

# Гаряче підключення модульних роз'ємів компанії Würth Elektronik у системах PoE

Володимир Рентюк

**У системах автоматизації процесів під'єднання до кінцевого обладнання віддалених пристроїв нижнього рівня (польовий рівень АСУ ТП), децентралізованих розподільних пристроїв у вигляді датчиків температури, тиску, витрати рідин і матеріалів, вологості та верстатних модулів у системі автоматизації зручно здійснити за допомогою одного кабелю, об'єднуючи промисловий Ethernet-зв'язок через EtherCAT з електроживленням, яке потрібне під'єднаним компонентам. Цю проблему вирішує технологія Power over Ethernet (PoE) — передавання віддаленому пристрою електричної енергії разом із даними через стандартну виту пару в мережі Ethernet. Однак тут є слабка ланка — роз'єми, які не завжди допускають гаряче (під навантаженням) підключення. Аналізу цієї проблеми й присвячена ця стаття.**

## СТАНДАРТИ POE, ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Подання живлення через кабель Cat-5 (кабель категорії 5 — тип кабелю для передавання сигналів, що складається з чотирьох кручених пар, використовується в структурованих кабельних системах для комп'ютерних мереж), тобто технологія PoE, описано та визначено розробленим у 2003 році оригінальним стандартом IEEE 802.3af Power over Ethernet. Однак для задоволення чимраз більших потреб пристроїв, що живляться (*Powered Device, PD*), стандарти PoE в електроживленні з часом змінювалися. Якщо IEEE 802.3af забезпечував подачу електроживлення постійного струму потужністю до 13 Вт на кожний пристрій, то оновлений 2009 року стандарт IEEE 802.3at, також відомий як PoE Plus (PoE+), забезпечує електричну потужність до 25.5 Вт. А стандарт IEEE 802.3bt, або PoE++ (чотирипарна система Power over Ethernet), з використанням усіх дротів наявного кабелю надає потужність живлення в діапазоні 70–100 Вт.

У загальному вигляді схемна реалізація системи живлення за технологією PoE на компонентах компанії Würth Elektronik

eiSos GmbH&Co. KG (далі — Würth Elektronik) показано на рисунку 1 [1].

PHY — це абревіатура від Physical Layer (фізичний рівень), як правило, інтегральна схема, призначена для виконання функцій фізичного рівня мережевої моделі OSI. Мікросхеми PHY дають змогу іншим мікросхемам канального рівня, які називаються MAC, під'єднатися до фізичного середовища передавання даних, і ось тут виникає проблема — роз'єми. Можна успішно вирішити всі питання, пов'язані з обміном даними, схемотехнікою, разом із розв'язанням проблеми електромагнітної сумісності, вибрати роз'єми відповідно до їхнього струмового навантаження, але водночас не врахувати, що в процесі експлуатації можливе повторне з'єднання роз'єму під навантаженням. Можна, звісно, вказати, що так чинити не можна, але в житті всяке буває, і, як йдеться в одному з популярних законів Мерфі, «Якщо є ймовірність того, що якась неприємність може трапитися, то вона обов'язково станеться».

## ВИМОГИ ДО ПІДКЛЮЧЕННЯ

Що стосується роз'ємів для під'єднання, для цього, як правило, ви-

користуються модульні роз'єми типу Modular Jack (MJ) у вигляді розетки на друкованій платі та кабельної вилки. Такі системи підключення використовуються для передачі сигналу Ethernet зі швидкістю до 10 Гбіт/с, залежно від категорії продукту. Водночас як частина технології PoE вони теж визначаються стандартом IEEE 802.3 і, відповідно, поділяються на чотири різні типи, що забезпечують різну потужність передавання живлення, як це показано в таблиці 1.

