

СХЕМА ЕЛЕКТРОННОГО ТАЙМЕРА ІЗ ЗАТРИМКОЮ ВВІМКНЕННЯ РЕЛЕ НА БАЗІ NE555 З ОПТОІЗОЛЯЦІЮ ВИХОДУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено та досліджено експериментальну схему затримки ввімкнення реле на основі таймера NE555, оптрону PC817 та силового транзистора 2N2222. Схема працює від однополярного джерела живлення +12 В. Час затримки задається RC-ланцюгом на вході RESET NE555. В роботі наведено принцип дії, розрахунки часової константи, розрахунки струмових режимів світлодіодної та силової частин, аналіз практичних відхилень від теоретичних значень, визначені джерела помилок та запропоновано конкретні технічні рекомендації щодо підвищення надійності й повторюваності робочих характеристик.

Ключові слова: NE555, PC817, 2N2222, реле.

Abstract

An experimental relay turn-on delay circuit based on the NE555 timer, PC817 optocoupler and 2N2222 power transistor has been developed and investigated. The circuit operates from a +12 V unipolar power supply. The delay time is set by an RC circuit at the RESET input of the NE555. The paper presents the principle of operation, calculations of the time constant, calculations of the current modes of the LED and power parts, analysis of practical deviations from theoretical values, identified sources of errors and proposed specific technical recommendations for increasing the reliability and repeatability of operating characteristics.

Keywords: NE555, PC817, 2N2222, relay.

Вступ

Мета роботи — створити простий та надійний пристрій затримки ввімкнення реле для застосувань, де потрібно відтермінувати комутацію навантаження після подачі живлення або після процесу зарядження високовольтних накопичувальних конденсаторів. Обрана топологія забезпечує гальванічну розв'язку вихідного ключа через оптрон та мінімізує вплив перехідних процесів іншої частини системи на вузол керування. Практичним завданням була й верифікація математичної моделі заряду $R-C$ та її відповідності вимірним часам для реальних компонентів, а також оцінка наскільки існуюча оптоелектронна ланка забезпечує необхідний базовий струм для транзисторного ключа.

Опис схеми й принцип дії

Схема складається з наступних функціональних блоків:

1. Живлення: +12 В та GND. NE555 [1] живиться між pin 8 (U_{CC}) та pin 1 (GND).
2. Часозадаючий ланцюг: змінний резистор R_{var} (використовується 0,1...1,1 МОм у випробуваннях) між +12 В і RESET (pin 4). Конденсатор C (випробовуваний 500 мкФ) між RESET і GND формує RC-ланцюг. Поки $U_{RESET} < 0,7$ В, NE555 утримується в стані скидання і вихід OUT (pin 3) LOW. Після досягнення порога, NE555 перетворюється у стан дозволу і вихід переходить до HIGH.
3. Вихідна оптоізоляція: OUT → послідовний резистор 1 кОм → світлодіод оптрона PC817 [2] (анод-катод). Фототранзистор PC817 забезпечує електричне роз'єднання між цифровою і силовою частинами (рис. 1).

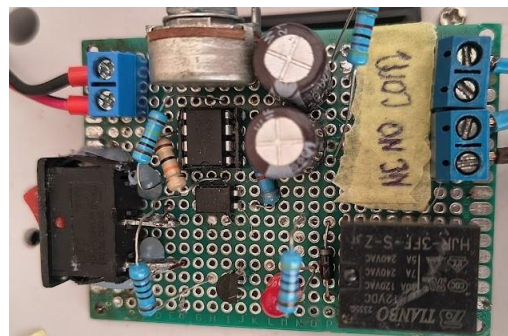
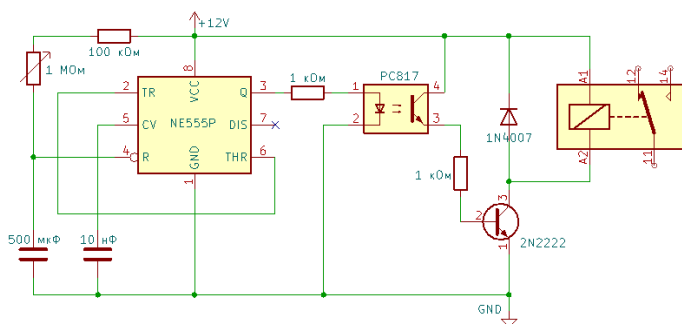


