

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

Капаціла Ю.Б., Пісьціо В.П.

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторної роботи  
«Дослідження реле часу» з курсу «Технічні засоби  
автоматизації» для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр»  
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»

Тернопіль  
2019

Методичні вказівки розроблено у відповідності з навчальним планом підготовки здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

**Укладачі:** к.т.н., доцент Капаціла Ю.Б.;  
асистент Пісьціо В.П.

**Рецензент:** к.т.н., доцент Дозорський В. Г.

**Відповідальний за випуск:** к.т.н., доцент Капаціла Ю.Б.

Розглянуто та схвалено на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв (протокол №3 від 10 жовтня 2019 року).

Затверджено та рекомендовано до друку науково-методичною комісією факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії ТНТУ (протокол № 3 від 22 жовтня 2019 року).

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. Теоретичні відомості.....	5
2. Послідовність виконання роботи .....	14
Контрольні запитання.....	15
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	16

## ВСТУП

Лабораторні роботи виконуються для закріплення теоретичних знань, отриманих студентами під час лекційних занять та самопідготовки. Метою виконання лабораторних робіт є вироблення у студентів навичок та вмінь самостійної роботи при вивченні фізичних процесів, які проходять в електричних та електронних приладах.

Методичні вказівки забезпечують можливість студентам опрацювати необхідний теоретичний матеріал, самостійно підготуватись до виконання лабораторної роботи, оформити звіт та перевірити свої знання.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» усіх форм навчання.

Тема. Дослідження реле часу в системах управління навантаженням.

Мета: вивчення роботи реле часу та ознайомлення з роботою схем, побудованих на основі цих реле.

## 1. Теоретичні відомості

В схемах захисту і автоматики часто буває необхідним створення витримки часу між спрацюваннями двох або декількох апаратів. Для цього служать пристрої, які називаються «реле часу».

До реле часу ставлять такі загальні вимоги:

- стабільність витримки часу при коливаннях величини і частоти напруги живлення, температури навколишнього середовища та впливу інших зовнішніх факторів;
- малі маса, габарити і потужність, яка споживається.

В залежності від сфери застосування до реле часу висувають і різні специфічні вимоги. Для схем автоматичного управління електроприводом при великій частоті увімкнень потрібні реле з високою механічною зносостійкістю – до  $(5-10) \cdot 10^6$  спрацювань.

Необхідні витримки часу знаходяться в межах 0,25-10 с. До цих реле не висуваються вимоги високої стабільності витримки часу. Похибка часу спрацювання може досягати 10%. Реле повинні працювати в виробничих умовах при наявності інтенсивних механічних впливів.

Реле для захисту енергосистем повинні мати більшу точність витримки часі. Ці реле працюють відносно рідко, тому до них не висувають особливих вимог до зносостійкості. Зносостійкість реле часу захисту порядку  $(5-10) \cdot 10^3$  спрацювань. Витримка часу таких реле складає 0,1-20 с.

Для автоматизації технологічних процесів необхідні реле з великою витримкою часу – від декількох хвилин до декількох годин.

Реле часу за будовою і принципом дії поділяються на такі типи:

- реле з електромагнітною затримкою;
- реле з пневматичним сповільнювачем;
- реле часу з годинниковим або анкерним механізмом;
- моторні реле часу;
- електронні реле часу.

Для отримання невеликих витримок часу використовують електромагнітні реле в поєднанні із схемами, що сповільнюють зміну струму в котушці реле. Такі реле часу не відзначаються стабільністю, але вони знаходять достатньо широке застосування завдяки своїй простоті і невисокій вартості.

В схемі на рисунок 1, а, для сповільнення спрацювання паралельно котушці реле  $K1$  під'єднаний конденсатор  $C$ . При замиканні керуючого контакту  $SA1$  конденсатор заряджається і напруга на реле досягне значення спрацювання лише через певний час.

