

13. ДСТУ Б В.2.7-72-98 Щебінь і гравій з щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи хімічного аналізу. – К.: Міждержавна науково-технічна комісія з стандартизації, технічного нормування та сертифікації в будівництві, 1998. – 44с.

14. ДСТУ Б В.2.3-42:2016 Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу. – [Чинний від 2017-01-04]. – Київ.: ДП “УкрНДНЦ”, 2017. – 43с.

15. Инструкция по расчету дорожных одежд нежесткого типа для карьерных дорог под автосамосвалы грузо-подъемностью 27–180 т. (Приложение к выпуску № 5508). М.: Промтрансниипроект, 1985. 88 с.

Рукопис подано до редакції 24.03.2022

УДК 62-192:621.333

О.К. ДАНИЛЕЙКО, Г.В. КОЛОМІЦ, старші викладачі
Криворізький національний університет

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГРУП З'ЄДНАННЯ ОБМОТОК ТРИФАЗНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Мета. Дослідження та розробка на базі сучасного мікроконтролера пристрою для визначення групи трифазних трансформаторів. Розробити мікроконтролерну систему для виміру часу між точками переходу через нуль синусоїд напруги первинної та вторинної обмоток, який однозначно пов'язаний з кутом зсуву фаз напруг Розробити, перевірити практично та налаштувати програму мікроконтролерного пристрою.

Методи дослідження. При вирішенні задачі використовуються загальні методи дослідження електромеханічних систем та побудови програм керування для мікроконтролерів, побудови локальних мереж промислової автоматизації.

Наукова новизна Проаналізовано та обґрунтовано необхідність перевірки групи з'єднання обмоток трифазного трансформатора. Обґрунтовано обраний метод визначення групи трифазного трансформатора оснований на безпосередньому вимірі кута зсуву фаз. У роботі розроблена схема та програма мікроконтролерного пристрою для визначення групи трифазного трансформатора. Розроблена модель в програмному середовищі *NI Multisim* для перевірки принципів роботи схеми вимірювання фази.

Практична значимість. При ремонті трансформаторів в електроремонтних цехах при невисокій кваліфікації персоналу можливі помилки в маркуванні обмоток. При тривалій експлуатації можлива втрата паспортного шильдику або спотворення інформації на ньому. Більшість трансформаторів живить споживачів паралельними групами. Для включення на паралельну роботу трансформатори обов'язково повинні мати однакові групи з'єднання обмоток. Якщо групи з'єднання різні між трансформаторами виникне зрівняльний струм, який може значно перевищувати номінальний. Таким чином персонал електротехнічних лабораторій повинен при випробуваннях перевіряти групу з'єднань обмоток трансформатора.

Пристрій призначений для використання при виконанні лабораторних робіт з дисципліни «Електричні машини» з метою закріплення теоретичних знань, отриманих студентами на лекціях, та придбання навичок експлуатації обладнання, роботи з трифазними трансформаторами. Розроблені відповідні лабораторні роботи.

Результати. В роботі розглянуто пристрій для автоматизації перевірки груп з'єднань обмоток трансформатора на основі одноплатного мікроконтролера STM32. Можливість використання мікроконтролера дозволяє розширювати функціональність пристрою в сторону вимірів інших параметрів трансформаторів.

Ключові слова: мікроконтролерна система, трифазний трансформатор, група з'єднання обмоток трансформатора.

doi:10.31721/2306-5451-2022-1-54-143-153

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Як відомо, група з'єднань обмоток трансформатора характеризує взаємну орієнтацію напруги первинної та вторинної обмоток. Зміна взаємної орієнтації цих напруг здійснюється відповідним перемаркуванням початків і кінців обмоток. Перевірка групи з'єднань обмоток трансформатора входить до переліку обов'язкових контрольних випробувань на заводі-виробнику. Тому кожен трансформатор проходить перевірку, що підтверджує правильність з'єднання обмоток.

Більшість трансформаторів живить споживачів паралельними групами. Для включення на паралельну роботу трансформатори обов'язково повинні мати однакові групи з'єднання обмоток. Якщо групи з'єднання різні, між трансформаторами виникне зрівняльний струм, який може значно перевищувати номінальний[1].

Таким чином персонал електротехнічних лабораторій повинен при випробуваннях перевіряти групу з'єднань обмоток трансформатора. Існують декілька методів визначення групи з'єднань різної складності. В роботі розглянуто пристрій для автоматизації перевірки груп з'єднань обмоток трансформатора на основі однокристального мікроконтролера STM32. Можливість

використання мікроконтролера дозволяє розширювати функціональність пристрою в сторону вимірів інших параметрів трансформаторів.

Аналіз досліджень і публікацій. Більшість трансформаторів живить споживачів паралельними групами. Для включення на паралельну роботу трансформатори повинні мати: однакові коефіцієнти трансформації. В іншому випадку між вторинними обмотками циркулюватиме зрівняльний струм, який навіть при невеликій різниці в коефіцієнтах трансформації може призвести до небезпечного перегріву; однакові напруги короткого замикання u_k , %, інакше вони не зможуть ділити навантаження пропорційно до своїх потужностей. Іншими словами, одні трансформатори будуть недовантажені, інші – перевантажені; однакові групи з'єднання.

Якщо групи з'єднання різні, то між відповідними векторами вторинної напруги трансформаторів, що включаються паралельно, утворюється зсув фаз. Він приведе до різниці напруги. Оскільки в одній точці одночасно не можуть існувати різні напруги, то для їх вирівнювання між трансформаторами виникне зрівняльний струм. При самому малому з можливих зрушень (при різних групах з'єднання) - зсуві в 30° – зрівняльний струм приблизно в 5 разів перевищує номінальний струм трансформатора. При найбільшому зрушенні (180°) – у 20 разів.