До типових модульних роз'ємів компанії Würth Elektronik застосовні специфікації PoE типу 1 і 2. У цій статті, заснованій на технічному документі компанії Würth Elektronik [2], показано, чому в критичній ситуації можна розширити діапазон використання її модульних роз'ємів аж до типу 4. Оскільки більшість роз'ємів WE MJ розраховано на струм до 1.5 А, то для отримання вірогідного результату їх буде випробувано на перемикання в гарячому режимі за ього струму.

Проте необхідно враховувати, що, як і всі інші типи основних вхідних/вихідних роз'ємів, роз'єми MJ компанії Würth Elektronik не повинні під'єднуватися та від'єднуватися під навантаженням, тобто в умовах гарячої заміни, і ми розглядатимемо це як певну критичну ситуацію. Для того щоб розрив і підключення навантаження було можливим, такі компоненти, як вимикачі, переривники тощо, мають спеціальні зони роз'єднання, що дають змогу виконати вимикання навантаженого кола, не пошкоджуючи контакти, тобто без формування електричної дуги.

Однак проведений фахівцями компанії Würth Elektronik аналіз засвідчив, що модульні роз'єми компанії в разі їхнього випадкового роз'єднання під навантаженням у застосуванні PoE залишаються працездатними, і ця позаштатна ситуація не призводить до критичного погіршення їхніх характеристик або, як нині заведено говорити, продуктивності.

**ВИПРОБУВАННЯ МОДУЛЬНИХ РОЗ'ЄМІВ В УМОВАХ ГАРЯЧОГО ПІДКЛЮЧЕННЯ**

**Електрична дуга**

Вимкнення під навантаженням, тобто під напругою і, відповідно, під час протікання струму, має переривати коло між з'єднаними контактами. При цьому напруга іонізуватиме повітря між контактами, що дасть змогу струму проходити через утворений іскровий проміжок доти, доки роздільна відстань не стане занадто великою. Ця іскра або, точніше, електрична дуга може пошкодити контакти обох компонентів роз'єму — вилки і розетки. За малої потужності іскри можуть пошкодити покриття і, таким чином, з часом різко знизити якість контакту, за великої — контакти будуть зруйновані.