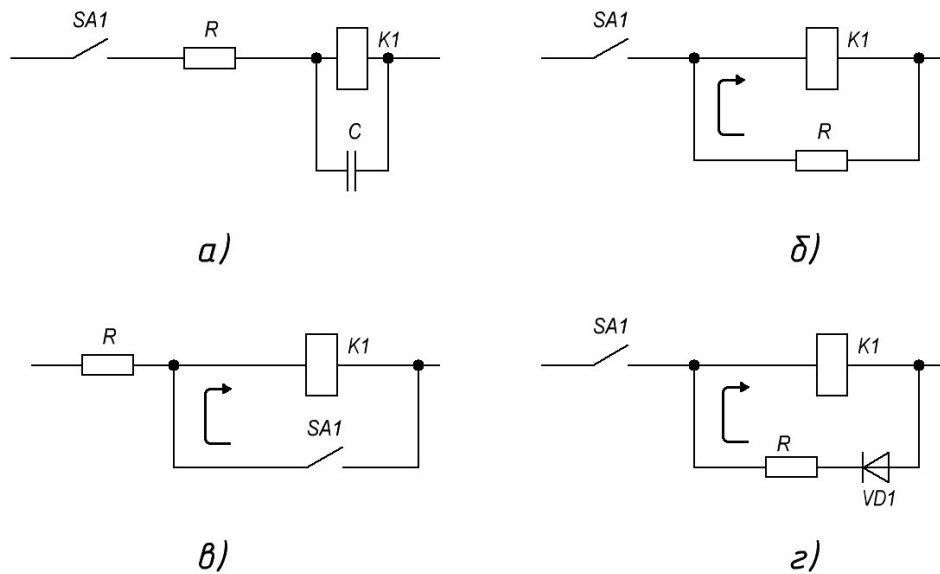


Рисунок 1 – Схеми найпростіших реле часу

При розрахунках у такому реле індуктивністю обмотки реле нехтують: вона слабо впливає на час спрацювання. В такому випадку закон зміни струму, що протікає через обмотку, може бути записаний у формі:

$$I = I_{уст} \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right), \quad (1)$$

де  $I_{уст} = \frac{U_{жс}}{R + R_0}$  – струм через обмотку реле в установленому режимі роботи;

$T$  – стала часу кола, яка визначається за формулою  $T = C \frac{RR_0}{(R + R_0)}$ ;

$R_0$  – опір обмотки реле.

Реле спрацює при такому струмі  $I_{спр}$  через обмотку, який створює в установленому режимі спад напруги  $U_{спр}$ , (тобто  $I_{спр} = U_{спр} / R_0$ ).

З вищенаведеного впливає, що момент спрацювання реле після подачі живлення, настане через час, що обчислюється за формулою:

$$t_{спр} = T \ln \left( \frac{I_{уст}}{I_{уст} - I_{спр}} \right) = C \frac{RR_0}{(R + R_0)} \ln \left( \frac{U_{жс} R_0}{U_{жс} R_0 - U_{спр} (R + R_0)} \right). \quad (2)$$

Всі схеми сповільнення відпускання реле базуються на використанні енергії, накопиченої в магнітному полі котушки для підтримування струму після розриву кола живлення реле. В схемі на рисунок 1, б, в після розмикання контакту SA1, магнітний потік, що зменшується, наводить електрорушійну силу (ЕРС) в обмотці реле, під дією якої в колі проходить струм спрацювання  $I$ , що утримує якір в притягнутому стані. Схеми характеризуються додатковими втратами потужності, що виникають в резисторі. Цього не відбувається в схемі, зображеній на рисунок 1, г, в якій послідовно з резистором увімкнено діод VD1, що блокує протікання струму через резистор у стаціонарному режимі. Для

отримання значної витримки часу реле повинно бути достатньо масивним, щоб забезпечити необхідний запас магнітної енергії.

Визначення витримки часу таких реле можливо з таких міркувань. Струм в колі при відключенні керуючого контакту SA1 спадає наближено за експоненціальним законом:

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{t}{T}\right), \quad (3)$$

$$\text{і в момент відпускання } I_{\text{від}} = I_0 \exp\left(-\frac{t_{\text{від}}}{T}\right),$$

де  $I_0 = U_{\text{жс}}/R_0$  – струм, що протікає через реле при замкнутому контакті в установленому режимі коли на реле подана напруга живлення  $U_{\text{жс}}$ , і струм через реле обмежується лише опором обмотки  $R_0$ ,

$T$  – стала часу, що визначається за формулою  $T = L/(R_{\text{ш}} + R_0)$ , в якій  $R_{\text{ш}}$  – опір резистора, включеного паралельно обмотці,  $L$  – індуктивність обмотки.

В момент відпускання якоря через обмотку протікає струм відпускання  $I_{\text{від}}$ , що в установленому режимі визначається через напругу відпускання  $U_{\text{від}}$  і

$$\text{струм: } I_{\text{від}} = \frac{U_{\text{від}}}{R_0}. \text{ Звідки випливає, що } t_{\text{від}} = T \ln\left(\frac{U_{\text{жс}}}{U_{\text{від}}}\right).$$

Принцип сповільнення зміни струму в обмотках реле для отримання витримок часу використовують в реле часу постійного струму з електромагнітним сповільненням і демпфуючою короткозамкнутою обмоткою.

Електромагнітне реле часу (рис. 2) складається з нерухомої частини магнітопроводу 2, на якому встановлена котушка 1, і рухомої частини магнітної системи (якір 6) з встановленими на ній контактами 8 і 9. При відсутності напруги на котушці якір 6 під дією пружини 4 знаходиться в піднятому положенні. Особливістю конструкції реле часу є наявність на магнітопроводі 2 масивної мідної трубки 3 (гільзи), яка і забезпечує витримку часу реле при відключенні його котушки від джерела живлення. Розглянемо цей процес докладніше.

