

С.М. Цирульник, к.т.н., доц.**Б. Андерсон, магістр****В.І. Роптанов, к.т.н., доц.***Вінницький національний технічний університет*

Оперативне тестування Q-фактора імпульсних трансформаторів

У процесі експлуатації комп'ютерної та телекомунікаційної техніки в ній виникають несправності. Сучасна комп'ютерна та телекомунікаційна техніка має достатньо складну схемотехніку, тому процес пошуку несправності є складним та трудомістким. Багато спеціалістів вважає діагностику несправності імпульсного блоку живлення, до складу якого входить імпульсний трансформатор, найбільш складним тестуванням.

Запропоновано метод швидкого тестування імпульсних трансформаторів комп'ютерних блоків живлення та інверторів моніторів, який дозволяє оцінити наявність короткозамкнених витків та знайти місце локалізації несправності й несправний радіоелемент.

Проведено аналіз особливостей застосування методу оцінки добротності та наведено підходи до практичної реалізації пристрою оцінки якості імпульсних трансформаторів і котушок індуктивності на мікроконтролері AVR.

Оцінювання добротності розглядається як відносна величина, яка дозволяє прийняти рішення про справність або несправність імпульсного трансформатора блоку живлення.

Ключові слова: імпульсний блок живлення; імпульсний трансформатор; котушка індуктивності; оцінка добротності; періодів власних коливань; мікроконтролер.

Постановка проблеми. До складу будь-якої комп'ютерної техніки та оргтехніки входить імпульсний блок живлення, який умовно можна вважати, що складається з трьох окремих блоків живлення: основний, блок живлення чергового режиму, модуль Power Factor Correction (PFC). Багато спеціалістів вважає діагностику несправності імпульсного блоку живлення найбільш складним тестуванням з усіх можливих [1].

Типові несправності імпульсного блоку живлення: відсутність вихідної напруги, спрацьовування захисту; згорілі запобіжники, великі пульсації напруги на одному або декількох виходах, свист, що супроводжується падінням рівня вихідної напруги нижче норми, і зрив коливань. Найбільш складними у діагностиці імпульсних блоків живлення є імпульсні трансформатори та дроселі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Імпульсні трансформатори блоків живлення виходять з ладу найчастіше через перегрів обмоток. При пробі силових ключів різко підвищується струм в обмотці, що призводить до її локального розігріву з подальшим порушенням ізоляції обмотувального проводу. В результаті перегріву обмотувального дроту виникають міжвиткові замикання, різко знижуються добротність трансформатора, що порушує режим роботи автогенератора імпульсного джерела живлення [1, 2].

Перевірка імпульсних трансформаторів блоків живлення – тема досить актуальна. Існують такі методи тестування працездатності трансформаторів:

- метод зовнішнього огляду дозволяє виявити механічні пошкодження імпульсних трансформаторів [2];
- метод перевірки параметрів котушок індуктивності, який передбачає вимір омичного опору обмотки або вимір індуктивності обмотки і порівняння результатів з паспортними даними [3];
- метод перевірки параметрів на холостому ході, який передбачає вимірювання коефіцієнта трансформації або споживаної потужності (при наявності короткозамкнених витків трансформатор гріється) [2];
- метод самоіндукції, який перевіряє наявність короткозамкнених витків. При їх відсутності котушка індуктивності (обмотка трансформатора) володіє явищем самоіндукції [2];
- метод вимірювання резонансної частоти, який дозволяє виявити короткозамкнені витки, якщо котушка індуктивності не володіє явищем резонансу [4];
- метод діагностики прямокутними імпульсами, який дозволяє за формою вихідних імпульсів виявити наявність або відсутність міжвиткових або короткозамкнених витків [5];
- метод оцінки добротності обмотки, який дозволяє оцінити добротність котушки індуктивності за кількістю періодів вільних коливань, що виникає в контурі «ударного збудження» [6, 7].

