

## ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-150-3-37-42>

УДК 658.562

А. В. Булашенко<sup>1</sup>  
І. В. Забегалов<sup>2</sup>

# КОНСТРУКЦІЯ ПОРТАТИВНОГО ЦИФРОВОГО МЕГОМЕТРА ТА ВИМІРЮВАЧА СТРУМУ ВИТОКУ

<sup>1</sup>Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»;

<sup>2</sup>Шосткинський інститут Сумського державного університету

*Надійність і безперебійність роботи електроустановки забезпечується завдяки значній кількості параметрів. Одним з найважливіших є якість ізоляції. Під поняттям опір ізоляції потрібно розуміти здатність матеріалу, з якого виготовлений ізоляційний шар, чинити опір електричному струму, що протікає в електрообладнанні. Стан ізоляції суттєво впливає на якість електропостачання в цілому. Пропускна здатність і довговічність роботи залежить від матеріалу ізоляції і його якості, а також від того стану, в якому вона знаходиться. Більшість провідників мають вигляд дроту різної товщини, покритої шаром ізоляції. Якщо опір ідеального провідника повинен бути нескінченно малим, то опір ідеальної ізоляції повинен бути нескінченно великим. Однак реалії такі, що опір у ізолюючого шару не настільки великий, щоб його не можна було виміряти. За певних умов через нього тече так званий «струм витоку». Його величина може бути неприпустимо велика. Поступово, однак, досить швидко властивості ізоляційного покриття можуть істотно погіршитися. При цьому будь-яка додаткова зовнішня дія, наприклад, механічна, може порушити цілісність ослабленої ізоляції. Далі висока ймовірність короткого замикання в місці пошкодження, а також її загорання через високу температуру в зоні короткого замикання. Тому треба періодично перевіряти стан ізоляції на предмет величини струмів витоку в ній для запобігання руйнівних наслідків від її деградації. Перевірка ступеня захисних властивостей ізоляції проводиться за допомогою спеціального вимірювального приладу — мегометра, який вимірює опір ізоляції в електрообладнанні. Вимірювання опору ізоляції та струму витоку дозволяє забезпечити безпечно використання та роботу електрообладнання, забезпечуючи ефективну експлуатацію всієї системи енергопостачання.*

*Здійснено аналіз існуючих рішень. Розроблено та створено електричну схему, показано конструктивні особливості портативного цифрового пристрою, що поєднав у собі мегометр та вимірювач струму витоку, забезпечив номінальну тестову напругу 250, 500 або 1000 В для вимірювання струму витоку або опору ізоляції.*

**Ключові слова:** струм витоку, перетворювач струму, опір ізоляції.

### Вступ

Для визначення стану працездатності та безпеки електричного обладнання мають важливе значення параметри опору ізоляції та струму витоку, тому завжди актуальна задача їх вимірювання. Можливе погіршення властивостей ізоляції від підвищеної вологості, пошкодження під час виконання будь-яких робіт, від її старіння. Ізоляцію такого обладнання необхідно перевіряти регулярно на наявність струмів витоку, оскільки дія таких напруг на людину є небезпечною. В роботах [1]—[3] дослідженню ця проблематика. У роботах [4], [5] показано, що не враховуючи струму витоку, можна отримати велику похибку вимірювання опору ізоляції. Для розв'язання таких задач необхідний портативний вимірювальний прилад, що може забезпечити номінальну тестову напругу 250 В, 500 В або 1000 В для вимірювання струму витоку або опору ізоляції [6]. Контроль опору ізоляції хоча і вимагає затрат певних зусиль і часу, але дозволяє запобігти пожежі, наслідки яких будуть незрівнянно більшими.

Старі аналогові мегомметри, що використовуються для вимірювання опору ізоляційного шару проводів та кабелів, дуже громіздкі та незручні у використанні, оскільки в процесі перевірки необхідно, обертаючи рукоятку вручну, створювати високу напругу для «прозвону» ізоляційного шару. Сучасні цифрові вимірювачі опору ізоляції [7]—[11] є цифровими приладами, яким не потрібна висока напруга, як у аналогових мегомметрах. Вони дозволяють безконтактним способом перевіряти не лише ізоляційний шар, а й інші параметри проводу або кабелю, наприклад напругу, струм, частоту. Але суттєвим недоліком таких приладів є складна конструкція, мала надійність та велика ціна.