Увімкнення реле відбувається так, як у звичайного електромагнітного реле, подачею напруги  $U$  на котушку 1 після замикання контакту 10. Якір 6, притягуючись до осердя, здійснює без витримки часу перемикає контакти 8 і 9. Витримка часу забезпечується за рахунок уповільнення повернення якоря в вихідне положення. При знятті з котушки напруги спадаючий магнітний потік створює в гільзі вихрові струми, які, по правилу Ленца, своїм магнітним потоком підтримують основний потік. Іншими словами, наявність гільзи уповільнює (демпфує) спадання магнітного потоку, а тим самим і переміщення якоря і контактної системи в вихідне (відключене) положення. У відповідності з таким принципом дії електромагнітне реле часу забезпечує витримку при розмиканні замикаючого контакту і замиканні розмикаючого контакту.

Витримка часу реле регулюється ступінчасто шляхом встановлення латунної немагнітної прокладки 7 певної товщини, яка закріплена на якорі 6

(зменшення товщини прокладки викликає збільшення витримки реле, і навпаки), або плавно за рахунок зміни натягу пружини 4 з допомогою гайки 5. Чим менше буде затянута пружина, тим більше буде витримка часу, і навпаки.

Витримка часу може бути отримана у електромагнітного реле без встановлення гільзи шляхом закорочування котушки після відключення її від мережі. В цьому випадку замкнутий контур, освічений котушкою і замикаючим її контактом 11, грає роль електромагнітного демпфера. Однак витримка часу в цьому випадку виходить менше, ніж у реле з гільзою.

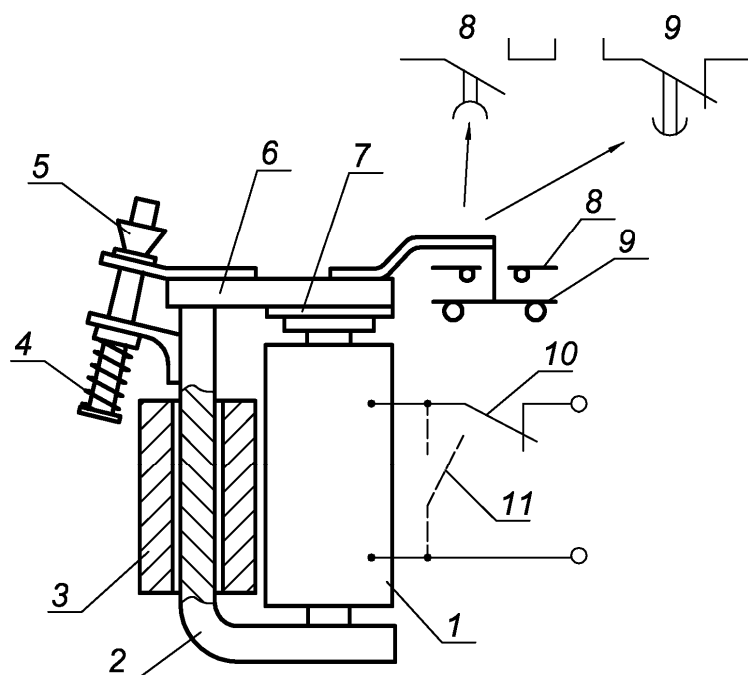


Рисунок 2 – Реле часу з електромагнітним сповільненням і демпфуючою короткозамкненою обмоткою

В машинобудуванні широко використовують пневматичні реле часу. Реле складається з електромагнітного приводу 1 (рис. 3) і пневматичної приставки, що містить контакти з часовою затримкою. Герметична камера 8 пневматичної приставки з'єднується з атмосферою через малий дроселюючий отвір 6. Корпус закритий плоскою еластичною мембраною 4, яка виготовлена з гуми. Мембрана з'єднана з штоком 10, який вільно спирається на якір електромагніту. При замиканні керуючого контакту електромагніт 1 втягує свій якір. Шток 10, позбавлений опори, під дією пружини 9 повільно опускається вниз по мірі заповнення камери повітрям через отвір 6. В кінці ходу штока важіль 3 перемикає контакти мікроперемикача 2.

Повернення реле в початкове положення проходить при знеструмленій обмотці електромагніту під дією пружини 11. При цьому повітря з пневматичної камери миттєво витісняється через зворотній клапан 7. Витримку часу реле можна змінювати за допомогою гвинта 5 в межах від 0,4 до 180 с.

Пневматичне реле універсальне і дозволяє отримати витримку часу після розмикання керуючого контакту. Для цього електромагніт повертають на 180



градусів. Існують виконання реле з двома пневматичними приставками і спільним електромагнітним приводом. Таке реле забезпечує дві незалежні витримки часу після замикання і розмикання керуючого контакту.

Робота реле часу не залежить від коливань напруги мережі, але точність роботи пневматичного демпфера невелика. Нормована похибка реле 10-15%, механічна стійкість реле 4,0-6,3 млн. циклів спрацювання в залежності від виконання.