Найбільш інформативним та швидким є метод оцінки добротності, який дозволяє виявити усі несправності імпульсного трансформатора.

Мета дослідження. Прискорення процесу діагностики працездатності імпульсних трансформаторів та зменшення часу виявлення несправних елементів під час ремонту імпульсних блоків живлення на основі застосування методу оцінки добротності.

Викладення основного матеріалу. В методі оцінки добротності на коливальний контур подається імпульс «ударного збудження», який викликає вільні коливання в контурі, що утворений обмоткою імпульсного трансформатора (котушка індуктивності) та конденсатором 0,01-0,1 мкФ [7].

Метод оцінки добротності надзвичайно простий: потрібно викликати зовнішнім збудженням вільні коливання з власною резонансною частотою у контурі. Потім, спостерігаючи амплітуду зменшення коливань, підрахувати, скільки періодів потрібно, щоб удвічі зменшити амплітуду та помножити це число на 4,53, щоб знайти Q [8].

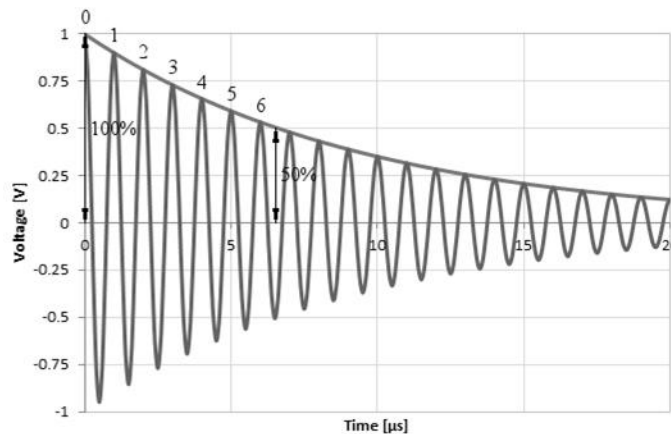


Рис. 1. Підрахунок періодів коливань, коли амплітуда зменшується до половини (за схемою $Q = 30$)

На рисунку 1 показано сигнал власних аперіодичних коливань в контурі та обвідна, яка показує, як змінюється амплітуда коливань.

Якщо прийняти початкове значення амплітуди ($t = 0$) за 100 % (рис. 1), то бачимо, що для зменшення амплітуди коливань до 50 % потрібно близько 6,5 періодів. Виконавши $6,5 \cdot 4,53$, знаходимо, що $Q \cong 30$.

Якщо не потрібна висока точність Q , то можна наблизити 4,53 до 5. Таким чином, просто спостерігати за сигналом на осцилограмі та безпосередньо «оцінювати» Q -фактор.

Амплітуду коливань у паралельному коливальному контурі можна описати простим лінійним однорідним диференціальним рівнянням 2 порядку. Загальне рішення цього рівняння має вигляд [8]:

$$u(t) = U_0 e^{-\frac{\omega}{2Q}t} \cos\left(\omega t \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}} + \varphi\right). \quad (1)$$

Часто в рівнянні (1) квадратний корінь опущений, тому що для великого Q цей квадратний корінь практично дорівнює одному. Без квадратного кореня вираз біля косинуса приймає більш знайомий вигляд $\cos(\omega t + \varphi)$. U_0 та φ – константи. Рівняння (1) записано в термінах Q і ω , оскільки вони включають в себе всі важливі параметри коливального контуру. Якщо побудувати графічне це рівняння, отримаємо криву (рис. 2), де можна спостерігати згасання коливань та обвідну, що зменшується за експонентою.