Рис. 1. Принципова схема реле часу на таймері NE555

4. Силовий ключ і реле: фототранзистор PC817 керує ланцюгом бази 2N2222 [3] через резистор 1 кОм; 2N2222 комутує котушку реле Y3F-SS-112DM [4] (котушка 12 В, $P_{coil} \approx 0,36$ Вт). Паралельно котушці встановлено діод 1N4007 для захисту від ЕРС.

Результати дослідження

Закон заряду конденсатора при заряді від джерела U_{CC} (початкова напруга $U_i = 0$):

$$U_{C,RESET} = U_{CC} \cdot \left(1 - e^{-t_{RESET}/RC}\right). \quad (1)$$

Умовою формування високого рівня на виході NE555 прийнято момент t_{RESET} , при якому $U_C(t_{RESET}) = U_{C,RESET} = 0,7$ В. Одночасно напруга на резисторі в момент t_{RESET} $U_R(t_{RESET}) = U_{CC} - U_C(t_{RESET}) = 11,3$ В. Відкриваючи відносно $RESET$, отримуємо загальну формулу:

$$t_{RESET} = -RC \cdot \ln\left(1 - \frac{U_{C,RESET}}{U_{CC}}\right) = -\tau \cdot \ln\left(1 - \frac{U_{C,RESET}}{U_{CC}}\right). \quad (2)$$

Підставимо у формулу часу

$$t_{RESET} \approx -0,1 \cdot 10^6 \cdot 500 \cdot 10^{-6} \cdot \ln\left(1 - \frac{0,7}{12}\right) \approx 50 \cdot 0,062 \approx 3,1 \text{ с}$$

$$t_{RESET} \approx -1,1 \cdot 10^6 \cdot 500 \cdot 10^{-6} \cdot \ln\left(1 - \frac{0,7}{12}\right) \approx 550 \cdot 0,062 \approx 34,1 \text{ с}$$

Отже, при заданих номіналах аналітично отримано діапазон задання часу спрацювання реле від $t_{RESET} \approx 3,1$ до $t_{RESET} \approx 34,1$ с. Цей результат узгоджується з експериментально вимірним часом формування високого рівня 33 с.

Для знаходження R і C при заданому t_{RESET} можна описати формулами:

$$R = \frac{t_{RESET}}{C \cdot \left(-\ln\left(1 - U_{C,RESET}/U_{CC}\right)\right)}; \quad C = \frac{t_{RESET}}{R \cdot \left(-\ln\left(1 - U_{C,RESET}/U_{CC}\right)\right)}. \quad (3)$$

Початковий зарядний струм (момент $t=0$):

$$I_0 = U_{CC}/R_{var} = 1,09 \cdot 10^{-5} \approx 10,9 \text{ мкА}. \quad (4)$$

Потужність на резисторі у стаціонарному стані під час постійного підключення:

$$P_R = \frac{U_{CC}^2}{R_{var}} = \frac{144}{1,1 \cdot 10^6} = 1,31 \cdot 10^{-4} = 131 \text{ мкВт}. \quad (5)$$

Енергія, накопичена в конденсаторі при $U_C=0,7$ В:

$$E = \frac{1}{2} \cdot CU^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,0005 \cdot (0,7)^2 = 0,0001225 = 122,5 \text{ мкДж}. \quad (6)$$

Вихід таймера (pin 3) через $R_{LED}=1$ кОм подає струм на світловипромінюючий діод оптопари. Припущення і номінали: $U_{out}^{HIGH} \approx U_{CC} = 12$ В (реально — трохи менше, але для консервативних розрахунків приймаємо 12 В). Напруга падіння світлодіода оптопари $U_F \approx 1,2$ В (типова).

