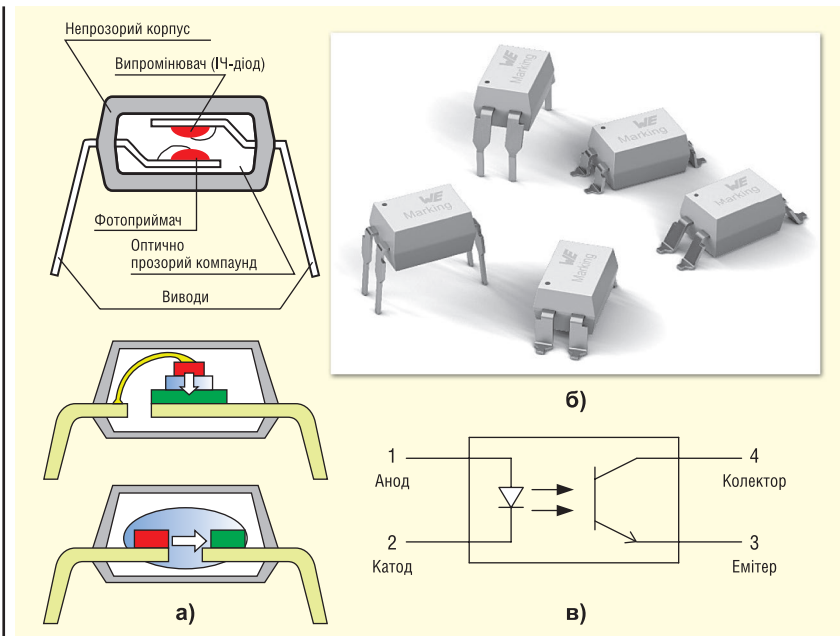
Для того, щоб оцінити серію оптронів компанії Würth Elektronik, у цій статті увага буде приділена саме поступовій відмові оптронів, пов'язаній зі зменшенням світловіддачі світлодіодів з часом за умови тривалої експлуатації та супутнім механізмом відмови, у цьому разі форми так званої електроміграції. Для цього звернемося до документа компанії Würth Elektronik [7].

## ОСНОВИ

Найпростіший оптрон складається зі світлодіода, оптично пов'язаного з фототранзистором, але електрично вони ізолювані один від одного, як це показано на рисунку 1. Світлодіод вмикається і вимикається, випромінюючи світло або інфрачервону хвилю, які вмикають або вимикають фототранзистор.

Важливим параметром, що характеризує роботу оптронів, як уже було сказано, є коефіцієнт передачі струму —  $CTR$ . Він визначається як відношення струму, що протікає через світлодіод,  $I_D$ , і струму, що протікає через фототранзистор,  $I_C$ :

$$CTR = (I_C / I_D) 100\% \quad (1)$$



**Рис. 1.** Варіанти конструктивного виконання сучасних оптронів: планарна та копланарна (а); приклад корпусування (б); позначення оптрона на схемі електричній принципів (в)

Залежно від тієї чи іншої сфери застосування, клієнт компанії Würth Electronics може вибрати в її портфоліо оптрони з коефіцієнтом передачі струму 50–600%. Поділ оптронів на різні діапазони *CTR* здійснюється шляхом їхнього бінювання (поділу, шляхом відбору) під час виробництва.

### ПРОБЛЕМИ ВИПРОБУВАННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТИМЧАСОВОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ОПТРОНІВ

Термін служби оптронів може і повинен перевищувати кілька десятків років, тому для їхнього оцінювання проводять прискорене стрес-тестування із застосуванням посиленних умов експлуатації. Відмови оптронів пов'язані з тим, що в напівпровідниках існує безліч різних механізмів деградації. До них належать електроміграція [4], зародження і зростання дислокацій [5] і дифузія металів [4]. Ці механізми деградації можна описати за допомогою конкретних енергій активації  $E_A$ , які можна розглядати як енергію, необхідну для активації такого механізму відмови. Залежно від конкретного механізму енергія активації коливається від  $E_A = -0.2$  еВ до  $E_A = 1.4$  еВ [6]. Для світлодіодів висока густина струму і висока температура призводять до дифузії атомів з активної області, залишаючи точкові дефекти [5]. Ці кристалічні дефекти збільшують кількість центрів рекомбіна-