Трифазний трансформатор має дві трифазні обмотки - вищої (ВН) та нижчої (ПН) напруги, в кожен з яких входять по три фазні обмотки, або фази. Таким чином, трифазний трансформатор має шість незалежних фазних обмоток і 12 виводів з відповідними затискачами, причому початкові виводи фаз обмотки вищої напруги позначають літерами A, B, C , кінцеві виводи - X, Y, Z , а для аналогічних виводів фаз обмотки нижчої напруги застосовують такі позначення: a, b, c, x, y, z [2].

Кожна з обмоток трифазного трансформатора – первинна та вторинна – може бути з'єднана різними способами, а саме: зіркою, трикутником.

Вибір схеми з'єднань залежить від умов використання трансформатора. Наприклад, в мережах з напругою 35 кВ вигідніше з'єднувати обмотки в зірку і заземлювати нульову точку.

Освітлювальні мережі вигідно будувати на високу напругу, але лампи розжарювання з великою номінальною напругою мають мінімальну світлову віддачу. Тому їх доцільно живити від зниженої напруги. У цих випадках обмотки трансформатора також вигідно поєднувати в зірку (Y), включаючи лампи на фазну напругу.

З іншого боку, з точки зору умов роботи самого трансформатора одну з його обмоток доцільно включати в трикутник.

Фазний коефіцієнт трансформації трифазного трансформатора знаходять як співвідношення фазних напруг при холостому ході: $n_\phi = U_{\text{фвнх}}/U_{\text{фпнх}}$, а лінійний коефіцієнт трансформації, що залежить від фазного коефіцієнта трансформації та типу з'єднання фазних обмоток вищої та нижчої напруг трансформатора, за формулою: $n_\text{л} = U_{\text{лвнх}}/U_{\text{лпнх}}$.

Якщо з'єднання фазних обмоток виконано за схемами «зірка-зірка» або «трикутник-трикутник», обидва коефіцієнти трансформації однакові, тобто $n_\phi = n_\text{л}$.

При з'єднанні фаз обмоток трансформатора за схемою «зірка – трикутник» – $n_\text{л} = n_\phi \sqrt{3}$, а за схемою «трикутник-зірка» - $n_\text{л} = n_\phi / \sqrt{3}$.

Група з'єднань обмоток трансформатора характеризує взаємну орієнтацію напруги первинної та вторинної обмоток. Зміна взаємної орієнтації цих напруг здійснюється відповідним перемаркуванням початків і кінців обмоток.

Стандартні позначення початків і кінців обмоток високої та низької напруги показані на рис. 1.

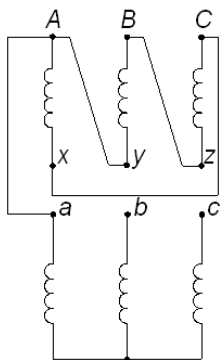


Рис. 1. Позначення виводів котушок трансформатора

Розглянемо спочатку вплив маркування на фазу вторинної напруги стосовно первинного з прикладу однофазного трансформатора (рис. 2а).

Обидві обмотки розташовані на одному стрижні і мають однаковий напрямок намотування. Вважатимемо верхні клеми початками, а нижні - кінцями обмоток. Тоді ЕРС E_1 і E_2 збігаються по фазі і відповідно збігається напруга мережі U_1 і напруга на навантаженні U_2 (рис. 2б). Якщо тепер у вторинній обмотці прийняти зворотне маркування затискачів (рис. 2в), то стосовно навантаження ЕРС E_2 змінює фазу на 180° . Отже, фаза напруги U_2 змінюється на 180° .

Рис. 2. Вплив маркування на фазу вторинної напруги

Таким чином, в однофазних трансформаторах можливі дві групи з'єднань, що відповідають кутам зсуву 0 та 180° . На практиці для зручності позначення груп використовують циферблат годинника. Напряга первинної обмотки U_1 зображують хвилинною стрілкою,

встановленою постійно на цифрі 12, а годинникова стрілка займає різні положення залежно від кута зсуву між U_1 та U_2 . Зсув 0° відповідає групі 0, а зсув 180° - групі 6.

У трифазних трансформаторах можна отримати 12 різних груп з'єднань обмоток. З дванадцяти можливих груп з'єднань обмоток трифазних трансформаторів стандартизовано дві: «зірка-зірка» – 0 і «зірка-трикутник» – 11. Вони, як правило, застосовуються на практиці.

Схеми «зірка-зірка з нульовою точкою» використовують переважно для трансформаторів споживачів напругою 6 - 10/0,4 кВ. Нульова точка дає можливість отримати напругу 380/220 або 220/127, що зручно для одночасного підключення як трифазних, так і однофазних приймачів електроенергії (електродвигунів і ламп штучного освітлення).

Схеми «зірка-трикутник» застосовують для високовольтних трансформаторів, з'єднуючи обмотку 35 кВ зірку, а 6 або 10 кВ в трикутник. Схема «зірка з нульовою точкою» використовується у високовольтних системах, що працюють із заземленою нейтраллю.

Для зручності та стандартизації прийнято наступне: однотипні з'єднання (Δ/Δ , Y/Y) мають парні номери; різнотипні з'єднання (Δ/Y , Y/Δ) – непарні.

Трифазні трансформатори виконуються на стрижневих магнітопроводах. Кожна фаза розташовується на окремому стрижні. Це багато в чому спрощує подальшу роботу та узгодження пристроїв між собою.

Якщо у трансформатора однакові фази намотані на одних стрижнях, групи з'єднання при цьому називаються основними (0, 6, 11, 5). Інші групи – похідні.

Зсув фаз обчислюється просто: номер групи помножений на 30° .

В експлуатацію трансформатор надходить із необхідним мінімумом його технічних даних. Кожен трансформатор повинен мати щиток, що містить у числі обов'язкових такі дані: позначення типу; заводський номер; число фаз; частота Гц; номінальна потужність (у триобмоточних трансформаторах - потужність кожної обмотки), кВА; схема та група з'єднання обмоток; напруги номінальні і напруги відгалужень обмоток і номінальні струми; напруга короткого замикання (вказується фактично виміряна величина даного трансформатора), %.