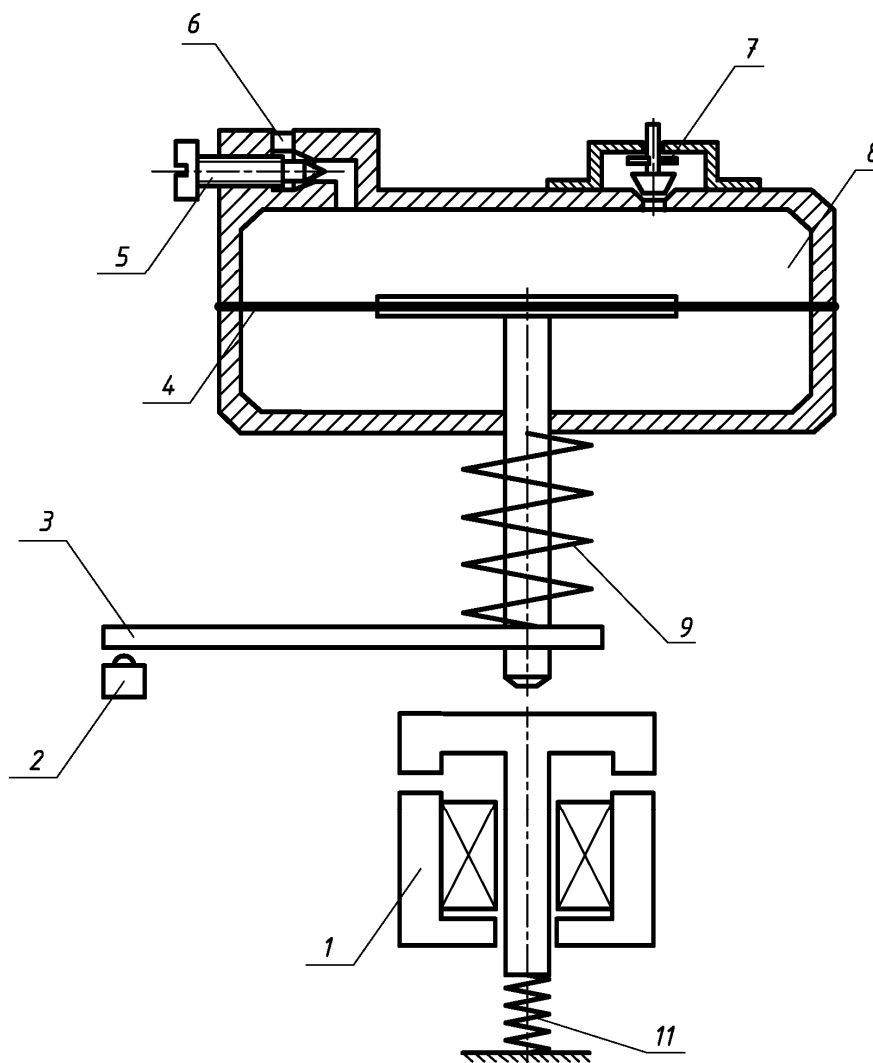


Рисунок 3 – Пневматичне реле часу

Широко поширені реле часу з механічним уповільненням, в зокрема з годинниковим механізмом. В таких реле (рис. 4) при подачі напруги на електромагнітний привід 1 розтягується пружина 2 і годинниковий механізм приходить в дію. Анкер 4, повертаючись навколо осі  $B_2$ , «перепускає» зубчастий диск 3, який обертається навколо осі  $B_1$ . Важіль 8, який переміщується разом з ним в кінці шляху впирається в пластинчастий контакт 9 і замикає його.

Храповий механізм дає рухомій системі реле можливість повернутися в вихідне положення, коли буде знято напругу електромагнітного приводу 1. Повернення здійснюється спеціальної пружиною (на рисунку не показана).

Змінюючи відстань від вантажу 5 до осі  $B_2$  і масу вантажу, можна регулювати момент інерції анкера і через нього – витримку часу реле.

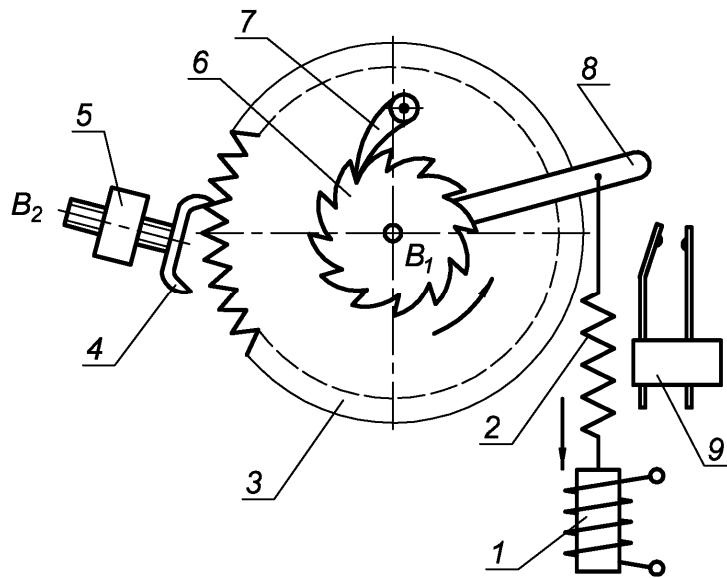


Рисунок 4 – Реле часу з анкерним механізмом

Витримка часу, яка створюється реле з годинниковим механізмом:

