

# Схеми для усунення брязкоту контактів механічних перемикачів

Александр Шайє (Alexandre Chaillet), Евелін Хуанг (Evelyn Huang)

**Попри широке поширення напівпровідникових комутаторів, механічні перемикачі, як і раніше, використовують в багатьох випадках. Як би не вдосконалювалася їхня технологія, від брязкоту контактів позбутися не вдається. У статті розглядаються способи звести ці проблеми до мінімуму за допомогою зовнішніх компонентів.**

## ВСТУП

Компанія Würth Elektronik пропонує широкий асортимент механічних перемикачів (рис. 1). Ці вироби застосовуються в багатьох випадках для розмикання та замикання електронних кіл.

Функція перемикачів переважно механічна, але багато перемикачів працюють як аналого-цифровий інтерфейс у сучасних електронних схемах із чітко визначеними рівнями напруги для логічного нуля та логічної одиниці. Будь-який розробник пристрою, де використовуються тактові або детекторні кнопки з електронною схемою, що швидко реагує, може поставити собі питання, чому вона функціонує некоректно. Причина може полягати в так званому брязкоті (вібрації) контактів. У статті розглянуто схему, що дає змогу розв'язати цю поширену проблему.

## БРЯЗКІТ КОНТАКТІВ

### Механізм перемикачів

Зазвичай вважається, що контакт у перемикачі є надійним і спрацьовує миттєво (рис. 2). Однак на практиці все дещо інакше (рис. 3). У кожному положенні перемикача контакт між струмопровідними ділянками встановлюється або переривається за допомогою рухомих механічних елементів (рис. 4).

Зазвичай пружинні компоненти застосовують як засіб для переведення контакту з одного стану в інший у вигляді або

металевої пластини, або гвинтової пружини, яка має деяку масу, а отже, момент інерції. У той момент, коли ці невеликі компоненти приводяться в рух, вони з прискоренням перемищуються в потрібне положення. Після спрацьовування деякий час відбуваються багаторазові неконтрольовані замикання і розмикання контактів завдяки пружності пружини і деталей контактної системи; при цьому електричне коло розмикається і замикається, поки рух повністю не припиниться.

Оскільки коефіцієнт загасання великий, а момент інерції малий, тривалість цього ефекту зазвичай становить лише кілька мікросекунд. Силкові кола від нього не страждають, чого не можна сказати про цифровий вхід. При зміні стану електронний сигнал має нестабільний або, точніше, невизначений статус, тоді як логічний ІС потрібен чіткий сигнал певного рівня. Мікроконтролер може пропустити стан порту, що змінився, якщо зчитує дані в невідповідний момент. Таким чином, потрібно забезпечити генерацію чіткого вихідного сигналу перемикача. Ми розглянемо

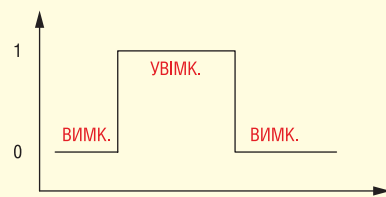


Рис. 2. Ідеалізований графік сигналу, що комутується

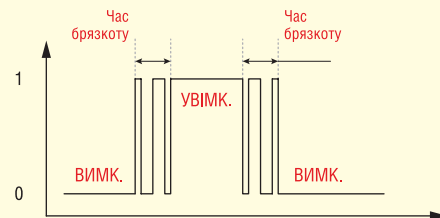


Рис. 3. Ідеалізований графік «реального» сигналу, що комутується

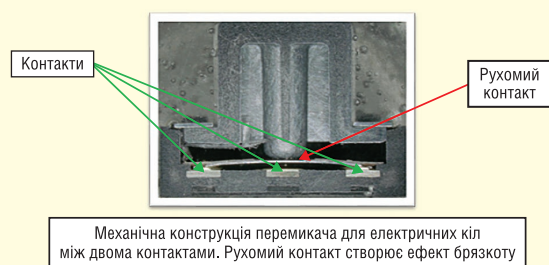


Рис. 4. Конструкція тактового перемикача

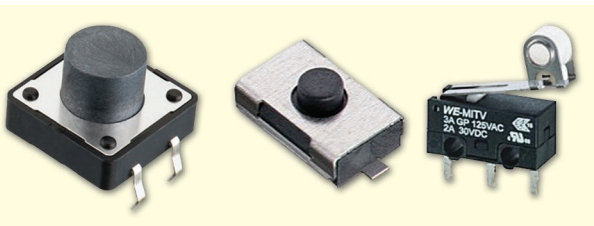


Рис. 1. Частина асортименту механічних перемикачів компанії WE

**Таблиця 1. Компоненти для перемикачання та захисту від брязкоту**

Компоненти	Час брязкоту
Тактовий перемикач	10 мс
Кнопковий перемикач	
Детектор	
Механічний енкодер	

схему, що дає змогу усунути його брязкіт, щоб розв'язати цю проблему.