Можна помітити, що це рівняння має дві частини: експоненту та косинус. Косинус має амплітуду, яка завжди знаходиться між -1 та +1. Тому загальна амплітуда контролюється експоненціальним виразом, яка називається обвідна. Визначимо час t , коли амплітуда $u(t)$ власних коливань f_0 досягне половини початкового значення $u(0)$:

$$u(t) = \frac{u(0)}{2}. \quad (2)$$

Підставимо значення $u(t)$ у вираз (2) та отримаємо:

$$U_0 e^{-\frac{\omega}{2Q}t} = \frac{U_0}{2}. \quad (3)$$

Скоротимо значення U_0 у виразі (3):

$$e^{-\frac{\omega}{2Q}t} = \frac{1}{2}. \quad (4)$$

Виконаємо логарифмування рівняння (4) та отримаємо вираз:

$$-\frac{\omega}{2Q}t = \ln\left(\frac{1}{2}\right) \quad \frac{\omega}{2Q}t = \ln(2). \quad (5)$$

Рівняння (5) містить час t , однак, нас цікавить число циклів N власних коливань. Для цього вважаємо, що пульсація ω визначається,

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad (6)$$

де T - період коливання.

Вважаємо, що кількість циклів N періоду T власних коливань, що відбуваються за час t :

$$N = \frac{t}{T}. \quad (7)$$

Поставивши (6) та (7) до (5), знаходимо:

$$\frac{1}{2Q} \frac{2\pi}{T} NT = \ln(2). \quad (8)$$

У виразі (8) скоротимо значення T та знайдемо Q :

$$\frac{2\pi}{Q} N = \ln(2) \rightarrow Q = \frac{\pi N}{\ln(2)} \cong 4,53N. \quad (9)$$

Таким чином добротність Q залежить тільки від кількості циклів N періодів власних коливань, доки амплітуда не досягне половини початкового значення. Коливання, що виникають в контурі, повинні мати час, щоб згаснути, перед тим як надійде новий короткий імпульс «ударного збудження».

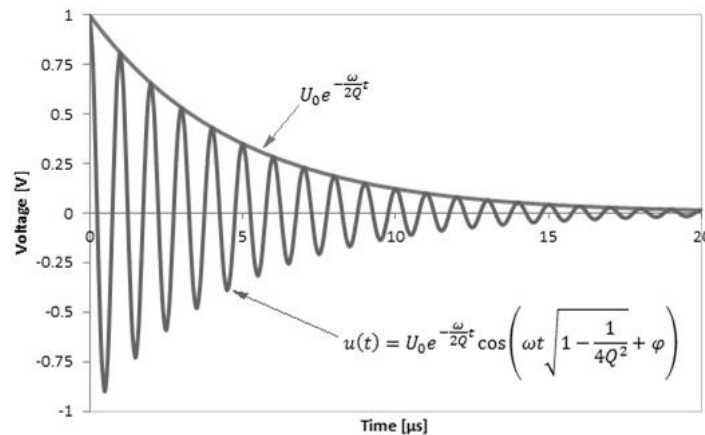


Рис. 2. Затухання коливань та його рівняння

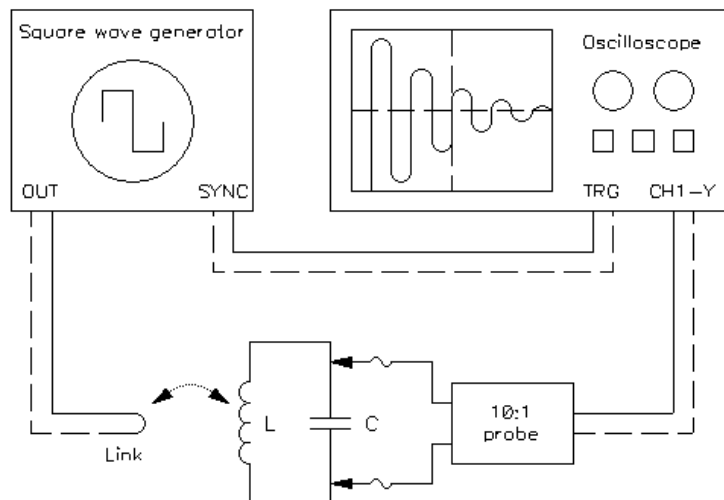


Рис. 3. Можливе підключення індуктивності L , що перевіряється, та конденсатора C до генератора прямокутних імпульсів та осцилографа