ції без випромінювання видимого світла або ІЧ-випромінювання, тим самим знижуючи квантову ефективність генерації хвилі і, отже, зменшуючи *CTR* оптопар. Цей механізм можна описати аналогічно до електроміграції атомів алюмінію, спочатку запропонованої в [4], де автор визначив медіанний час до відмови пристрою такою формулою:

$$\frac{1}{MTF} = AJ^2 e^{\frac{E_A}{k_B T}}, \quad (2)$$

де *MTF* — середній час напрацювання на відмову, год;  $A$  — постійна [8], що містить площу перерізу розсіювання;  $J$  — густина струму, А/см<sup>2</sup>;  $E_A$  — енергія активації, еВ;  $k_B$  — постійна Больцмана,  $8.617 \times 10^{-5}$  еВ/К;  $T$  — температура, К.

Для тестування надійності становить великий інтерес не стільки скорочення часу стрес-тестування, скільки можливість прогнозування кінцевого терміну служби за нормальних умов використання. Згідно з рівнянням (2), *MTF* зменшується з підвищенням густини струму і температурою, що пов'язано рівнянням Арреніуса, яке описує швидкість хімічних реакцій. Під час тестування оптронів з підвищеною температурою і струмом механізми деградації відбуваються набагато швидше, ніж у нормальних умовах експлуатації з меншою температурою і меншим струмом. Отже, коефіцієнт прискорення можна розрахувати, розділивши рівняння (2) на умови стрес-тесту і нормальні умови експлу-

тації. Це призводить до широко відомої формули з [4]:

$$AF = \left( \frac{I_{test}}{I_{norm}} \right)^N \times e^{\frac{E_A}{k_B} \left( \frac{1}{T_{norm}} - \frac{1}{T_{test}} \right)}, \quad (3)$$

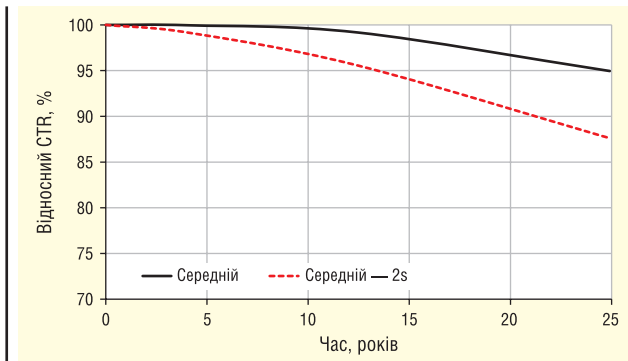
де *AF* — фактор прискорення, середній час до відмови, год;  $I_{test}$  — прямий струм, що використовується в стрес-тесті, А;  $I_{norm}$  — типовий прямий струм в умовах експлуатації, А;  $N$  — показник ступеня з [8],  $N = 2$ ;  $E_A$  — енергія активації, еВ;  $T_{norm}$  — типова робоча температура в умовах експлуатації, К;  $T_{test}$  — температура, що використовується в стрес-тесті, К.

Як згадувалося раніше, існує суміш різних механізмів відмови та відповідних енергій активації. Ефективна енергія активації може бути знайдена як відповідний параметр шляхом повторення стрес-тестів за різних температур. Однак відповідно до галузевих стандартів як типове значення для дискретних напівпровідників використовують середню енергію активації  $E_A = 0.7$  еВ [6]. Застосування цієї формули продемонстровано для оптопар 14081614xxx/14081714xxx [1] компанії Würth Elektronik, які було випробувано впродовж 1000 год за підвищеної температури  $T_{test} = +110$  °С і прямого струму світлодіода  $I_{test} = 30$  мА. Фототранзистор менш схильний до деградації, ніж світлодіод [9, 10]. Таким чином, у межах цих інструкцій щодо застосування передбачається, що зміна *CTR* відбувається через втрату світності світлодіода, а не через деградацію фототранзистора.