**Компоненти, що використовуються**

Час захисту від брязкоту вказано в паспорті виробу. Компанія Würth Elektronik визначає цей параметр як час між механічним перемиканням компонента і повним електричним перемиканням. У таблиці 1 перераховано компоненти, які використовуються для перемикачання і захисту від брязкоту.

**СХЕМА УСУНЕННЯ БРЯЗКОТУ**

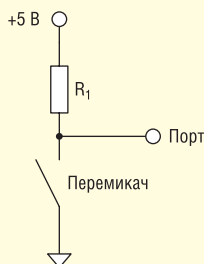
Ми додамо деякі компоненти для створення фільтра нижніх частот (ФНЧ), щоб оцінити його вплив на вихідний сигнал.

**Додавання фільтра**

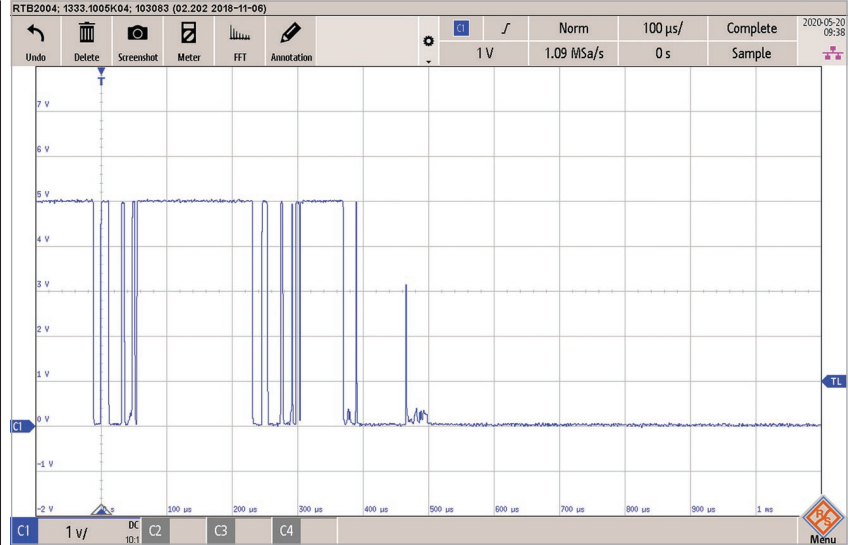
Схема базового перемикача без компенсації брязкоту показана на рисунку 5. Типові значення резистора  $R_1$ :  $1 \cdot 10^3$  Ом;  $V_{CC} = 5$  В.

Після натискання перемикача виникає сигнал, який дає змогу відстежити ефект брязкоту контактів (рис. 6).

Щоб усунути брязкіт у вихідному сигналі, пропонується одна з найдешевших



**Рис. 5. Схема перемикача без захисту від брязкоту**



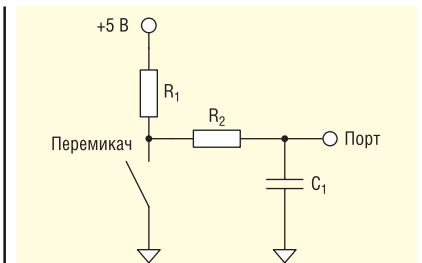
**Рис. 6. Вихідний сигнал за відсутності схеми захисту від брязкоту під час переходу з високого на низький рівень**

і найпростіших у реалізації електронних схем, у якій використовується RC-фільтр (рис. 7). Коли перемикач розімкнений, конденсатор заряджається через коло  $R_1 + R_2$ , що уповільнює зростання напруги. Коли перемикач замкнений, конденсатор розряджається через  $R_2$  з контрольованою швидкістю.

Якщо компоненти були обрані коректно, брязкіт перемикача поглинається в процесі заряджання або розряджання, завдяки чому забезпечується плавний перехід з одного стану в інший. Для розрахунку номіналу конденсатора і резисторів застосовується формула (1), що дає змогу визначити постійну часу схеми:

$$T = (R_1 + R_2) \cdot C_1, \tag{1}$$

де  $T$  — постійна часу, с;  $R$  — величина опору, Ом;  $C$  — величина ємності, Ф.