Струм через світлодіод:

$$I_{LED} = \frac{U_{out}^{HIGH} - U_F}{R_{LED}} = \frac{12 - 1,2}{1000} = 10,8 \text{ мА}. \quad (7)$$

Потужність на R_{LED} :

$$P_{LED} = I_{LED}^2 \cdot R_{LED} = (10,8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1000 \approx 0,117 \text{ Вт}. \quad (8)$$

Схема забезпечує, що при світінні LED фототранзистор оптопари і через колекторний резистор $R_{B2}=1$ кОм формується падіння напруги, відкриваючи базу 2N2222. Для оцінки максимального струму бази при насиченні припускаємо, що оптрон, при яскравому освітленні наближається до режиму насичення й спричиняє мале падіння напруги на колектор-емітерному переході (припустимо $\ll 1$ В). Тоді напруга на резисторі бази приблизно $12 - 0,7 \approx 11,3$ В. Струм бази 2N2222: $I_B \approx 12 - 0,7 / 1000 = 11,3$ мА.

За практичним допущенням для насичення силового ключа приймаємо коефіцієнт примусового насичення $\beta_{sat} \approx 10$ (значення, що гарантує насичення в умовах комутації реле). Тоді допустимий струм колектора:

$$I_C \leq \beta_{sat} \cdot I_B = 10 \cdot 11,3 \text{ мА} = 113 \text{ мА}. \quad (9)$$

Отже, 2N2222 при запропонованих параметрах може надійно вмикати реле з номінальним струмом обмотки до 110 мА. Типові 12-вольтові реле мають струм обмотки в діапазоні від 30 до 100 мА; отже, більшість малогабаритних реле сумісні з даною схемою. Якщо вимога до струму більша, необхідно застосувати транзистор з вищим максимально допустимим струмом колектора або *MOSFET* як ключ.

Потужність, що розсіюється на колекторі 2N2222 в режимі насичення (приблизно $U_{CE,sat} \approx 0,2$ В):

$$P_{2N2222} = U_{CE,sat} \cdot I_C \leq 0,2 \cdot 0,113 \approx 0,0226 \text{ Вт} . \quad (10)$$

Для швидкого розмикання обмотки замість 1N4007 можна застосувати діод Шоткі або пасивну RC-ланку, якщо затримка розмикання критична.

Висновки

Реалізована схема затримки ввімкнення реле на базі *NE555*, *PC817* і *2N2222* продемонструвала відповідність теоретичним розрахункам часової константи при коректних номіналах компонентів та відсутності паразитних витоків.

Аномалії в часі ввімкнення при незмінних номіналах *R* і *C* найчастіше зумовлені реальними відхиленнями фактичної ємності електролітичного конденсатора і/або паразитними витоками; їх усунення — пріоритетна діагностична дія.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Texas Instruments, “*NE555 – Precision Timers. Datasheet*,” Texas Instruments, [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf>. [Accessed: Sep. 04, 2025].
- [2] Sharp Corporation, “*PC817 – Photocoupler. Datasheet*,” Sharp Corp., [Online]. Available: <https://www.sharpsde.com/fileadmin/products/opto/pc817.pdf>. [Accessed: Jan. 15, 2018].
- [3] ON Semiconductor, “*2N2222A – NPN Amplifier Transistor. Datasheet*,” ON Semiconductor, [Online]. Available: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/2n2222a-d.pdf>. [Accessed: Nov. 02, 2018].
- [4] Yuanze Relay, “*Y3FSS112DM0L01 (Y3F-SS-112DM) – Sealed Subminiature Relay. Datasheet*,” Yuanze Relay, [Online]. Available: https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1811121513_Yuanze-Relay-Y3F-SS-112DM_C35406.pdf. [Accessed: Apr. 23, 2025].

Лебедь Денис Юрійович – асистент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: 4e15b.lebyd@gmail.com;

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту,
Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Lebed Denys Yuriyovych – Assistant Professor of the Department of Electrical Engineering Systems of Electricity Consumption and Energy Management, e-mail: 4e15b.lebyd@gmail.com;