$$t = a \cdot n \cdot z \cdot T_a, \quad (4)$$

де  $a$  – кут повороту рухомої системи від початку руху до замикання контактів;

$n$  – передаточне число зубчатого механізму;

$z$  – кількість ходового колеса;

$T_a$  – період коливань анкера,

$$T_a = 2\pi \sqrt{J\varphi / (M_p - M_{np})}, \quad (5)$$

де  $J$  – момент інерції анкера;

$\varphi$  – кут повороту анкера при коливаннях;

$M_p$  – момент, який створюється рухомими силами;

$M_{np}$  – момент, який створюється силами протидії.

Для отримання великих витримок часу, що нараховують десятки хвилин і годин, використовують моторні реле часу (рис. 5) При замиканні керуючого контакту вмикається синхронний двигун 1 і електромагніт, який вмикає фрикційну муфту 3. Обертання валу двигуна 1 через редуктор 2, муфту 3 і зубчасті колеса 11 передається на головну вісь 5 реле. Ця вісь починає повільно обертатися, закручуючи пружину 4. На осі закріплені дископодібні шкали 10. При повороті осі кулачки 8, які встановлені на шкалах, переміщуються і через деякий час замикають контакти 7. Шкали можна повернути на осі, ослабивши гайку 9, і знову закріпити в новому положенні. Повернувши шкали 10 на різні кути, можна отримати замикання і розмикання контактів в різних ланцюгах через різні проміжки часу.

В кінці оберту осі розмикається службовий контакт реле і відключає

двигун 1 від мережі. Після розмикання керуючого контакту електромагніт відключається, і закручена пружина 4 швидко повертає вісь в вихідне положення, причому рух обмежує спеціальний упор, не зображений на рисунку. Для запобігання сильного удару в упор встановлено центробіжне гальмо 6. Реле виготовляють з трьома і з шістьма шкалами. В різних виконаннях реле забезпечує витримку від 2 с до доби і більше.

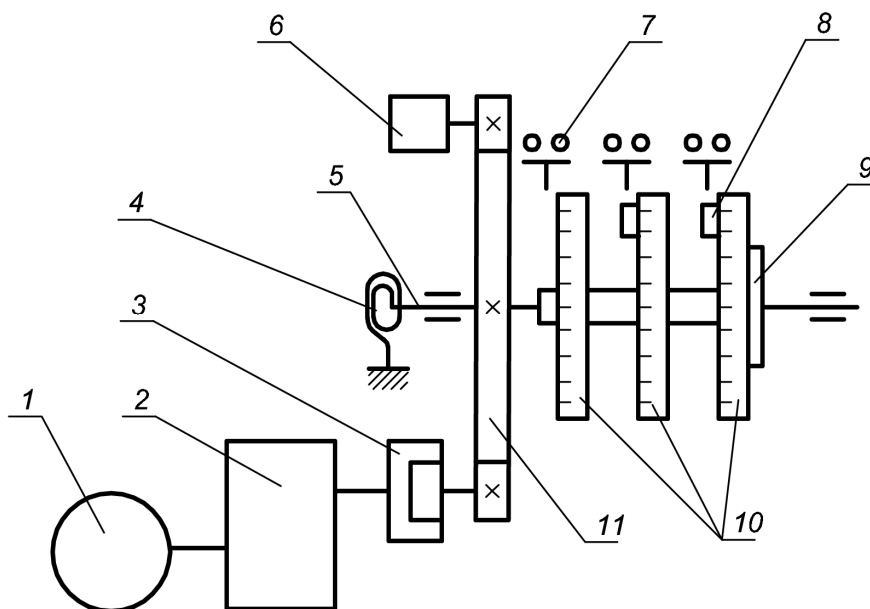


Рисунок 5 – Моторне реле часу

Останнім часом практично всюди, де можуть застосовуватися реле часу, на зміну застарілим електромеханічним моделям прийшли електронні версії. Ці пристрої здатні забезпечувати витримку в діапазоні від долі секунд до декількох місяців і навіть років, при цьому їм притаманні невеликі габарити і мале споживання електроенергії.

Цей вид приладів має цілий ряд переваг: малі габарити корпусу; висока точність спрацювання; зручний механізм налагодження; візуальне відображення інформації.