**Рис. 7. Перемикач із базовою схемою захисту від брязкоту**

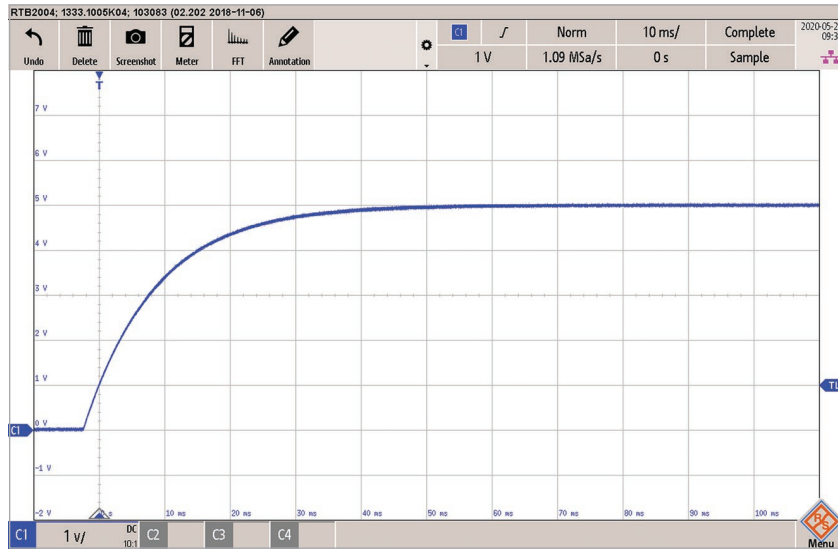
Постійна часу вибирається як певне компромісне значення, що дає змогу усунути брязкіт перемикача та забезпечити необхідний час відгуку схеми. За одну постійну часу напруга підвищиться до 63% від свого кінцевого значення або впаде до 37% від цього значення. В обох випадках вона підви-

**РАДІОМОДУЛЬ ДЛЯ ЗВ'ЯЗКУ LORAWAN®**

Компанія **Würth Elektronik** випустила на ринок *Daphnis-I* — тонкий радіомодуль з наднизьким енергоспоживанням і великим радіусом дії для використання в IoT. Трансивер, побудований на базі мікросхеми *STM32WLE5CCU6*, працює з протоколом LoRaWAN® (Long Range Wide Area Network) 1.0.4. Цей бездротовий протокол IoT в діапазоні частот *EU868* дозволяє зв'язуватися з пристроями, віддаленими від шлюзу більш ніж на десять кілометрів. Модуль *Daphnis-I* розміром всього  $15 \times 16 \times 3$  мм також підходить для застосувань IoT з обмеженими габаритами. *Daphnis-I* вирізняється надзвичайно низьким енергоспоживанням — всього 63.9 нА в сплячому режимі, що робить його ідеальним рішенням для застосувань IoT з живленням від батареї. Компанія Würth Elektronik пропонує розробникам пристроїв спеціальний набір для тестування, а також *Smart Commander* — зручне програмне забезпечення для налаштування з графічним інтерфейсом користувача.

*Daphnis-I* підтримує LoRaWAN® класу A, B і C, що означає, що модуль може отримувати дані у відповідь на свої передачі, як з контролем часу, так і з постійно відкритим вікном завантаження-приймання. Керування модулем здійснюється через інтерфейс UART за допомогою простого у використанні набору AT-команд.

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



**Рис. 8. Вихідний сигнал під час використання схеми усунення брязкоту та переходу з низького на високий рівень**

щується або спадає на 99% після п'яти постійних часу.

**Приклад розрахунку**

Задані умови:

- час брязкоту в специфікаціях: 10 мс;
- типове значення опору  $R_1$  для обмеження струму: 1 кОм;
- $R_2$ : обираються два стандартних значення для усунення брязкоту: 10 і 47 кОм;
- напруга живлення: 5 В DC.

Таким чином, розрахунок дає два значення ємності:

$$C_1 = \tau / (R_1 + R_2). \quad (2)$$

Пропонуються два ряди значень для цієї схеми:

- рішення 1:  $R_1 = 1$  кОм;  $R_2 = 10$  кОм;  $C_1 = 1$  мкФ;
- рішення 2:  $R_1 = 1$  кОм;  $R_2 = 47$  кОм;  $C_1 = 220$  нФ.