При ремонті трансформаторів в електроремонтних цехах при невисокій кваліфікації персоналу можливі помилки в маркуванні обмоток. При тривалій експлуатації можлива втрата паспортного шильдику або спотворення інформації на ньому[3,4].

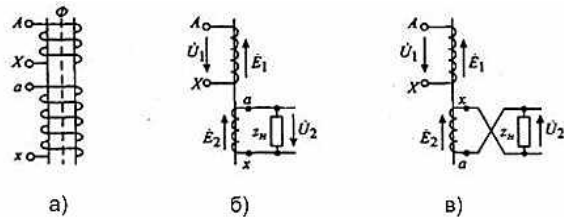
Постановка задачі. Перевірка групи з'єднань обмоток трансформатора. Персонал електротехнічних лабораторій повинен при випробуваннях перевіряти групу з'єднань обмоток трансформатора. Існують декілька методів визначення групи з'єднань різної складності: двох вольтметрів; фазометром (прямий метод); постійного струму (для однофазних трансформаторів); моста змінного струму (для однофазних трансформаторів); еталонного трансформатора; ватметра; побудовою векторних діаграм напруги.

Існують спеціальні прилади для перевірки трансформаторів. Зрозуміло, що можливості цих приборів великі, але й вартість їх теж велика (100000÷300000 грн).

Враховуючи швидкий розвиток мікроелектронних пристроїв, на кафедрі електромеханіки Криворізького національного університету була поставлена задача створити пристрій для визначення групи з'єднання обмоток трансформатора не великої вартості на основі мікроконтролера.

Виклад матеріалу і результати. Найбільш простим методом для цього пристрою є прямий метод вимірювання кута зсуву фаз між відповідними фазами первинної та вторинної обмоток. Вимірювання здійснюється за допомогою таймера, який відраховує час між однаковими точками на періоді синусоїд напруги первинної та вторинної обмотки. Знаючи цей час та частоту мережі знайти кут вже просто. За однакові точки синусоїд найкраще обрати моменти переходу напруги через нуль від від'ємного до позитивного стану.

Але безпосередньо, вловити цей момент на синусоїді важко. Простіше замінити синусоїду прямокутними сигналами (рис. 3).



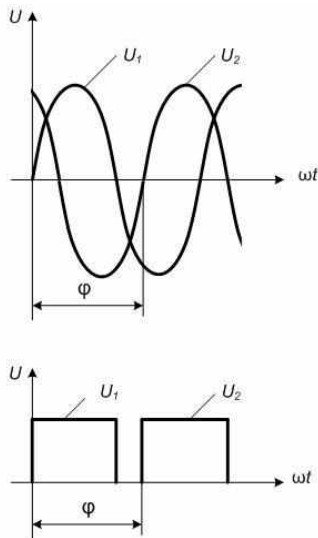


Рис. 3. Вимірювання кута зсуву напруг між котушками

Перетворити синусоїду для позитивних полухвиль в прямокутні імпульси можна за допомогою одно полярного компаратора, або стабілітрона. Зрозуміло, що чим менша напруга спрацювання компаратора або стабілізації стабілітрона, тим більша форма перетвореного сигналу буде наближатися до прямокутника.

Експериментальна частина. Схема пристрою отримання прямокутних сигналів. Розглянемо два варіанти схеми (з використанням компаратора та стабілітрона). Напругу стабілізації прийемо 3,3 вольти, що дозволяє узгодити її з входами TTL мікросхем та сучасними мікроконтролерами з живленням 3,3 В. Схема з стабілітроном наведена на рис. 4.

Резистор 100 кОм – для обмеження струму стабілізації, діод використаний для зрізання негативних полухвиль напруги, хоча після стабілітрона в негативній полухвилі (пряме падіння)

напруга достатньо мала. Для збільшення крутизни фронтів сигналу, використаний один з найпоширеніших логічних елементів 2 І-НІ. Два елементи використано для виключення інверсії сигналу. Вимірювальний трансформатор використовується для гальванічної розв'язки та зменшення напруги. Зрозуміло, що зменшення напруги приводить до «звуження» прямокутника, але враховуючи дискретність кута зсуву (30^0) це припустимо.

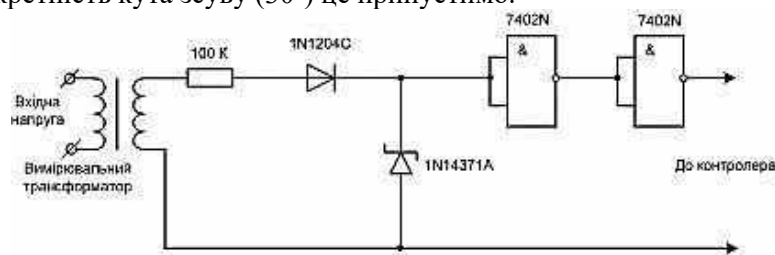


Рис. 4. Схема для вимірювання кута зсуву напруг з стабілітроном

На рис. 5 наведена схема з компаратором.