Електронні версії діють, як правило, на основі цифрових імпульсних лічильників. Багато сучасних приладів побудовані на високопродуктивних мікропроцесорах.

Також в промисловості використовують конденсаторні реле часу, що базуються на інерційних властивостях RC-ланки. Принципова схема реле з зарядом конденсатора зображена на 6, а. При замиканні керуючого контакту  $K1$  в колі проходить струм і напруга на виводах конденсатора зростає за законом:

$$U_c = U_{жс} \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right), \quad (6)$$

де  $U_{жс}$  – напруга живлення;

$T = RC$  – постійна часу кола.

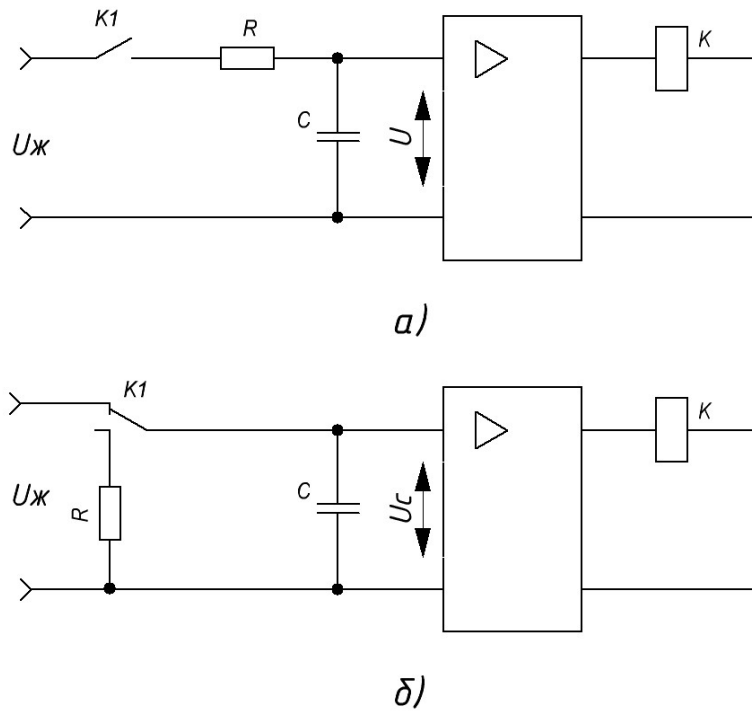


Рисунок 6 – Конденсаторні реле часу

Ця напруга подається на високоомний вхід напівпровідникового підсилювача, що містить пороговий елемент, який спрацює при заданій напрузі  $U_{спр1}$ . Через певний час, що визначається за формулою

$$t = T \cdot \ln \left( \frac{U_{жс}}{U_{жс} - U_{спр}} \right) \quad (7)$$

напруга на конденсаторі досягає величини  $U_{спр1}$ , підсилювач перейде в протилежний стан і вихідне електромагнітне реле  $K2$  виконає необхідні перемикання в зовнішньому колі.

В схемі на рис. 5, б, конденсатор попередньо заряджається до  $U_{жс}$ , при перемиканні керуючого контакту  $K1$  він починає розряджатись на резистор  $R$ .

Напруга на конденсаторі зменшується:

$$U_c = U_{жс} \exp \left( -\frac{t}{T} \right) \quad (8)$$

і через час  $t = T \ln(U_{жс}/U_{спр2})$  знижується до величини  $U_{спр2}$ , при якій напівпровідникова схема переходить з одного стану в інший.

Величину витримки часу регулюють зміною постійної часу  $T$ . Ступінчате регулювання здійснюють зміною ємності конденсатора  $C$ , а більш плавне зміною опорного резистора  $R$ . Стабільність витримки часу в значній мірі залежить від коливання напруги в мережі. Тому в подібних схемах необхідні стабілізовані джерела живлення. Конденсаторні реле часу достатньо прості, надійні і дозволяють отримувати максимальну витримку часу 50 с з похибкою 5-15%.

Подальше збільшення витримки часу досягається живленням конденсатора імпульсною стабілізованою напругою з великою прогальністю

імпульсів. При цьому короточасні періоди  $t$ , зміни напруги на конденсаторі чергуються з тривалими періодами часу  $T - t$ , коли напруга на конденсаторі залишається незмінною. В результаті витримка часу збільшується в  $t/T$  разів, порівняно з розглянутими вище схемами.

Подібний принцип використовується в багатьох сучасних реле часу, при цьому отримується витримка часу 10-20 хвилин.

В схемі реле часу використовується інтегральний таймер 555. Для формування одиночних імпульсів, крім мікросхеми NE555, потрібні опір і полярний конденсатор. Схема працює таким чином. На вхід таймера (2) подають одиночний імпульс низького рівня, який приводить до перемикання мікросхеми і появи на виході (3) високого рівня сигналу, який можна використати для формування керуючих впливів. В схемі, яка розглядається, цей сигнал через транзисторний ключ вмикає реле.