Далі показано приклад розрахунку коефіцієнта прискорення та його застосування до результатів стрес-тестів. Тривалість випробування становить 1000 год за  $T_{test} = +110$  °С і прямого струму світлодіода  $I_{test} = 30$  мА. Якщо оптопара використовується зі 100%-вим робочим циклом за прямого струму  $I_{norm} = 5$  мА і за температури навколишнього повітря  $T_{norm} = +80$  °С, коефіцієнт прискорення  $AF = 218$ . Таким чином, згідно з формулою (3), стрес-тест на прискорення протягом 1000 год імітує нормальну експлуатацію в польових умовах майже:

$$AF \times 1000 = 218 \times 1000 = 218000 \text{ год} \approx 25 \text{ років.}$$

На рисунку 2 представлено графік очікуваного зниження *CTR* оптронів серій 14081614xxx/14081714xxx протягом цих 25 років. Він показує, що для оптопар компанії Würth Elektronik в середньому очікується не більше 5% зниження значення *CTR*, що є чудовим результатом.



**Рис. 2.** Очікуване зниження CTR залежно від часу напруження (умови експлуатації: робочий цикл 100%, температура навколишнього середовища +80 °C, прямий струм 5 мА; параметри стрес-тесту: тривалість випробування 1000 год, температура випробування +110 °C, прямий струм 30 мА)

На рисунку 2 також показано (пунктирною лінією) відносний CTR із середнім відхиленням  $2\sigma$ . Середнє значення  $0 (= \mu)$ , що відповідає максимальному значенню графіка, і стандартне відхилення  $1 (= \sigma)$ . Воно визначає величину розкиду від середнього значення CTR. Якщо набір даних слідує нормальному розподілу, то близько 68% вимірювань CTR відхиляються на величину, що не перевищує  $\sigma$ , від середнього  $\mu$ , тобто перебувають в інтервалі  $(-1\sigma, 1\sigma)$ . Близько 95% спостережень перебуватимуть у межах двох стандартних відхилень від середнього значення, тобто в інтервалі  $(-2\sigma, 2\sigma)$  для стандартного нормального розподілу. Статистичний розподіл дає дисперсію  $2\sigma$  як величину варіації даних. При розгляді рисунку 2 крива  $2\sigma$  показує найменшу очікувану відносну деградацію CTR упродовж 25 років, що не перевищує 87%.

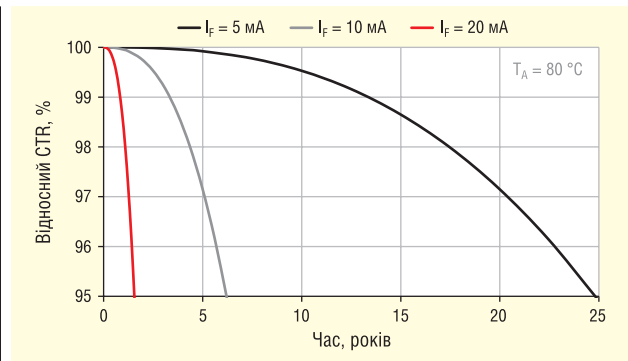
## ПАРАМЕТРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЗБІЛЬШЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ОПТОПАРИ

На рисунках 3 і 4 середнє погіршення CTR показано залежно від нормального робочого прямого струму  $I_F$  і нормальної робочої температури навколишнього середовища  $T_A$ . Важливо зазначити, що очікуване погіршення CTR можна зменшити завдяки зниженню робочої температури та керуванню струмом світлодіода.

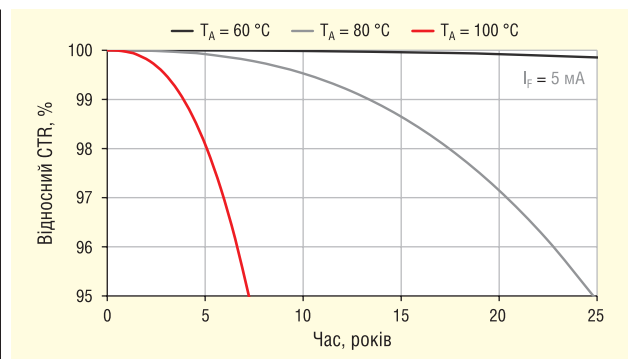
З огляду на надані дані про надійність і представлені рівняння, можна запропонувати деякі рекомендації щодо збільшення терміну служби оптронів:

- Зменшити ефективний час роботи оптопар.
- Зменшити робочий струм діода і потужність, що розсіюється світлодіодом, завдяки збільшенню перехідних отворів і контактних майданчиків на друкованій платі.
- Уникати пікових струмів через світлодіод під час перехідних процесів.
- Відрегулювати робочий цикл світлодіода так, щоб підтримувати середній струм на низькому рівні.