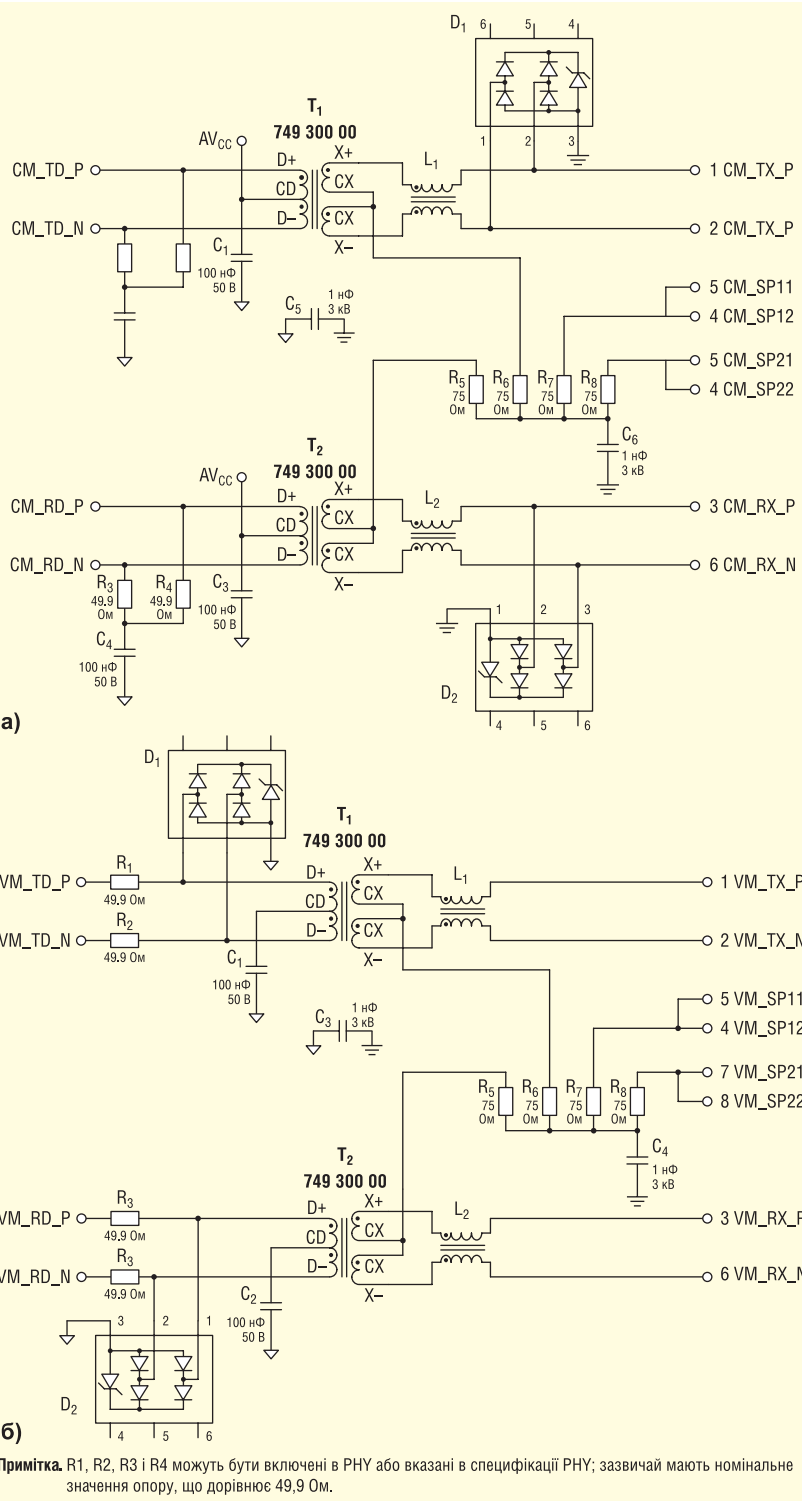
**Підключення модульного роз'єму**

Усі модульні роз'єми компанії Würth Elektronik вкриті золотом з нікелевою підкладкою, що за належного з'єднання забезпечує дуже стабільний і оптимізований електричний контакт упродовж усього їхнього життєвого циклу.

Дослідження, проведені фахівцями компанії, показали, що утворення іскри може спричинити пошкодження покриття. Коли вилку вставлено у відповідну гніздову частину роз'єму, електричні контакти спочатку з'єднуються на передньому кінці контактної пружини гнізда (назвемо її «точка атаки»). Потім точка контакту переміщується до заднього кінця контактної пружини (назвемо її «е-точка»). Тому точки механічного та електричного контакту фізично відокремлені одна від одної. Навіть якщо покриття в першій точці контакту пошкоджено, електричний контакт, по суті, залишається працездатним. Процес з'єднання частин модульного роз'єму показано на рисунку 2.

**План випробувань і результати**

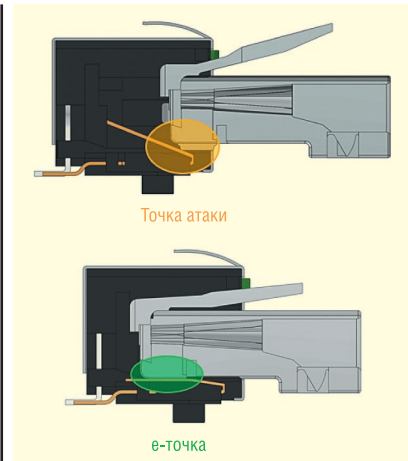
Для виявлення будь-якого пошкодження контактів відстежується зміна контактної опору. З цією метою відповідно до специфікації модульного роз'єму при номінальному значенні струму і напруги виконується 750 циклів з'єднання. Початкове вимірювання проводять без струму, для отримання певного еталона контактної опору. Потім виконується імітація найгіршого випадку при гарячому підключенні зі струмом 1.5 А. Це охоплює можливості підключення за технологією PoE до типу 4 (960 мА). Тест проводився