Елементи  $R2$  і  $C1$  задають час затримки. Натискання кнопки  $SB1$  приводить до замикання контактів  $K1.1$  і після деякого часу (затримки) вони розмикаються, далі можна знову натиснути на кнопку  $SB1$ .

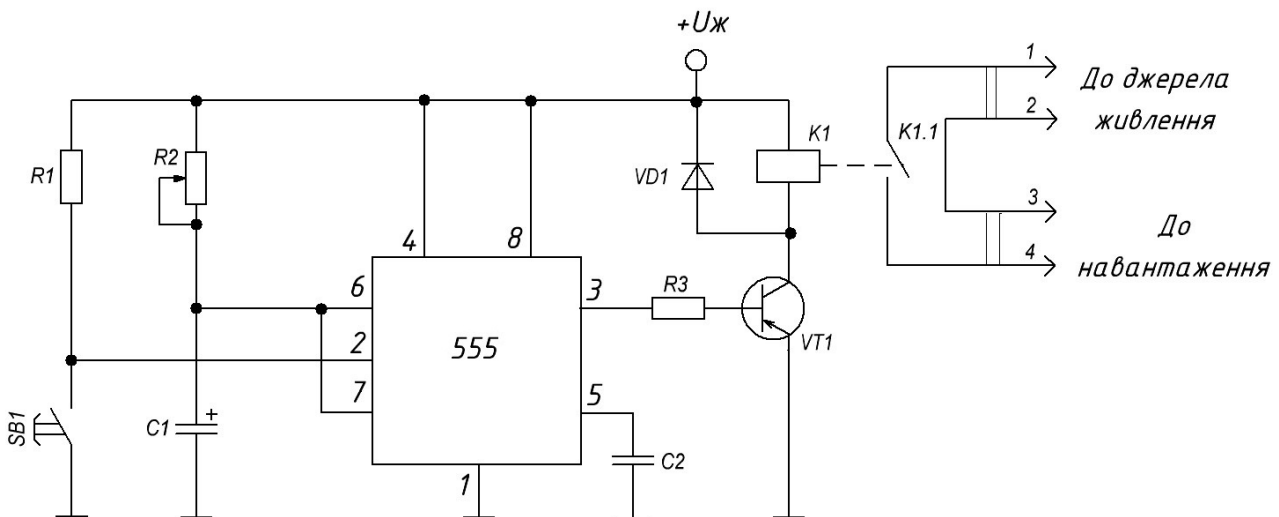


Рисунок 7 – Схема реле часу на базі інтегрального таймера

Напруга джерела живлення не впливає на тривалість імпульсів. Чим більша напруга живлення, тем вища швидкість заряду конденсатора і тим більша амплітуда вихідного сигналу. Діапазон напруг живлення обмежується паспортними даними реле і мікросхеми.

Тривалість витримки в хвилинах розраховують за формулою:

$$t = 1,1 \cdot R_2 \cdot C_1, \quad (9)$$

де  $R$  – опір, МОм;

$C$  – ємність, мкФ.

Цифрові реле часу призначені для комутації електричних ланцюгів і передачі команд з одного ланцюга і інший з певними, попередньо встановленими витримками часу і застосовуються в системах автоматики.

Функціональна схема реле наведена на рис. 8.

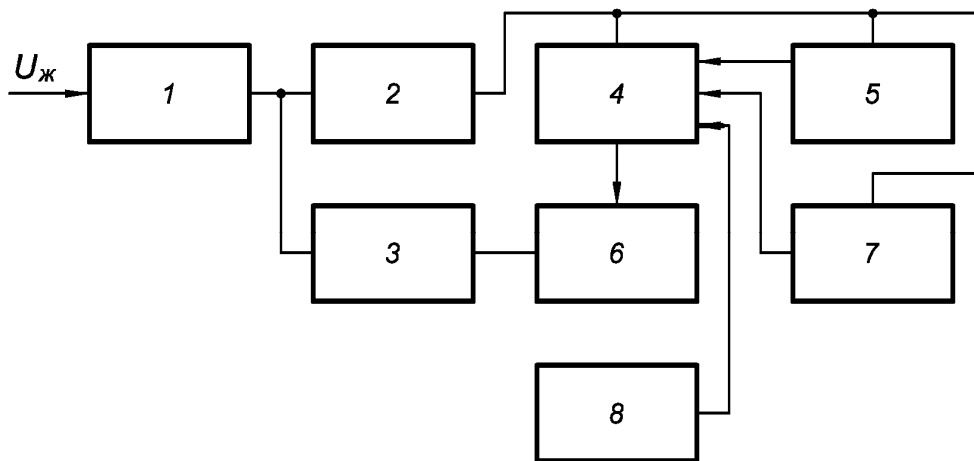


Рисунок 8 – Функціональна схема цифрового реле часу

Реле складається з випрямляча 1; низьковольтного стабілізатора напруги 2 для живлення внутрішніх схем; високовольтного стабілізатора напруги 3 для живлення вихідного реле 6; програмно керованого подільника частоти з вбудованим кварцовим генератором 4; цифрового перемикача задання часового інтервалу 5; перемикача масштабу часових інтервалів 7; перемикача вибору функцій 8.