Принцип перевірки короткозамкнених витків котушок індуктивності, силових та імпульсних трансформаторів, що використовує метод оцінки добротності, називається «ring testing». Вимірювачі добротності, що дуже дорогі [6], можуть дозволити собі не усі сервіс-центри з ремонту комп'ютерної техніки та оргтехніки, тому актуальною є розробка пристрою для швидкого тестування імпульсних трансформаторів. Існують промислові прилади, що використовують метод «ring testing»: K7205, LOPT/FBT tester Боба Паркера, FBTester [6].

Для зменшення впливу генератора на процес тестування він має підключатися з використанням індуктивного зв'язку з котушкою, що перевіряється, або з використанням ємнісного з'єднання. Аналогічно осцилограф краще підключати через дільник 10:1, який має малу паразитну ємність, яка не має впливати на процес тестування. Аналіз схеми підключення генератора та осцилографа дозволяє прийти до структурної схеми більш сучасного пристрою з використанням мікроконтролера.

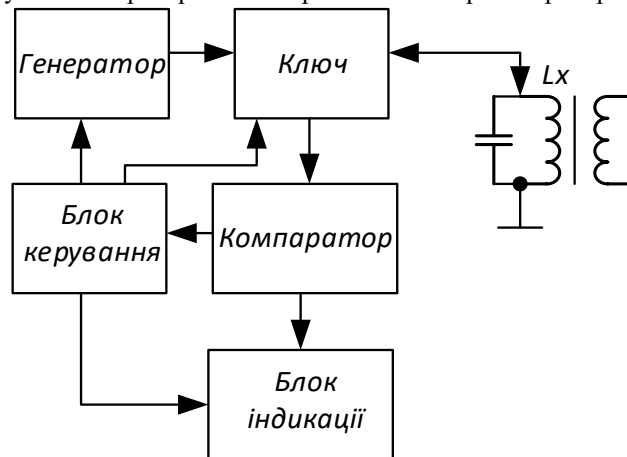


Рис. 4. Структурна схема пристрою для оперативного тестування імпульсних трансформаторів

Основним елементом пристрою для оперативного тестування імпульсних трансформаторів (рис. 4) є блок керування, який запускає генератор коротких прямокутних імпульсів та дозволяє імпульсам через ключ потрапити на LC контур для збудження власних коливань контуру. Частота імпульсів (100 Гц – 2кГц), що виробляє генератор, така, щоб власні коливання в контурі припинилися (частота імпульсів має бути набагато меншою за частоту власних коливань контуру). Блок керування перенаправляє власні коливання, що виникли в контурі, на компаратор та підраховує кількість коливань доки амплітуда не зменшиться до 50 %. За результатом вимірювання на індикатор виводиться результат тестування імпульсного трансформатора – справний або несправний.

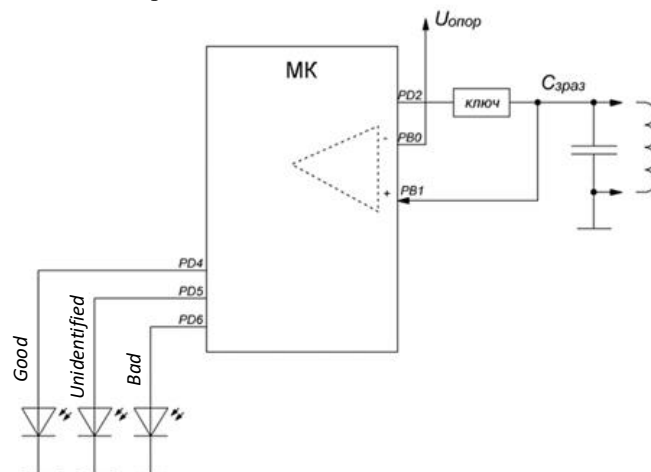


Рис. 5. Функціональна схема пристрою швидкого тестування імпульсних трансформаторів