**Рис. 1. Передаточна функція**

Таблиця 1. Останні версії стандарту IEEE 802.3 PoE				
	PoE Тип 1	PoE+ Тип 2	4PPoE Тип 3	4PPoE Тип 4
Стандарт PoE	802.3af	802.3at	802.3bt	802.3bt
Вихідна потужність PSE, Вт	15.4	30	60	90
Потужність PD, Вт	12.95	25.5	51	71.3
Максимальний струм PSE, mA	350	600	2 × 600	2 × 960

**Примітка.** PSE (Power Source Equipment) — обладнання, що живить.  
PD (Powered Device) — обладнання, що живиться.



**Рис. 2.** Контакти модульного роз'єму та їхня поведінка під час з'єднання

на трьох різних конструкціях модульних роз'ємів: WE-RJ45 LAN (із трансформатором і синфазними дроселями) [3], WE-RJ45 10G (із трансформатором і синфазними дроселями) [4] і WE-RJ45 LAN, виконані за технологією наскрізного оплавлення [5]. Усі роз'єми, надані на випробування, були знову виготовленими (тобто абсолютно новими), а не взяті зі складу після тривалого зберігання.

**WE-RJ45 LAN**

Основні технічні характеристики:

- Роз'єм RJ45 із вбудованим трансформатором і синфазним дроселем

(зовнішній вигляд і приклад електричної принципової схеми одного з варіантів виконання під PoE показано на рисунку 3).

- Power over Ethernet до 50 Вт і швидкістю до 10 Гбіт/с.
  - Доступний у версіях SMT, THT і THT з USB.
  - Відповідає стандартам: IEEE 802.3u, IEEE 802.3ab, IEEE 802.3af, IEEE 802.3at і IEEE 802.3bt.
  - Продукти HPLE: покращене придушення синфазних завод завдяки додатковим дроселям із NiZn-осерддями.
- Основні сфери застосування:
- Підходить для індустріального діапазону робочих температур: від -40 до +85 °С.
  - Сумісність із промисловими системами Ethernet, такими як EtherCAT або Profinet.
  - Сумісність із більшістю IC для застосування в Ethernet, як-от Microchip, Broadcom, Marvell.
  - Концентратори, маршрутизатори, комутатори, IP-камери, застосування для IoT.

**WE-RJ45 10G**

Основні технічні характеристики:

- Роз'єм RJ45 із вбудованим трансформатором і синфазними дроселями (зовнішній вигляд і приклад електричної принципової схеми од-