Крім того, у разі розроблення критичних з погляду надійності продуктів, таких як, наприклад, пристрої медичного призначення, надійність оптрона можна підвищити шляхом прокачування у вигляді електротермотренування. Однак, щоб уникнути пошкодження пристроїв, параметри прокачування мають бути нижчими за абсолютні максимальні значення. Пам'ятаючи про ці правила, розробник кінцевого продукту



**Рис. 3.** Залежність очікуваного погіршення середнього значення CTR від прямого струму погіршення середнього значення CTR і часу напруження (умови експлуатації: робочий цикл 100%, температура навколишнього середовища +80 °C, прямий струм — як показано на графіку; параметри стрес-тесту: тривалість випробування 1000 год, температура випробування +110 °C, прямий струм 30 мА)



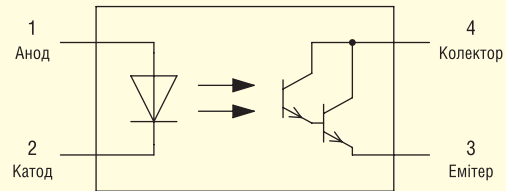
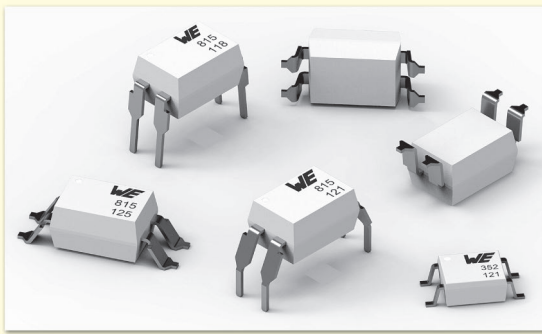
**Рис. 4.** Зниження середнього значення CTR залежно від температури та тривалості поля (умови експлуатації: робочий цикл 100%, температура довкілля — як зазначено на графіку, прямий струм 5 мА; параметри стрес-тесту: тривалість випробування 1000 год, температура випробування +110 °C, прямий струм 30 мА)

може розраховувати на високу стабільність роботи оптронів компанії Würth Elektronik протягом багатьох років експлуатації.

## СЕРІЯ ОПТРОНІВ ВІД КОМПАНІЇ WÜRTH ELEKTRONIK

Для задоволення потреб своїх клієнтів компанія Würth Elektronik має в своєму асортименті оптоелектронних пристроїв оптопар в усіх розповсюджених корпусах і значеннями CTR. Крім оптронів WL-OCPT серії 816 [1, 2], виготовлених у корпусах DIP-4, SOP-4 і LSOP-4, компанія має оптрони WL-OCDA серії 815 з транзисторами, увімкненими за схемою Дарлінтона [11], що виготовлені в корпусах DIP-4 і SOP-4. Зовнішній вигляд і схема електрична принципова оптронів компанії Würth Elektronik представлені на рисунку 5. Оптрони доступні в корпусах із різними варіантами вивідних рамок (рис. 6), водночас мідні рамки виводів забезпечують оптимальне паяння та надійне складання в кінцевому застосуванні.

Під час розроблення оптронів компанія Würth Elektronik вибрала компланарний корпус із постійним ізолювальним зазором, що гарантує оптимальну ізоляцію аж до 5000 В;



**Рис. 5.** Зовнішній вигляд і схема електрична принципова оптронів WL-OCDA серії 815 компанії Würth Elektronik

100%-ве внутрішнє віддзеркалення та стабільний *CTR* в усьому діапазоні температур забезпечують високоякісні силіконові та полімерні матеріали, відповідно, оптрони компанії Würth Elektronik вирізняються малим часом перемикання та високими коефіцієнтами передавання за постійним струмом навіть під час роботи з низьким струмом. Значення *CTR* компонентів, класифікованих бінуванням, перебувають у діапазоні 20–15000%. Крім того, сертифіковані за DIN EN 60747-5-5 компоненти можна використовувати в діапазоні робочих температур  $-55...+110$  °C.

Основні технічні характеристики оптронів WL-OCDA серії 815 компанії Würth Elektronik наведено в таблиці 1.

Переваги використання оптронів WL-OCDA серії 815:

- висока напруга ізоляції;
- хороша стабільність внутрішньої ізоляції;
- стабільний *CTR* при повній роботі;
- різні варіанти вивідних рамок.