Практична схема пристрою швидкого тестування імпульсних трансформаторів використовує як блок керування компаратор та генератор мікроконтролер ATtiny2313. Період проходження тестових імпульсів

обирається близько 6,6 мс. Кількість періодів коливань, що виникають в результаті тестування, підраховується мікроконтролером. Тривалість періоду коливань перехідного процесу не має бути меншою за 0,3–0,4 мкс. Для формування імпульсів використовується таймер/лічильник мікроконтролера ATtiny2313. Для підрахунку кількості періодів коливань на контурі використовується аналоговий компаратор мікроконтролера (рис. 5). Для індикації результатів тестування використовуються 3 світлодіоди: несправний – коливання продовжувалися не більше трьох періодів; справний – коливання продовжувалися 7 і більше разів (добротність більше 30); несправний – коливання три та менше періодів (добротність менша 12); невизначений – коливання продовжуються менше 7 і більше трьох періодів.

Програмне забезпечення написано на мові C/C++ у середовищі CodeVisionAVR V3.12. Було проведено комп'ютерне моделювання пристрою швидкого тестування імпульсних трансформаторів у програмі Proteus VSM 8.6. Схема пристрою швидкого тестування імпульсних трансформаторів у середовищі Proteus VSM наведена на рисунку 6.

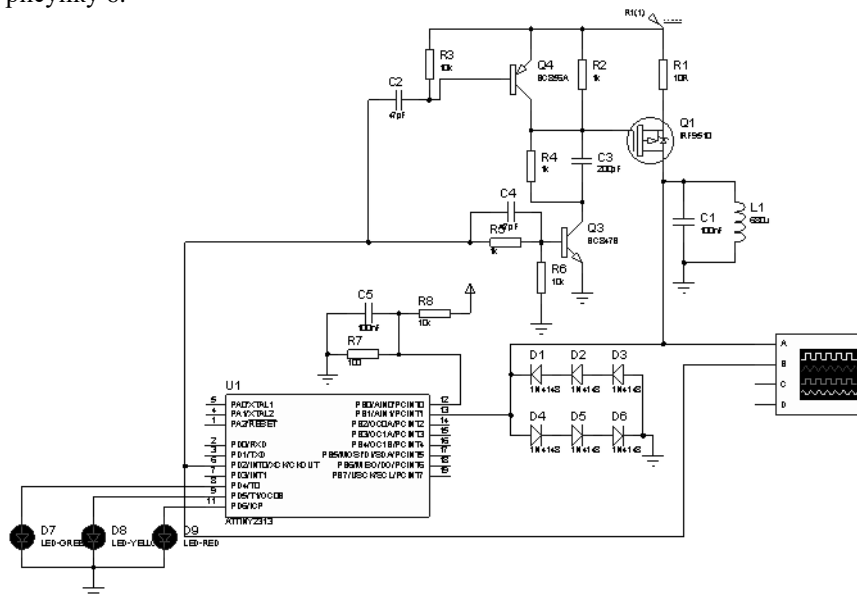


Рис. 6. Схема пристрою швидкого тестування імпульсних трансформаторів у середовищі Proteus VSM

При вмиканні пристрою виконується ефект «дзвону», тобто, пристрій оцінює тривалість перехідного процесу на вимірюваній індуктивності L1. На індуктивність L1 подається короткий імпульс, після його закінчення рахується кількість періодів вільних коливань на контурі L1C1. На рисунку 7 наводяться осцилограми аперіодичних коливань, що виникають під час діагностики працездатності котушки індуктивності. Для моделювання відсутності короткозамкнених витків підключаємо до пристрою котушку з індуктивністю 680 мкГн. Спостерігаємо за формою сигналу на осцилографі (рис. 7, а) бачимо, що на компаратор напруги подаються коливання, які тривають більше 10 періодів, що інформує про відсутність замкнутих витків у котушці індуктивності (світлиться світлодіод D7).