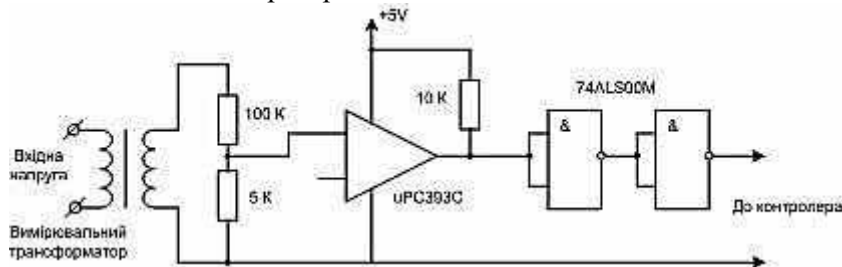


Рис. 5. Схема для вимірювання кута зсуву напруг з компаратором

Для зменшення рівня вхідної напруги на вході компаратора сигнал подається через дільник напруги. Призначення логічних елементів 2 І-НІ таке саме, як і у попередньої схеми. Для перевірки розглянутих схем проведено математичне моделювання їх. Враховуючи необхідність перевірки роботи вимірювальної частини приладу, розроблена модель двоканального перетворення синусоїдального сигналу в прямокутний з фазо зсувною ланкою в одному каналі (при налаштуванні програми контролера на нього подавались сигнали с відповідної схеми).

Опис програмного пакету NI Multisim. Для моделювання розглянутих схем застосовано пакет моделювання електричних та електронних схем *Multisim* [5].

Multisim – це інтерактивний емулятор схем, він дозволяє створювати ефективні моделі за мінімальний час. Він застосовується для моделювання та програмування схем для аналогової, цифрової та силової електроніки в освітній та дослідницькій областях.

Multisim включає в себе версію *Multicap*, що робить його засобом для програмного опису і подальшого тестування схем. *Multisim* також підтримує взаємодію з *LabVIEW* і *SignalExpress* виробництва *National Instruments* для тісної інтеграції засобів розробки і тестування.

Моделювання стенду за допомогою програмного пакету NI Multisim. Розглянемо моделі зроблені для описаних схем. Першою розглянемо модель з використанням компаратора. Було обрано один полярний компаратор *uPC393C* з живленням від джерела 5В. Сигнал з джерела змінного струму 120 В 50 Гц через дільник напруги ($100/5=20$) поданий на вхід компаратора. На виході включені два логічних елемента 2 І-НІ *74ALS500M*. Для візуалізації сигналів використаний 4-х каналний осцилограф (рис. 6).

Канал *A* підключений до джерела синусоїдальної напруги, канал *C* – до виходу логічних елементів, канал *B* – до виходу компаратора. Як видно з наведених сигналів, фронти компаратора трошки завалені (повторюють синусоїдальний вхідний сигнал при малій напрузі на вході). Канал *C* підключений до виходу логічного елемента. Як видно з осцилограми, фронти сигналу практично прямокутні (по крайній мірі при заданому періоду розгортки – $5ms/Div$). З осцилограми видно деяке запізнення спрацювання компаратора, яке пов'язане з його чутливістю, але враховуючи, що у другому каналі буде така сама затримка, це не позначиться на точності вимірів кута зсуву фази. Враховуючи дискретність можливих кутів зсуву – 30^0 велика точність і не така вже важлива.

Розглянемо модель з використанням стабілітронів (рис.7). З метою подальшого налаштування програми мікроконтролера на однофазній мережі розглянемо двоканальну схему. В схемі використано стабілітрон *1N4371A*. Резистор 500 Ом – струмообмежуючий (визначено для вхідної напруги – 20 В). Для виключення негативних полухвиль синусоїди встановлено у прямому напрямку діод *1N1204*. Для збільшення крутизни фронтів встановлені популярні логічні елементи 2І-НІ *7402N*.

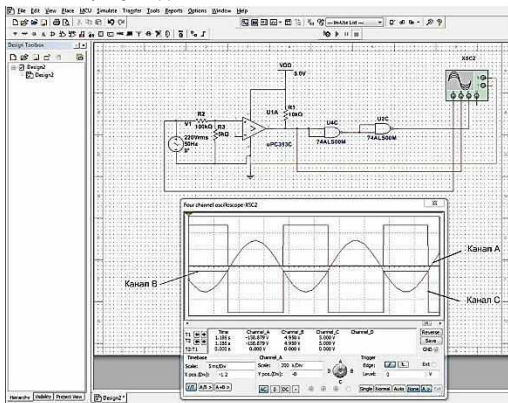


Рис. 6. Модель для вимірювання кута зсуву напруг з компаратором

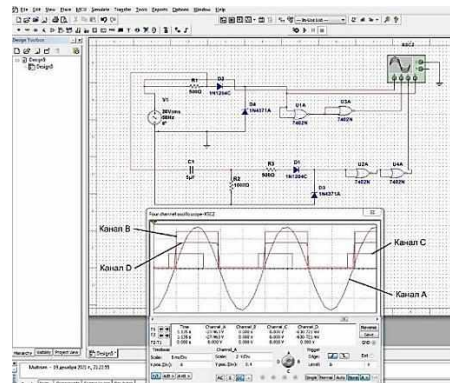


Рис. 7. Модель для вимірювання кута зсуву напруг з стабілітроном

Для перевірки роботи програми контролера в другому каналі встановлений фазозсувний ланцюжок $R - C$ ($C1, R2$).

На осцилограмі наведені: вхідний синусоїдальний сигнал (канал *A*); сигнал на виході логічного елемента першого каналу (канал *B*); сигнал на виході логічного елемента другого каналу (канал *C*); сигнал обмежений стабілітроном (канал *D*).

Різна амплітуда сигналів каналів *A* та *C* обумовлена різною чутливістю каналів (встановлені для кращого розпізнавання каналів). Як видно з осцилограми, сигнали першого та другого каналів зсунуті по фазі. Фронти сигналу обмеженого стабілітроном трохи розтягнуті на відміну від фронтів на виході логічного елемента. Трохи піднесений рівень цього сигналу обумовлений падінням напруги на стабілітроні в прямому напрямку. Сигнали з стабілітрону та з логічного елемента трохи зсунуті у часі, але в кожному каналі ця величина практично однакова, та не впливає на точність вимірів [6].

З метою перевірки можливості регулювання зсуву фази між сигналами, на рис. 8 наведена модель з осцилограмами при зміні резистора фазозсувного ланцюжка з 1000 Ом на 100 Ом.