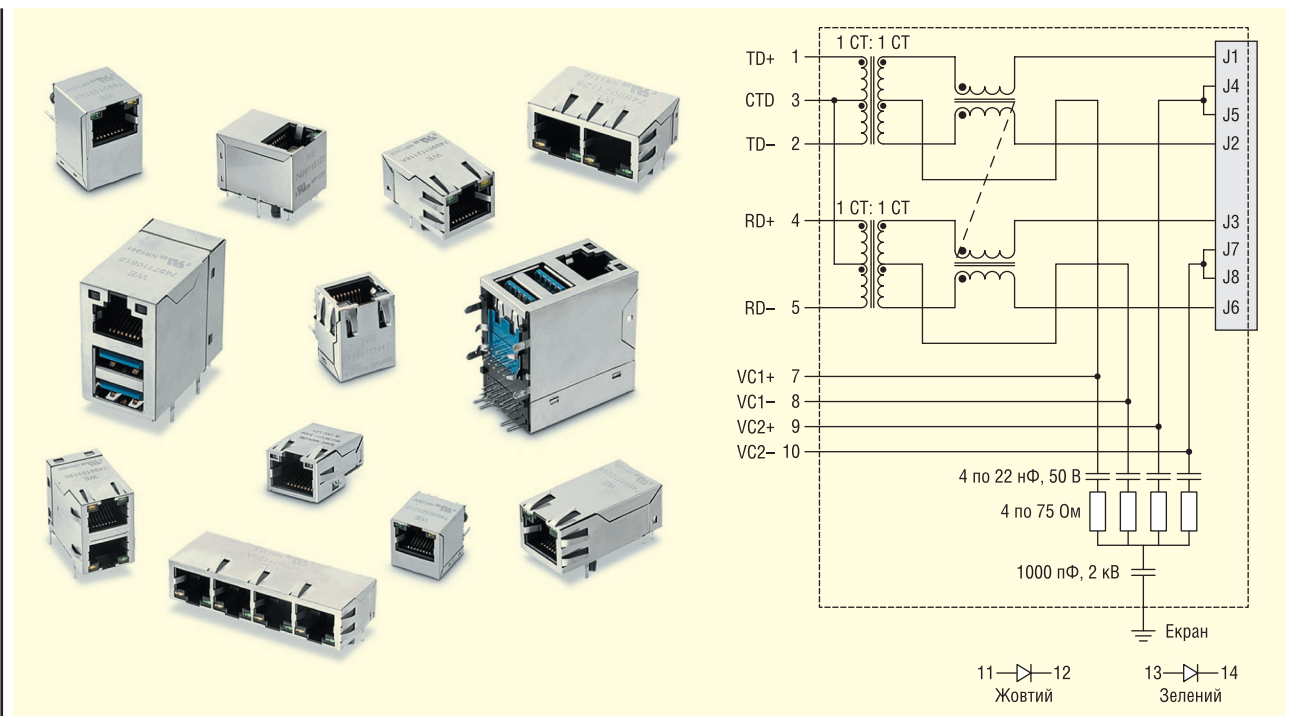
ного з варіантів виконання під PoE показано на рисунку 4).

- 10G Base-T.
  - PoE(+): понад 4 пари.
  - Відповідає стандартам IEEE: 802.3af, 802.3at, 802.3an і 802.3bt.
  - Підходить для індустріального діапазону робочих температур: від -40 до +85 °С.
- Основні сфери застосування:
- Офісні та заводські точки доступу.
  - Шлюзи.
  - Сервери.
  - Високошвидкісні маршрутизатори та комутатори.
  - Додатки HDBaseT.

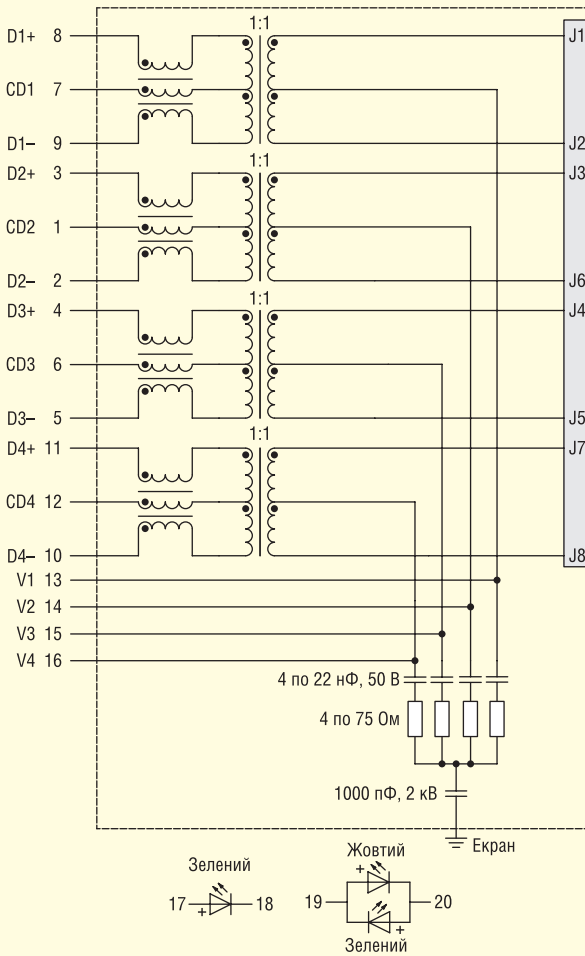
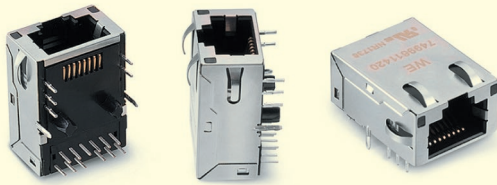
**WE-RJ45 LAN**