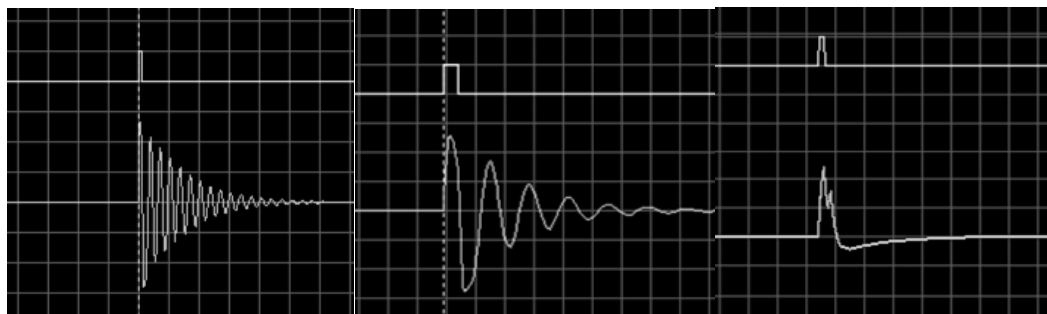


Рис. 7. Осцилограми роботи пристрою швидкого тестування імпульсних трансформаторів (короткий діагностичний імпульс, що виробляє мікроконтролер, аперіодичні коливання, що виникають в коливальному контурі): а) відсутність короткозамкнених витків; б) котушка має низьку добротність; в) котушка має короткозамкнені витки

Для моделювання режиму котушки індуктивності з малою добротністю підключаємо до пристрою котушку з індуктивністю 100 мкГн та резистор 100 Ом. Спостерігаємо за формою сигналу на осцилографі (рис. 7, б) бачимо, що на компаратор напруги подаються коливання які тривають 4–6 періодів та затухають швидко, тому пристрій інформує, що обмотка імпульсного трансформатора має низьку добротність й можливо котушка індуктивності несправна (світиться жовтий світлодіод D8). Для моделювання наявності короткозамкнені витків до пристрою підключаємо індуктивність 100 мкГн та резистор 10 Ом, який імітує коротко замкнуті витки котушки. Спостерігаємо за формою сигналу на осцилографі (рис. 7, в) бачимо, що на компаратор напруги подаються коливання, які тривають 1–2 періодів та затухають швидко, тому пристрій інформує про несправність котушки індуктивності (світиться червоний світлодіод D9).

Висновки. Між виткові замикання не усувають резонанс, а лише підвищують резонансну частоту та знижують добротність котушки індуктивності імпульсного трансформатора. Форма тестової синусоїдальної напруги коротко замкнутими обмотками не спотворюється, а застосовувати прямокутні імпульси взагалі недоцільно, так як на форму імпульсу може впливати насичення осердя. З цих причин ефективність відомих способів дуже низька, а результати перевірки мало достовірні.

Запропонований метод оцінки добротності є інформативним для швидкого тестування якості імпульсних трансформаторів. Q-фактор справних імпульсних трансформаторів повинний бути більше 30. Для його застосування до котушки індуктивності, що перевіряється, необхідно підключити конденсатор для утворення паралельного коливального контуру з власною резонансною від 10 кГц до 200 кГц та подати імпульс «ударного збудження». Наявність несправності в котушці індуктивності характеризує добротність, яка залежить тільки від кількості циклів N періодів власних коливань, доки амплітуда не досягне половини початкового значення. Коливання, що виникають в контурі повинні мати час, щоб згаснути, перед тим як надійде новий короткий імпульс «ударного збудження».

Пристрій швидкого тестування імпульсних трансформаторів комп'ютерних блоків живлення можна використовувати для перевірки силових трансформаторів, трансформаторів інверторів живлення ламп підсвічування моніторів, котушок індуктивності LED драйверів, DC/DC перетворювачів.