### Структурна схема

Пропонується нова конструкція цифрового вимірювача, що дозволяє перевіряти надійність та опір ізоляції до 999 МОм за напруг 250 В, 500 В або 1000 В та струму витoku від 1 до 100 мкА. Оскільки прилади першого класу (із зовнішнім заземленням металоконструкції) забезпечують струм витoku 5 мА, то таке обладнання є потенційно небезпечним. Запропонований прилад вимірює струм витoku до 100 мкА. Отже, тест, виконаний таким приладом, буде точнішим, ніж існуючі.

Структурна схема приладу показана на рис. 1. Схему можна розділити на дві частини: ліва частина генерує тестові напруги 250 В, 500 В або 1000 В, а права частина є вимірювальною секцією, що вимірює струм витoku.

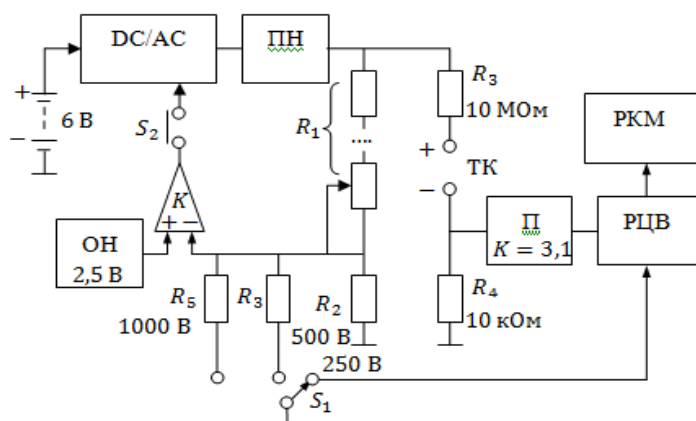


Рис. 1. Структурна схема приладу

На схемі перетворювач постійної напруги DC/AC перетворює постійну напругу батареї 6 В у змінну напругу близько декілька сотень вольт, яка потім випрямляється у постійну напругу перемножувачем напруги (ПН). Для керування роботою перетворювача та його вихідної напруги використовується від'ємний зворотний зв'язок. Це досягається за рахунок високого коефіцієнта дільника напруги  $R_1/R_2$ . Щоб живити невелику частину вихідної напруги на один із входів компаратора К, де вона зрівнюється з опорною напругою 2,5 В. Компаратор (К) використовується для відключення перетворювача DC/AC, коли напруга досягне необхідного рівня, та включення перетворювача, коли напруга опускається нижче заданого рівня. Також компаратор стабілізує високовольтну напругу.

Далі висока напруга через струмообмежувальний опір  $R_3 = 10$  МОм подається на тестові контакти (ТК), до яких підводиться ізоляція, яку необхідно протестувати. Цей опір навіть за короткого замикання обмежує струм на безпечному рівні 100 мкА.

Опір  $R_3 = 10$  МОм ввімкнений між високовольтним колом та клемми вимірювача необхідний, головним чином, щоб обмежувати максимальний струм, що подається від генератора, навіть у випадку короткого замикання між клемми вимірювача. Таким чином, цей опір 10 МОм обмежує максимальний струм до 100 мкА для тестової напруги 1000 В та 50 мкА для тестової напруги 500 В.

Інша функція опору  $R_3 = 10$  МОм полягає в тому, щоби зробити вимірювач безпечнішим у використанні, тобто зменшити величину струму, що може вразити людину.

Як бачимо з наведеного вище способу роботи «розумного» вольтметра-вимірювача, можливе використання 10 МОм обмежувального опору, ввімкненого послідовно з тестовими клемми так само, як і вимірювальний шунт  $R_4 = 10$  кОм.

Струм витoku, наприклад 100 мкА, протікає через  $R_4 = 10$  кОм сенсорний опір, створюючи на ньому падіння напруги, наприклад 1 В, що підсилюється високоомним підсилювачем (П) з коефіцієнтом підсилення  $K = 3,1$ , вимірюється «розумним» цифровим вольтметром (РЦВ) та висвічується на рідкокристалічному РК модулі (ПКМ).

Результати вимірювань виводяться на дворядковий 16-знаковий РК дисплей, у верхньому рядку якого відображається тестувальна напруга, а у нижньому рядку — струм витoku в мкА та опір ізоляції в МОм.