Основні технічні характеристики роз'єму WE-RJ45 LAN (рис. 5):

- Призначений для паяння виводами в пасті (детально про особливості монтажу та технологію паяння роз'ємів цього типу в [6]).
- Висока механічна міцність монтажу.
- Високотемпературні світлодіоди.
- Надзвичайно високий зазор для хорошого теплового потоку повітря.
- PoE до 30 Вт (зовнішній вигляд і приклад електричної принципової схеми одного з варіантів виконання під PoE показано на рисунку 5).
- Відповідність стандартам: IEEE 802.3u, IEEE 802.3ab, IEEE 802.3af, IEEE 802.3at.



**Рис. 3.** Зовнішній вигляд модульних роз'ємів WE-RJ45 LAN компанії Würth Elektronik, що пройшли випробування на гаряче з'єднання, і приклад електричної принципової схеми одного з варіантів виконання під PoE



**Рис. 4.** Зовнішній вигляд модульних роз'ємів WE-RJ45 10G компанії Würth Elektronik, що пройшли випробування на гаряче з'єднання, і приклад електричної принципової схеми одного з варіантів виконання під PoE

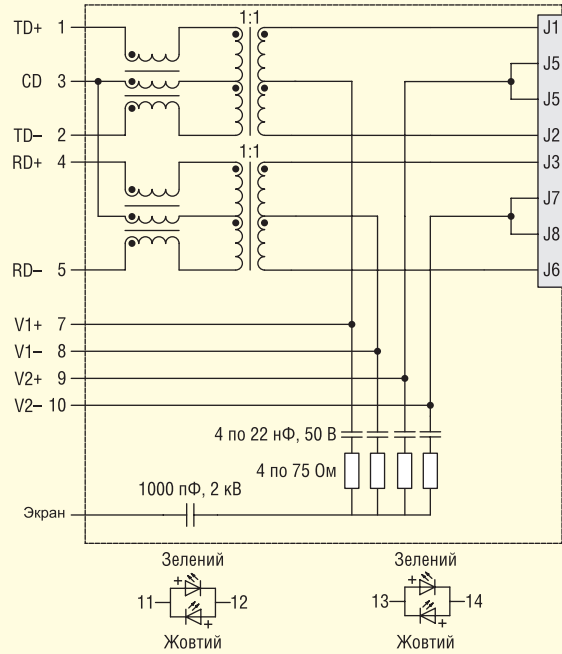
Основні сфери застосування:

- Підходить для індустріального діапазону робочих температур: від -40 до +85 °C.
- Сумісність із промисловими системами Ethernet, такими як EtherCAT або Profinet.
- Сумісність із більшістю IC для застосувань Ethernet, як-от Microchip, Texas Instruments, Broadcom, Linear Technology.
- Концентратори, маршрутизатори, комутатори, IP-камери, застосування для IoT.

Для чіткішого порівняння змін, що відбуваються, значення контактної опору подано у відсотках. Початкове вимірювання за нульового струму становить 100% для кожного модульного роз'єму, як видно на рисунку 6.