З осцилограми видно зміну фази в другому каналі, що дозволяє перевірити роботу програми вимірювання в однофазній схемі.

Вибір обладнання. Як вже було сказано раніше, для виміру кута зсуву фаз потрібно відрахувати час між позитивними фронтами «обрізаних синусоїд». Знаючи цей час та частоту дос-

татньо просто обчислити кут зсуву. $\varphi = \frac{t}{T} \cdot 360^\circ$, де T – період синусоїди мережі, а t – проміжок часу між позитивними фронтами сигналів.

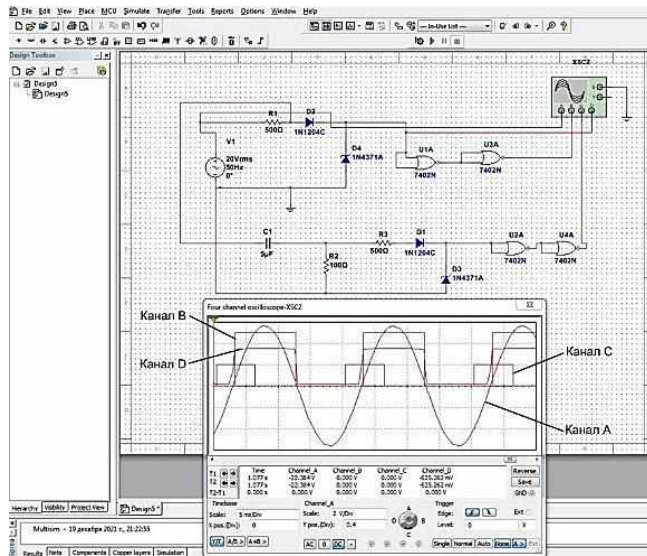


Рис. 8. Модель при зміні резистора фазозсувального ланцюжка

Таким чином мікроконтролер потрібен мати хоча б один таймер з достатньою швидкістю, комунікаційний послідовний порт для виводу результатів вимірів в будь-яку термінальну програму встановлену на комп'ютері (*CoolTerm, Terminal, Arduino IDE* та багато інших). Бажано мати можливість виводити результати на символічний або графічний монітор, які можна підключити по мережі *I2C* або *SPI*.

Наразі все більше поширюється використання потужних 32-х розрядних однокристальних контролерів на базі ядра *ARM*. Такі контролери виготовляють багато фірм (*STMicroelectronics, Atmel, Microchip* тощо) [6].

Одними з найпоширеніших таких контролерів є контролери *stm32* фірми *STMicroelectronics*. Лінійка цих контролерів дуже велика та відрізняється частотою роботи ядра, розміром пам'яті, кількістю периферійних пристроїв (таймери, мережеві інтерфейси, АЦП, ЦАП тощо).

Для простоти реалізації мікроконтролерних пристроїв, наразі виготовляється велика кількість, так званих, тестових плат на базі однокристальних контролерів. Зрозуміло, що така плата коштує більш ніж сам мікроконтролер, але вона містить ряд периферійних пристроїв, що полегшують роботу з нею (завантажувач програм, світлодіоди, кнопки тощо). Крім того витрати на виготовлення друкованих плат та монтаж наближуються до вартості такої плати.

Було прийняте рішення використати так звану плату "*Blue Pill*". Така плата побудована на основі чіпа *STM32F103C8T6*, який представляє собою 32 бітний процесор на базі ядра *Cortex - M3* [7,8]. Зовнішній вигляд та призначення виводів наведені на рис. 9.

Технічні характеристики *Blue Pill* наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики *Blue Pill*

Назва параметра	Параметр
Мікроконтролер	<i>STM32F103C8T6</i>
Ядро	<i>ARM Cortex M3</i>
Число розрядів	32 біти
Максимальна частота	72 МГц
Об'єм пам'яті програм (<i>FLASH</i>)	64/128 кБайт
Об'єм пам'яті даних (<i>RAM</i>)	20 кБайт
Виводи	37
Таймери (4), а саме	
Таймери загального призначення	3
Системний таймер	1
Сторожові таймери	2
Розширений таймер із ШИМ управлінням двигуном	1
Інтерфейси	<i>UART, SPI, I2C, CAN, USB, SWD</i>
Контролери прямого доступу до пам'яті	7
АЦП	2 АЦП, 10 каналів, час перетворення 1 мкс.
Годинник реального часу	є
Режим енергозбереження	є
Напруга живлення мікроконтролера	2 - 3,6 В
Напруга живлення плати	5 В
Струм споживання	до 50 мА
Розміри плати	10 x 23 x 54 мм.

– додатковий розподільник вхідного сигналу, який дозволяє запускати таймер не на кожному вхідний імпульс (в нашому випадку дорівнює нулю, тобто працює на усі вхідні імпульси).