За допомогою перемикача  $S_1$  можна вибрати високу напругу 250 В, 500 В або 1000 В, змінюю-

чи коефіцієнт ділення високовольтного дільника та одночасно повідомляючи мікроконтролеру на відповідний порт про вибране значення. Живлення всіх елементів схеми, крім потужних ключів, здійснюється через інтегральний стабілізатор. Оскільки споживаний струм невеликий, що витрачається тільки за натиснутої кнопки  $S_2$ , в якості 6 В батареї використовуються чотири з'єднаних послідовно елементи живлення типу АА.

### Електрична принципова схема пристрою

У результаті аналізу розроблена принципова схема пристрою, яка показана на рис. 2. Підвищувальний перетворювач напруги складається з задавального генератора IC1d, інвертора IC1c, двох логічних елементів І-НЕ IC1a, IC1b та потужних транзисторних ключів, що по чергово комутують обмотки малопотужного мережевого трансформатора на батарею 6 В. З первісної обмотки трансформатора змінна напруга 230 В надходить на випрямляч, виконаний на діодах D3, ..., D6 та чотирьох металоплівкових ємностях 47 нФ на 630 В. Через подільник високої напруги з тримером VR1 мала частина випрямленої напруги надходить на інвертуючий вхід компаратора IC2b, де порівнюється з опорною напругою 2,5 В, що формується стабілітроном REF1 на другому вході компаратора. У випадку перевищення напруги, що задається тримером VR1 рівня, низький логічний рівень на виході компаратора через елементи IC1a, IC1b закриті транзистори Q1, Q2 до тих пір, доки напруга не понизиться до необхідного рівня. Буферний підсилювач забезпечує необхідний коефіцієнт підсилення 3,1. Від нього напруга, пропорційна струму витoku випробовувальної ізоляції, надходить на внутрішній АЦП мікроконтролера IC3, який відповідним чином масштабує отримані дані та виводить результати вимірювача на дворядковий 16-значковий ЖК дисплей, де відображається тестувальна напруга та струм витoku та опір ізоляції.