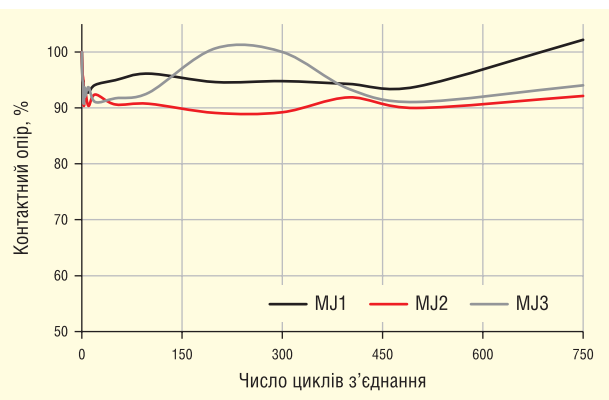
Перші результати:

- Для всіх типів роз'ємів після першого вимірювання відбувається незначне зменшення опору.



**Рис. 5.** Зовнішній вигляд модульних роз'ємів WE-RJ45 LAN компанії Würth Elektronik, що пройшли випробування на гаряче з'єднання, і приклад електричної принципової схеми одного з варіантів виконання під PoE

- Контактний опір залишається досить-таки стабільним для трьох типів роз'ємів.
  - Поверхня основного електричного контакту після 750 циклів з'єднання під навантаженням не має слідів деградації.
  - Видима деградація в ділянці точки контакту не впливає на використання модульних роз'ємів MJ (рис. 7).
- Висновки:
- Під час вставлення наявні забруднення видаляються при-тиранням контактів. Тобто модульні роз'єми компанії Würth Elektronik самоочищаються.



**Рис. 6.** Зміна контактної опору залежно від числа з'єднань під навантаженням за струму 1.5 А

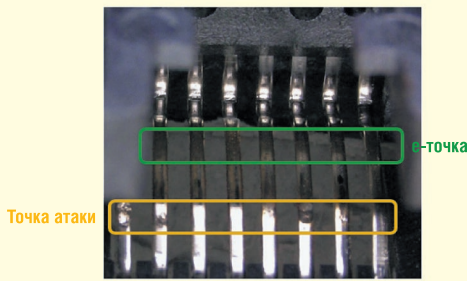


Рис. 7. Контакти модульного роз'єму після 750 циклів з'єднання за 1.5 А

- Гаряча заміна не впливає на якість електричного контакту в «е-точці» з рівнем струму 1.5 А при 750 циклах з'єднання.
- Зразки були отримані з продуктів під кабелі CAT 3, CAT 5e і CAT 6. Категорія роз'єму не впливає на можливості гарячої заміни.

## ВИСНОВОК

Якщо через свою природу і конструкцію електричні вимикачі призначені для розмикання і замикання кола під навантаженням, то модульні роз'єми не є перемикачами, тому їх не можна вмикати і вимикати під навантаженням. Однак у разі використання відповідно до чинних специфікацій модульні роз'єми компанії Würth Elektronik здатні завдяки своїй конструкції витримувати цикли випадкового з'єднання під навантаженням.

Проте рекомендації щодо застосування ґрунтуються на знаннях і досвіді фахівців компанії Würth Elektronik щодо типових вимог, що стосуються цієї галузі. Вони служать загальним керівництвом і не повинні розглядатися як зобов'язання Würth Elektronik щодо придатності для застосування замовником. Клієнти можуть використовувати допомогу та рекомендації компанії Würth Elektronik для своїх застосувань і дизайну на основі власного досвіду та переконань. У зв'язку з цим клієнти повинні оцінити й дослідити, де доречно застосування виробів, що пропонуються, і вирішити, чи є пристрій із конкретними характеристиками, описаними в специфікації, придатним для відповідного застосування, чи ні.

Технічні характеристики вказані в наявному паспорті продукції. Поточні специфікації можна завантажити на сайті [7].

Під час використання роз'ємів клієнти повинні суворо дотримуватися всіх

приміток, застережень і попереджень, що стосуються конкретного продукту. Для полегшення вибору та апробування рішень на основі модульних роз'ємів, компанія Würth Elektronik пропонує не тільки їхні зразки, а й комплекти модульних і комунікаційних роз'ємів [8] під конкретні завдання. Крім того, у компанії є рішення і для однопарного індустріального Ethernet [9].