Основні сфери застосування оптронів WL-OCDA серії 815:

- програмовані логічні контролери;
- телекомунікаційна апаратура;
- контролер послідовності;

- вимірювальні прилади;
- блоки живлення;
- торгові автомати.

### ВИСНОВОК

Гальванічна розв'язка малопотужних кіл керування від потужних кіл є важливим аспектом безпеки в багатьох застосуваннях. Водночас оптрони захищають від завад і перенапруги в джерелах живлення, зарядних пристроях, комп'ютерах, мікропроцесорах, контролерах послідовності, програмованих логічних



**RADIODETAILI**

# ВЕЛИКИЙ ВИБІР РАДІОДЕТАЛЕЙ!

Інтернет-магазин вул. Івана Світличного, 4  
(044) 392 22 71 (067) 462 22 71

«Радіоринок», Караваєві Дачі, вул. Ушинського, 4

Павільйон 9В  
(044) 242 20 79  
(067) 445 77 72

Павільйон 9В+  
(068) 599 56 99

Павільйон 17Б  
(063) 105 90 01  
(096) 303 90 01

**RADIODETAILI.COM.UA**

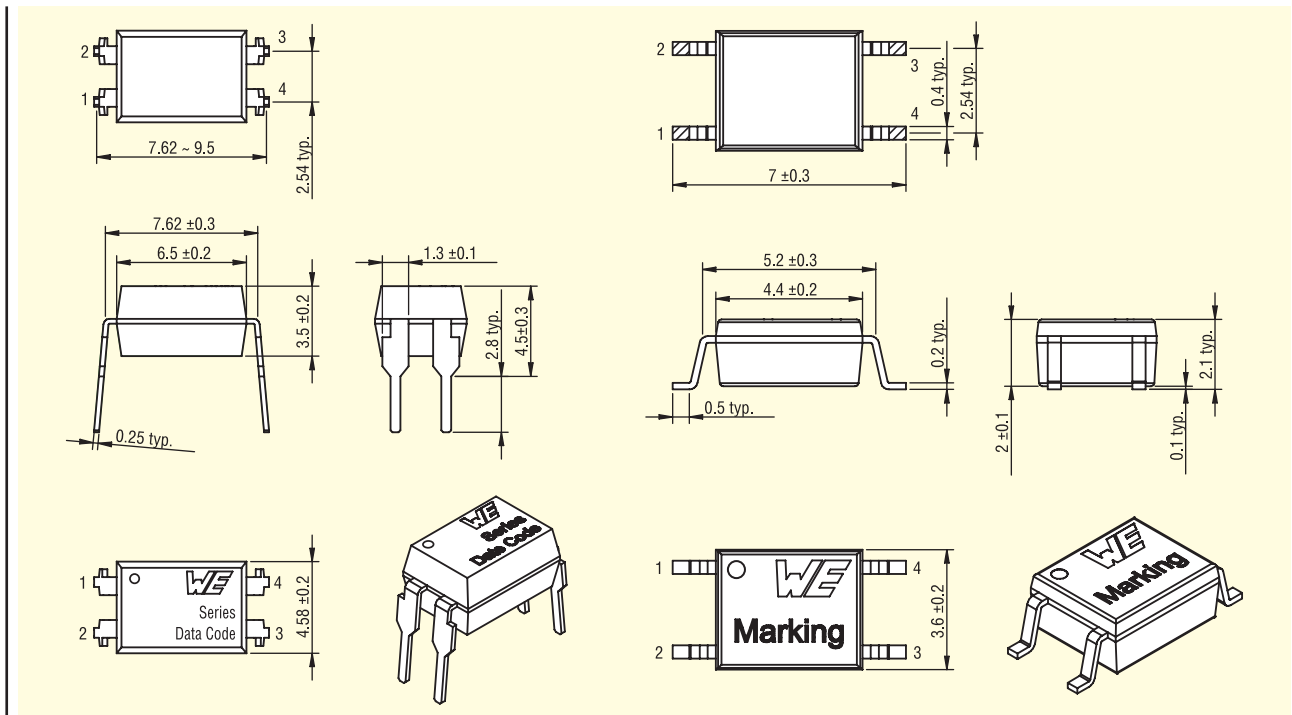


Рис. 6. Варіанти виконання корпусів оптронів WL-OCDA серії 815 компанії Würth Elektronik