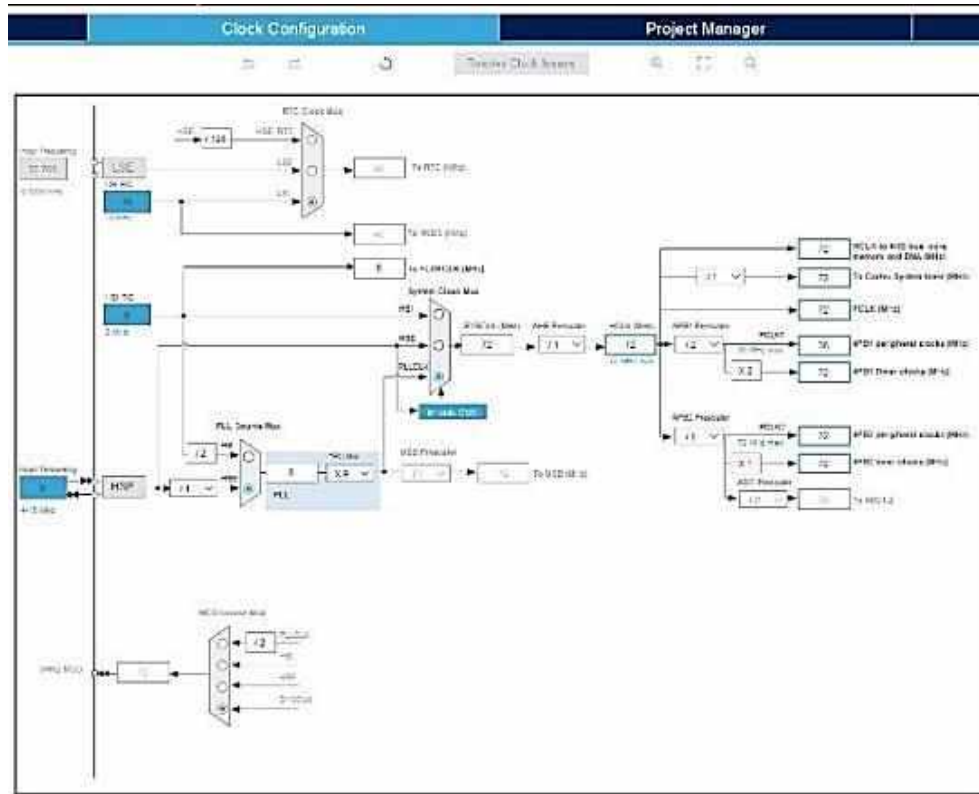


Рис. 11. Екран Clock Configuration

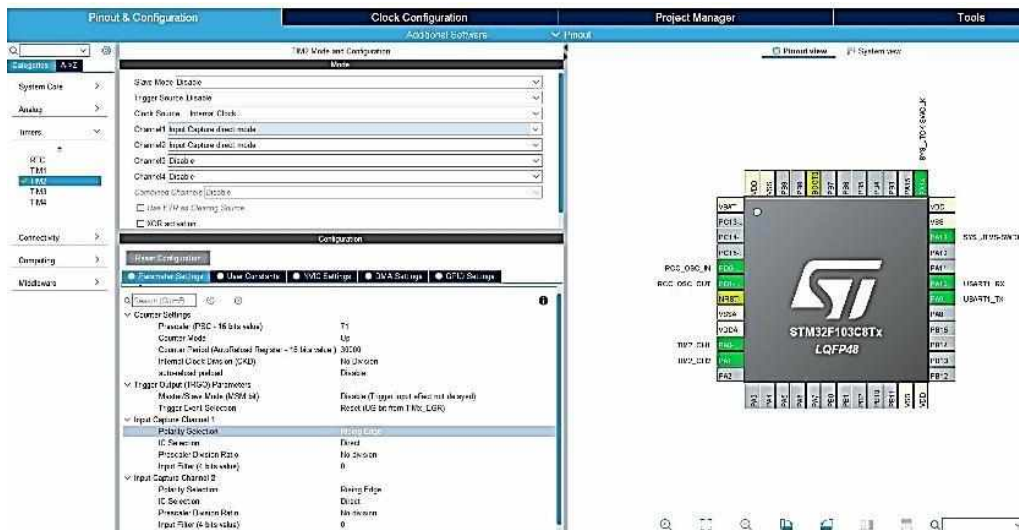


Рис. 12. Екран налаштування таймера

Треба також у вкладці *NVIC Settings* дозволити глобальні переривання від другому таймеру (працює по перериванням).

Налаштування порту *USART1* наведені на рис. 13.

Порт *USART1* використаємо для виводу інформації через перетворювач інтерфейсу *USB-UART* на термінальну програму ПК. Налаштування – швидкість 115200 біт/сек, 8N1.

Розробка програми. Після генерації проекту та переходу у систему програмування *Keil uVision5* отримуємо проект наведений на рис. 14. Проект містить стандартні файли *main.c* та файли функцій роботи з перериваннями *stm32f1xx_it.c* та *stm32f1xx_hal_msp.c* бібліотеки *hal*.

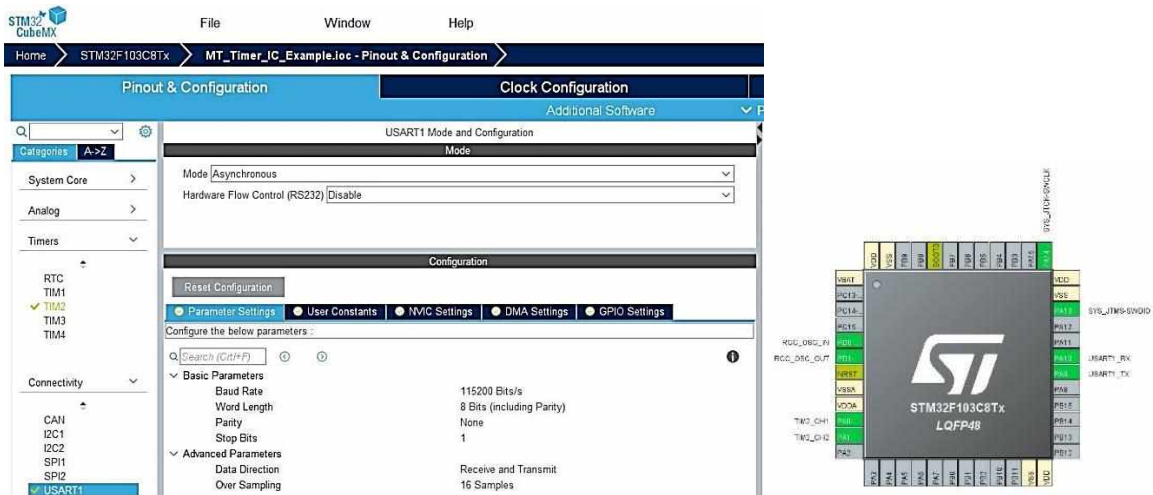


Рис. 13. Екран налаштування порту USART1

У головному файлі *main.c* створимо функцію обробки переривань *Callback* по таймеру, текст якого наведено нижче.

```
void HAL_TIM_IC_CaptureCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
{
    if (htim->Instance == TIM2)
    {
        if (htim->Channel == HAL_TIM_ACTIVE_CHANNEL_1)
        {
            TIM2->CNT = 0;
        }
        if (htim->Channel == HAL_TIM_ACTIVE_CHANNEL_2)
        {
            period = HAL_TIM_ReadCapturedValue(&htim2, TIM_CHANNEL_1);
            pulseWidth=HAL_TIM_ReadCapturedValue(&htim2, TIM_CHANNEL_2);
            f=1;
        }
    }
}
```