Список використаної літератури:

1. *Кашкаров А.П.* Импульсные источники питания: схемотехника и ремонт / *А.П. Кашкаров.* – М. : ДМК Пресс, 2012. – 184 с.
2. Методы проверки импульсных трансформаторов [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tor-trans.com.ua/impulstranscontrol.html>.
3. *Цирульник С.М.* Прилад для вимірювання параметрів LC / *С.М. Цирульник, В.М. Ткачук, А.О. Гаврасієнко* // Збірник тез доповідей I МНТК «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах». – Вінниця. – 2011. – С. 95.
4. *Цирульник С.М.* Пристрій діагностики працездатності котушок індуктивності / *С.М. Цирульник, О.О. Федоршин* // Матеріали XVII РНСК «Актуальні проблеми фізики та їх інформаційне забезпечення». – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. С. 136–139.
5. *Цирульник С.М.* Метод оперативного тестування імпульсних трансформаторів комп'ютерної техніки / *С.М. Цирульник, Б.Андерсон, В.І. Роптанов* // Матеріали XLVII «Науково-технічна конференція факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії». – 2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2018/paper/view/5326/4353>.
6. Прибор для обнаружения короткозамкнутых витков в импульсных трансформаторах FBTest v1.1. [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <https://www.radiodevices.ru>.
7. How To Make Full Use Of Blue Ring Tester [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.electronicrepairguide.com/blueringtesterresult.html>.
8. Measuring the Q-factor of a resonator with the ring-down method [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.giangrandi.ch/electronics/ringdownq/ringdownq.shtml>.

References:

1. Kashkarov, A.P. (2012), *Impul'snye istochniki pitaniya: skhemotekhnika i remont*, DMK Press, M., 184 p.
2. «Metody proverki impul'snykh transformatorov», [Online], available at: <http://www.tor-trans.com.ua/impulstranscontrol.html>
3. Cyrul'nyk, S.M., Tkachuk, V.M. and Gavrasijenko, A.O. (2011), «Prylad dlja vymirjuvannja parametriv LC», *Zbirnyk tez dopovidej I MNTK «Vymirjuvannja, kontrol' ta diagnostyka v tehnychnyh systemah»*, Vinnycja, 95 p.
4. Cyrul'nyk, S.M. and Fedoryshyn, O.O. (2017), «Prystrij diagnostyky pracezdatnosti kotushok induktyvnosti», *Materialy XVII RNSK «Aktual'ni problemy fizyky ta i'h informacijne zabezpechennja»*, NTU «HPI», Harkiv, pp. 136–139.
5. Cyrul'nyk, S.M., Anderson, B. and Roptanov, V.I. (2018), «Metod operatyvnogo testuvannja impul'snykh transformatoriv komp'juternoi' tehniky», *Materialy XLVII «Naukovo-tehnychna konferencija fakul'tetu informacijnyh tehnologij ta komp'juternoi' inzhenerii'»*, [Online], available at: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2018/paper/view/5326/4353>

6. «Prybor dlja obnaruzhenija korotkozamknutyh vytkov v ympul'snyh transformatorah FBTest v1.1.», [Online], available at: <https://www.radiodevices.ru>
7. «How To Make Full Use Of Blue Ring Tester», [Online], available at: <http://www.electronicrepairguide.com/blueringtesterresult.html>
8. «Measuring the Q-factor of a resonator with the ring-down method», [Online], available at: <http://www.giangrandi.ch/electronics/ringdownq/ringdownq.shtml>

Цирульник Сергій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- мікропроцесорні пристрої та системи;
- діагностика та ремонт цифрової техніки.

E-mail: sovnm@ukr.net.

Роптанов Володимир Ілліч – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- теорія ймовірності та математична статистика;
- надійність комп'ютерних систем.

E-mail: roptanov.volodymyr@vntu.edu.ua.

Андерсон Буемі – студент групи ІКІ-17м, факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницького національного технічного університету.

E-mail: buemianderson@gmail.com

Стаття надійшла до редакції 11.01.2019.