Таблиця 1. Основні технічні характеристики оптронів WL-OCDA серії 815 компанії Würth Elektronik

Номер за каталогом	Варіант корпусу	$V_{CE}$ (макс.), В	$I_F$ (макс.), мА	CTR (мін.), %	CTR (макс.), %	$V_{ISOR B}$ (с.к.з.)
141815143000	DIP 4, SL-Тype	40	60	600	7500	5000
141815142000	DIP 4, S-Тype	40	60	600	7500	5000
141815141010	DIP 4, M-Тype	40	60	600	7500	5000
141815140010	DIP 4, стандартний	40	60	600	7500	5000
141355145000	SOP 4	40	60	600	7500	3750
141352145000	SOP 4	350	60	1000	15000	3750

Примітка. Умови вимірювання CTR:  $I_F = 1$  мА,  $V_{CE} = 2$  В.

контролерах, вимірювальних пристроях і в цілій низці інших застосувань.

З огляду на сказане, для оптронів, як і для інших компонентів виробу, потрібна надійність у роботі протягом багатьох років, часто у важких умовах експлуатації, як-от системи промислової автоматики та керування, але найчастіше в джерелах живлення. Оскільки зниження продуктивності світлодіодів є одним із механізмів, що ведуть до погіршення коефіцієнта передачі струму в оптронах, під час розроблення кінцевого продукту необхідно ретельно ставитися до їхнього вибору.

Відповідаючи на ці виклики і прагнучи забезпечити випуск виробів з високими показниками надійності, компанія Würth Elektronik проводить повномасштабні тести і ретельний контроль якості всієї своєї продукції. Повна інформація щодо оптронів компанії Würth Elektronik доступна за посиланням [11] у відповідних специфікаціях. Крім того, компанія Würth Elektronik пропонує вебінар

«Würth Elektronik розкриває особливості оптронів та відповідає на запитання щодо них» [12].

Оптрони WL-OCDA серії 815 компанії Würth Elektronik доступні для постачання у всіх виконаннях корпусів і бінінгах за CTR.

Література:

1. [www.we-online.com/katalog/en/led/optoelectronic\\_optocoupler/wl-ocpt\\_optocoupler\\_phototransistor](http://www.we-online.com/katalog/en/led/optoelectronic_optocoupler/wl-ocpt_optocoupler_phototransistor)
2. Рентюк В. Оптрони WL-OCPT серії 816 — первая ласточка компания Würth Elektronik // CHIP NEWS Україна, 2020, № 10.
3. Рентюк В. Светодиод — такой знакомый и неизвестный. Часть 1: история, особенности применения // CHIP NEWS Україна, 2017, № 6.
4. Black J. Electromigration — A Brief Survey and Some Recent Results. IEEE Transactions on Electron Devices, 1969.

5. Chang M.-H., Das D., Varde P., Pecht M. Light emitting diodes reliability review // Microelectronics Reliability. 2012. No. 52.

6. Component Technical Committee. Failure Mechanism Based Stress Test Qualification for Discrete Semiconductors in Automotive Applications. Automotive Electronics Council, 2013.

7. Koeck D. Lifetime of Optocouplers. Application Note, ANO006 2021-02-17. <https://www.we-online.com/en/support/knowledge/application-notes?d=ano006-lifetime-of-optocouplers>

8. Black J. R. Mass transport of aluminum by momentum exchange with conducting electrons. IEEE International Reliability Physics Symposium, 1967.

9. Slama J. B. H., Helali H., Lahyani A., Louati K., Venet P., Rojat G. «Optocouplers Ageing Process: Study and Modeling». International Conference on Electrical Engineering Design & Technologies. Hammamet Tunisia, 2007.

10. Bajenesco T. CTR degradation and ageing problem of optocouplers. Proceedings of 4th International Conference on Solid-State and IC Technology. Beijing, China, 1995.

11. [www.we-online.com/katalog/en/WL-OCDA\\_OPTOCOUPLER\\_PHOTOTRANSISTOR](http://www.we-online.com/katalog/en/WL-OCDA_OPTOCOUPLER_PHOTOTRANSISTOR)

12. Würth Elektronik Webinar: Würth Elektronik reveals the questions about optocouplers. [www.youtube.com/watch?v=dylH3rscT2Y&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?v=dylH3rscT2Y&feature=emb_logo)