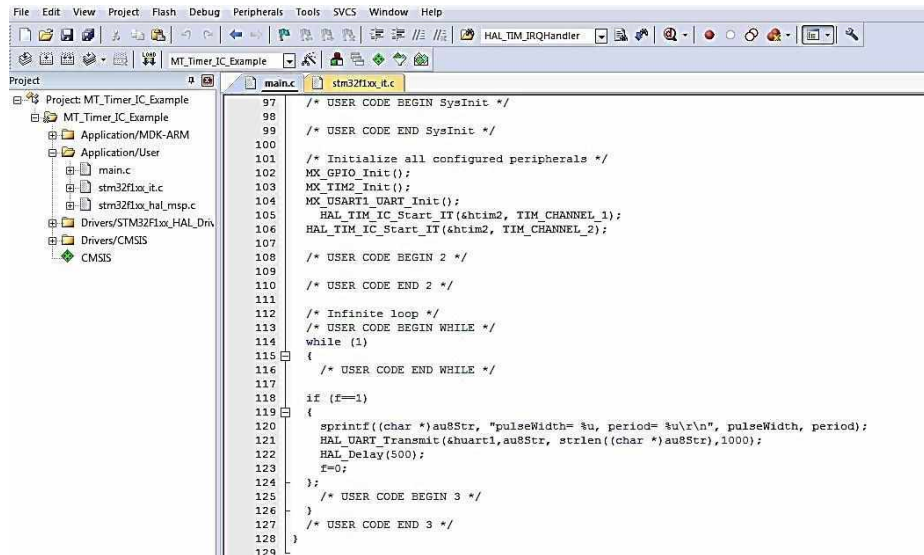


Рис. 14. Екран проекту у Keil uVision5

По виникненню вимоги переривання від таймеру 2, аналізується канал який запросив переривання. По запрошенню першого каналу (напряга первинної котушки) у регістр вмісту таймера 2 записується нуль (початок вимірювання). Якщо переривання ініційовано другим каналом (напряга вторинної котушки) проводиться зчитування значень таймера для каналів 1 та 2.

Запис вмісту регістра таймера у відповідні регістри каналів здійснюється апаратно по негативному (задньому) фронту сигналів відповідних каналів [11].

У нескінченному циклі *while(1)* зроблено вивід інформації через порт *USART1* для передачі її у термінальну програму ПК.

Для виводу інформації може бути використаний *LCD* дисплей на чипі *PCF 574T*. Для спрощення схеми підключення дисплея використаний *I2C* модуль розширення виводів для підключення *LCD* дисплея (рис. 15).

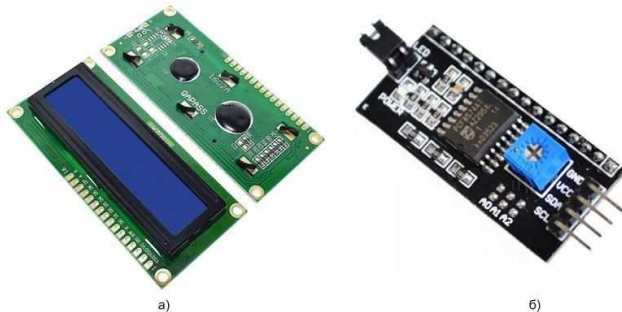


Рис. 15. *LCD* дисплей 16x2 (а) та *I2C* модуль розширення виводів (б)

Налаштування інтерфейсу *I2C* стандартне і наводити його немає сенсу. Для керування *LCD* дисплеєм існує багато програм і зупинятися на них не будемо.

Частина програми перетворення показників таймера у групу з'єднання котушок трансформатора досить проста і розглядати її не будемо.

Після зборки проекту програму можна завантажити в контролер. Завантажена програма була перевірена на схемі з фазозсувним ланцюжком, а потім вже випробувана на реальних трифазних трансформаторах та показала її здатність до практичного використання.

Висновки і напрямок подальших досліджень. В роботі була проаналізована необхідність перевірки групи з'єднання обмоток трансформатора. Розглянуті методи визначення цієї групи.

В роботі запропонований пристрій для визначення групи прямим методом, тобто вимірюванням кута зсуву між напругами первинної та вторинної обмотками трансформатора. Запропонована схема для перетворення синусоїдальної напруги у однополярні прямокутні сигнали. Розроблена у пакеті моделювання електричних та електронних схем *Multisim* модель показала її працездатність [12].

Для практичної реалізації розроблений пристрій на мікроконтролері *STM32F103C8T6* невеликої вартості. Програмування контролера здійснювалося в зв'язці *STM32CubeMX* – бібліотека *HAL* – програмне середовище *Keil uVision5*. Випробування пристрою показали його здатність до практичного використання.

Таким чином був розроблений досить простий, не великої вартості пристрій для визначення групи з'єднання обмоток трансформатора, який використовується при виконанні лабораторних робіт студентами спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з дисциплін «Електричні машини» та «Мікропроцесорні системи обробки та відображення інформації», також може бути використаний для швидкої перевірки в промислових умовах.