Зауважимо, що значення опору і ємності можуть відрізнитися залежно від конструкції схеми замовника.

Для обох схем отримуємо характеристику, показану на рисунку 8.

Значення  $U_{OUT}$  залежно від часу визначається такою формулою:

$$U_{OUT} = U_{IN}(1 - e^{-t/\tau}). \quad (3)$$

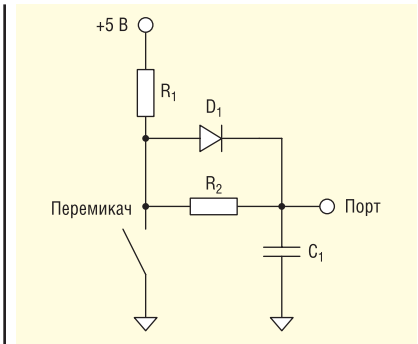
З неї випливає, що при  $t = \tau$  величина вихідної напруги  $U_{OUT}$  становить близько 63% вхідної  $U_{IN}$ . У нашому прикладі величина  $U_{OUT} = 63\%$  (3.15 В) від свого кінцевого значення (5.0 В) через 10 мс.

**Додавання діода**

Щоб контролювати час заряду і час розряду окремо, до наведеної вище схеми додається діод (рис. 9). У результаті скорочується час перемикавання для заряджання конденсатора за допомогою  $R_1$  і  $D_1$ , і стає іншим час розрядження, коли використовується тільки  $R_2$ , оскільки в цьому випадку діод блокується.

**Додавання буфера**

Як відомо, нуль у цифровій логіці визначається за рівнем нижче деякої напруги (наприклад, 0.8 В), а одиниця — вище (наприклад, 2.5 В). Значення між ними не визначені. Якщо додаток



**Рис. 9. Додавання діода в схему**

не в змозі підтримати невизначені значення, може знадобитися буфер із тригером Шмітта з гістерезисом. Схему з різним часом увімкнення і вимкнення та додатковим гістерезисом показано на рисунку 10. Час відгуку схеми, можливо, доведеться узгодити з часом вибірки мікроконтролера.

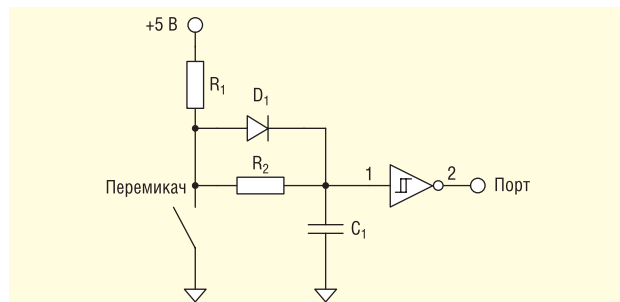
**Захист від перехідних процесів**

Якщо перемикач розташований далеко або на кінці довгого дроту, ймовірно, буде потрібен захист від перенапруги, електростатичного розряду або інших перехідних процесів. Як захисні компоненти застосовується феритова намистина і TVS-діод, встановлені перед вхідним колом (рис. 11).

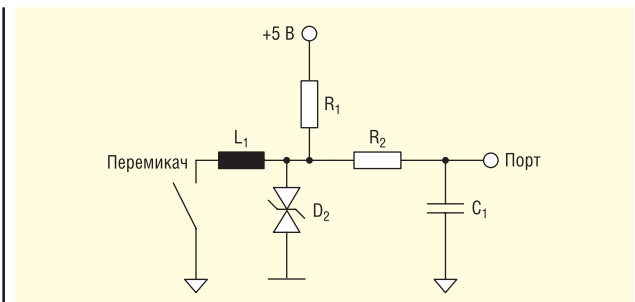
**ВИСНОВКИ**

Під час використання механічних перемикачів сигналів з'являється ефект брязкоту, що характеризується короткими періодами нестабільного сигналу в електронній схемі. Час брязкоту перемикачів Würth Elektronik досягає 10 мс, що слід враховувати під час проектування. Запропонований RC-фільтр дає змогу зменшити це явище. Фільтр можна вдосконалити, встановивши додаткові компоненти для точнішого формування сигналу та захисту від перенапруги.

CN



**Рис. 10. Тригер Шмітта забезпечує стабільні та визначені значення напруги**



**Рис. 11. Додавання феритової намистини і TVS-діода для захисту від перенапруги**