При подачі напруги живлення кварцовий генератор формує імпульси з частотою 12 МГц, яка ділиться в програмно керованому подільник. В залежності від значення заданого часового інтервалу на цифровому перемикачі 5 подільник формує заданий інтервал часу. У відповідності з станом перемикача функцій 8 програмний подільник формує сигнал на включення (відключення) вихідного реле 6.

## 2. Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися з методичними вказівками до роботи.
2. В середовищі Multisim побудувати схему реле часу (рис. 9).
3. Відповідно до свого варіанту (таблиця 1) задати значення R2 і C1.
4. Послідовно змінюючи опір резистора R2 (мінімум 6 положень), визначити для кожного положення значення витримки часу.
5. Для кожного положення за формулою (9) розрахувати витримку часу.
6. Визначити відхилення отриманого значення витримки часу від розрахункового.
7. Отримані результати занести в таблицю 2.
8. Оформити звіт з лабораторної роботи.

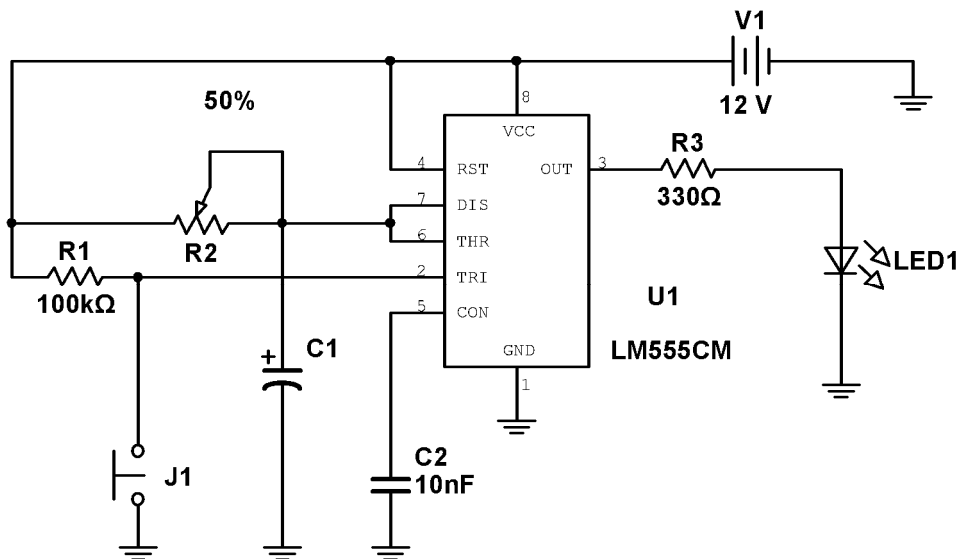


Рисунок 9 – Схема реле часу

Таблиця 1 – Варіанти завдань до лабораторної роботи

№ вар. Номінал	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R2, МОм	2,2	2,0	1,8	2,2	1,0	1,6	1,6	2,2	2,1	2,4	1,6	1,8	2,2	1,8	2,0
C1, мкф	3,3	4,7	5,6	4,7	6,8	5,6	6,8	4,7	3,3	3,3	6,8	4,7	6,8	6,8	3,3

Таблиця 2 – Результати вимірювань та обчислень

	R2.1	R2.2	R2.3	R2.4	R2.5	R2.6
Витримка часу, с						
Розрахункова витримка часу, с						
Відхилення, %						

### Контрольні запитання

1. Призначення реле часу.
2. Схемні методи одержання витримок часу.
3. Конструктивні методи одержання витримок часу.
4. Будова конденсаторного реле.
5. Принцип дії пневматичного реле часу.
6. Будова моторного реле часу.
7. Переваги та недоліки реле часу годинникового типу.
8. Пояснити роботу схем, наведених на рисунках.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Воробйова О.М., Флейта Ю.В. Технічні засоби автоматизації : навч. посіб. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. 208 с.
2. Когутяк, М. І. Технічні засоби автоматизації : навч. посіб. / М. І. Когутяк. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ Факел, 2008. 212 с.
3. Проць, Я.І. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с.
4. Савицький В. К., Федоришин Р. М. Технічні засоби автоматизації. Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. 292 с.
5. Соснин О. М., Схиртладзе А. Г. Средства автоматизации и управления. Учебник. М.: «Академия», 2014. 240 с.
6. Шандров, Б.В., А. Д. Чудаков. Технические средства автоматизации. М.: «Академия», 2007. 368 с.
7. Шестеркин А.Н. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10. М.: ДМК Пресс. 2015. 360 с.