Список літератури

1. Яцун М. А. Електричні машини. Підручник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 464 с.
2. Андрієнко В.М. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підгот. «Електротехніка та електротехнології» / В.М. Андрієнко, В.П. Куєвда. – К. : НУХТ, 2010. – 366 с.
3. Загірняк М.В. Електричні машини : підручник / М. В. Загірняк, Б. І. Невзлін. – Київ : Знання, 2009. – 399 с.
4. ДСТУ 2864-94. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. – Чинний від 1996-01-01. – К.: Держстандарт України, 1995. – IV, 30 с. – (Надійність техніки).
5. Справочник по электронным компонентам: Архитектура и система команд RISC-процессоров семейства ARM. [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/micros/arm/index.htm>.
6. Multisim. [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <https://studbooks.net/1841771/tehnika/multisim>
7. Справочник по электронным компонентам: Ознакомительное руководство по ARM-микроконтроллерам Cortex-M3. [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/micros/arm/cortex_arh/index.htm.
8. Pete's Pages ARM Assembly Language Programming — Chapter 2. Inside the ARM M3. [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: <http://www.peter-cockerell.net/aalp/html/ch-2.html>.
9. PM0056 Programming manual. [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу: https://www.st.com/resource/en/progr6mming_manual/cd00228163-stm32f10xxx20xxx21xxx1xxxx-cortexm3-programming-manual-stmicroelectronics.pdf
10. The Insider's Guide To The STM32 ARMBased Microcontroller Hitex (UK) Ltd. [Електронний ресурс]. – 2008. – Режим доступу: <http://www.emcu.it/InsideCORTEX-1221142709.pdf>
11. STM32L4 Ecosystem CubeMX Tool. [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу:

https://www.st.com/content/ccc/resource/training/technical/product_training/17/8e/5a/35/36/4e/4e/27/STM32L4_Ecosystem_CubeMX_Tool.pdf/files/STM32L4_Ecosystem_CubeMX_Tool.pdf/jcr:content/translations/en.STM32L4_Ecosystem_CubeMX_Tool.pdf

12]. STM32 и Timer Input Capture. Режим захвата сигнала. [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу: <https://microtechnics.ru/stm32-i-timer-input-capture-rezhim-zahvata-signala/>

Рукопис подано до редакції 24.03.2022

УДК 699.86

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук., проф., Д.А. КРИШКО, канд. тех. наук, ст. викл.,
В.О. САВЕНКО, канд. тех. наук, молод. наук. співроб., В.М. ЯБЛОНСЬКА, магістрант
Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ЕФЕКТИВНИХ УТЕПЛЮВАЧІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

Мета. Впровадження енергозберігаючих технологій та обладнання можливе шляхом створення передумов для докорінного зменшення енергоспоживання вітчизняної продукції за рахунок впровадження нових технологій, прогресивних стандартів, сучасних систем контролю, управління та обліку на всіх етапах виробництва, транспортування та споживання енергетичних продуктів; розвиток ринкових механізмів стимулювання енергозбереження у всіх галузях економіки. Метою досліджень є аналіз існуючих видів утеплення, вибір оптимального варіанту для підвищення енергоефективності громадської будівлі.

Методи дослідження. Для підвищення енергетичної ефективності будівель застосовують: розробки проектів, що передбачають можливе більше енергозбереження в порівнянні з нормативними вимогами; підвищення рівня якості будівельно-монтажних робіт; обов'язковий контроль реальних теплозахисних характеристик будівель, що експлуатуються і реконструюються. Існуючими в даний час методами дослідження теплозахисту захисних конструкцій є: теоретичні дослідження (заміна фізичного процесу математичною моделлю) та експериментальні дослідження (вимірювання величин досліджуваного фізичного процесу). При виконанні досліджень були застосовані аналітичні методи, методи синтезу та узагальнення при виборі оптимального сучасного утеплювача для підвищення енергоефективності громадської будівлі.

Наукова новизна. Вибір найбільш оптимального і ефективного утеплювача для підвищення енергоефективності громадської будівлі. Запропоновано використання сучасних утеплювачів в розроблених вузлах громадської будівлі з дотриманням показників теплоізоляції.

Практична значимість. Призначенням теплоізоляційних матеріалів є скорочення споживання енергії. Крім того, ізоляція сприяє скороченню забруднення довкілля, викликаного збільшенням вироблення енергії для будівель і промисловості. Вибір сучасного утеплювача із подальшим впровадженням у процес проектування капітального ремонту громадської будівлі з метою підвищення енергоефективності будівлі. Оцінка ролі утеплювача у загальному підвищенні енергоефективності будівлі.

Результати. Проведені теоретичні дослідження дозволили обрати оптимальний утеплювач для підвищення енергоефективності громадської будівлі, впровадити у процес проектування та зробити оцінку ефективності утеплення.

Ключові слова: енергоефективність, сучасні утеплювачі, оптимізація вибору, оцінка ефективності утеплення.

doi:10.31721/2306-5451-2022-1-54-153-159

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Людство відкрило нову сторінку своєї історичної епохи – еру енергії, яка вплине на всі сторони життя людей. Вперше в історії людства в основі світових парадигм, тенденцій та трендів енергетичної політики розвиток людства пов'язується зі зниженням, а не підвищенням споживання енергоресурсів та переходом на відновлювану альтернативну енергетику, енергоефективні технології та енергозберігаючі будівлі.

Є всі підстави стверджувати, що основні зміни відбудуться в міських будівлях або в установлених термінах, в секторі ЖКГ – саме тут зміни, що починаються, носять революційний характер. Почалася офіційна стадія об'єднання людства під егідою ООН та перехід на принципово нову парадигму енергоефективного розвитку. 22 квітня 2016 року Україна підписала угоду ООН щодо клімату, або так званий Екологічний імператив ООН, який був прийнятий у Парижі у грудні 2015 року [1].