## Література:

1. Бустос Х., Шиллінгер Р., Марк С., Чен А. Краткое руководство по разработке индустриального Ethernet с использованием трансформаторов WE-STST компании Würth Elektronik // CHIP NEWS Украина. 2020. № 8.
2. Chaillet A. Constantin Lemarquis. Hot plugging of PoE Modular Jacks. Application Note, ANE008, 2021-04-12. [https://www.we-online.com/catalog/media/o400305v410%20ANE008a\\_EN.pdf](https://www.we-online.com/catalog/media/o400305v410%20ANE008a_EN.pdf)
3. WE-RJ45 LAN Transformer EXTENDED. [www.we-online.com/catalog/en/WE-LAN-RJ45](http://www.we-online.com/catalog/en/WE-LAN-RJ45)
4. WE-RJ45 10G Transformer. [www.we-online.com/catalog/en/WE-LAN-RJ45-10G](http://www.we-online.com/catalog/en/WE-LAN-RJ45-10G)
5. WE-RJ45 LAN Through Hole Reflow. [www.we-online.com/catalog/en/WE-LAN-RJ45\\_THR](http://www.we-online.com/catalog/en/WE-LAN-RJ45_THR)
6. Лю Д. Проблемы технологии монтажа в отверстия оплавлением // Технологии в электронной промышленности. 2020. № 1.
7. [www.we-online.com](http://www.we-online.com)
8. Design Kit Modular Jacks & Communication Connectors. [www.we-online.com/catalog/en/DESIGNKIT\\_615001?s\\_q=Modular+Jacks](http://www.we-online.com/catalog/en/DESIGNKIT_615001?s_q=Modular+Jacks)
9. Форнхаген Ф., Лейхенседер М., Демхартер Р., Альба И. М., Марк С., Бустос Х., Фриче М. Переклад та доповнення: Рентюк В. Würth Elektronik: однопарний Ethernet для індустріальних застосувань // CHIP NEWS. 2022. № 8. CN

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ КОНТРОЛЕР ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЖИВЛЕННЯМ У ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

Компанія **Würth Elektronik ICS** представила ePDM 70-150, інноваційний контролер, який змінює спосіб розподілу потужності в електричних системах транспортних засобів. Це інтелектуальне рішення поєднує в собі логічну обробку, зв'язок, розширені можливості діагностики та високострумкові виходи в компактному пристрої, встановлюючи нові стандарти в електротехніці та електроніці транспортних засобів.

ePDM 70-150 розроблений для задоволення зростаючих потреб інтелектуальних і підключених мобільних машин і комерційних транспортних засобів. Як універсальний контролер з можливостями розподілу живлення, він пропонує безліч переваг.

Оснащений дев'ятьма аналоговими та цифровими входами і різноманітними виходами до 35 А, контролер ePDM 70-150 призначений для складних завдань керування та розподілу електроенергії. Він ефективно працює в діапазоні температур від  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а його навантажувальна здатність становить 150 А при  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Захист IP67/IP69K забезпечує надійну роботу навіть у суворих умовах експлуатації.

ePDM 70-150 підтримує різні сценарії пробудження, наприклад, активацію вбудованого в кабінку HMI при відчиненні дверей. Він також має виходи «завжди увімкнено», які залишаються активними навіть у сплячому режимі, забезпечуючи захищене електроживлення критично важливих компонентів, таких як телематичні модулі.

ePDM 70-150 підтримує оновлення програмного забезпечення для безперервного розвитку та оптимізації функцій без зміни апаратного забезпечення. Використання ідентичного обладнання для різних моделей транспортних засобів знижує загальну вартість системи, оскільки витрати на розробку обмежуються переважно розробкою програмного забезпечення. Незначні поведінкові коригування можуть бути зроблені за допомогою програмування.

Контролер ePDM 70-150 легко інтегрується в наявну конструкцію транспортних засобів без необхідності прямого доступу і має високий ступінь захисту (IP67/IP69K).

[www.we-online.com](http://www.we-online.com)