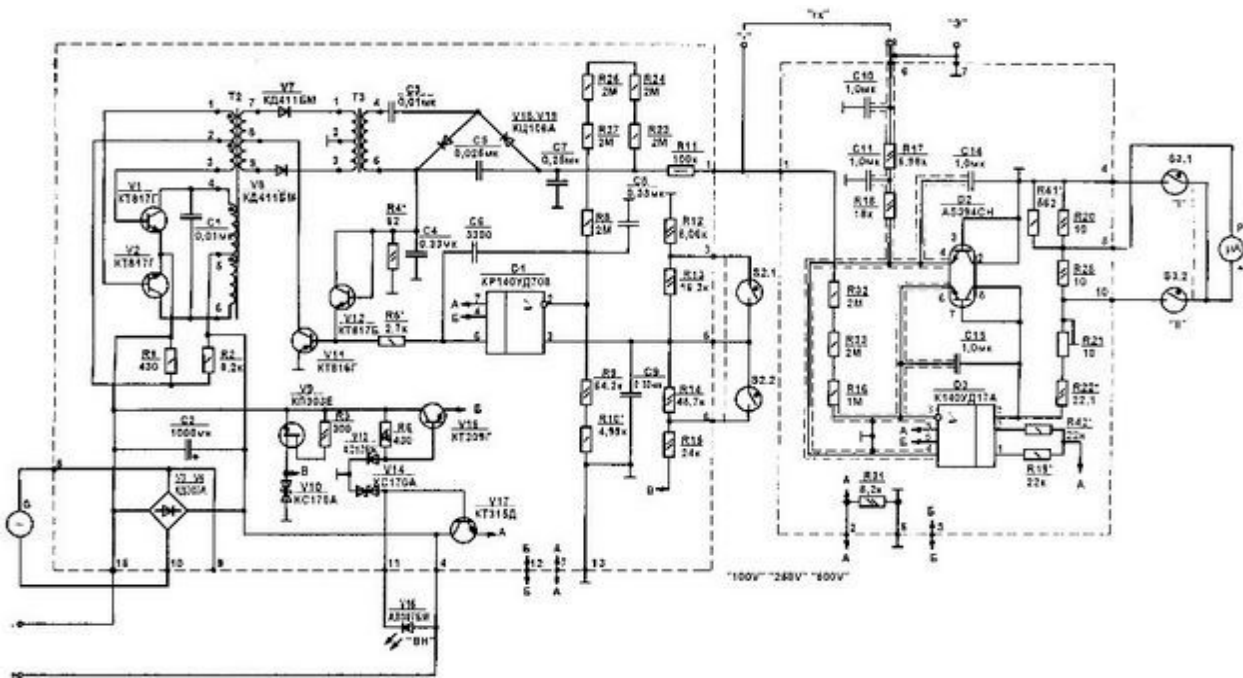


Рис. 2. Принципова схема пристрою

### Конструктивні особливості пристрою

Новий вимірювальний прилад легкий для побудови і складається з великої кількості головних компонентів, що встановлюються на невеликій панелі корпусу разом з невеликим трансформатором. Трансформатор використовується у колі напруги тестування та тримача батарей, від яких живиться вимірювальний прилад (рис. 3).

Живлення приладу здійснюється за допомогою чотирьох елементів живлення типу АА (рис. 3). На його виготовлення необхідні менші витрати, ніж на існуючі вимірювальні прилади, пропонувані зарубіжними компаніями.

Рівень тестової напруги встановлюється підстроювальним опором за допомогою викрутки через невеликий отвір. Щоби виміряти тестову напругу самого приладу просто необхідно з'єднати

коротку частину проводу між 2 тестовими клемми, як коротке замикання. Це необхідно щоб контролювати тестову напругу в діапазоні струму витoku.

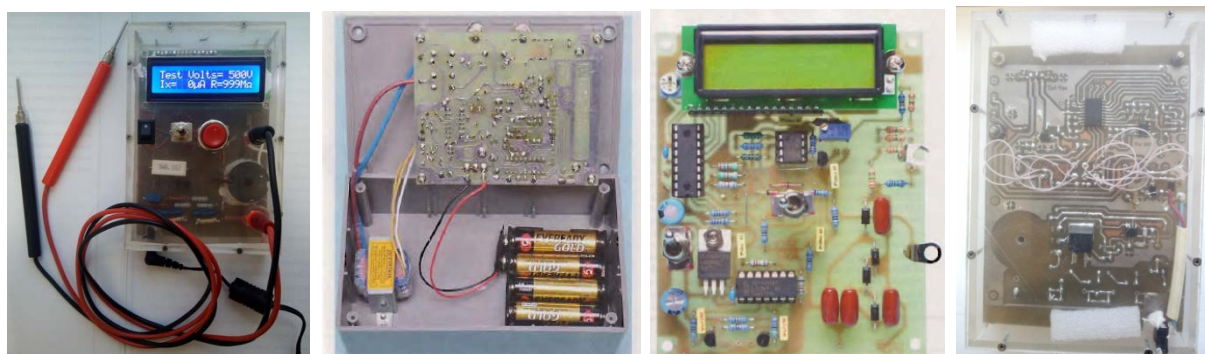


Рис. 3. Вигляд пристрою та його плати

Отже, щоби встановити досліджувану напругу, необхідно помістити дріт між тестовими клемми (замкнути), а потім перемкнути ключ  $S_1$  в позицію 1000 В. Після чого увімкнути вимірювач, як тільки він відобразить екран вимірів, натиснути та утримувати кнопку *TEST* ( $S_2$ ). Рідкокристалічний дисплей має показати струм, близький до 100 мкА, що відповідає тестовій напрузі 1000 В. Якщо значення, що він показує, є вищим чи нижчим, ніж тестове, то необхідно відрегулювати підстроювальним опором викруткою до показання значення 100 мкА для тестової напруги 1000 В.

Щоб переконатися в правильності налаштувань, необхідно перемкнути перемикач напруги  $S_1$  в положення «500 В». Після чого необхідно переконатися, що показання вимірювань РКМ до 50 мкА для тестової напруги 500 В. Якщо ця умова виконується, то вимірювач налаштований правильно. Далі прибрати коротке замикання між клемми, і вимірювач готовий до використання.

### Висновки

Таким чином, створено пристрій портативного цифрового мегомметра та вимірювача струму витoku, що дозволяє перевіряти надійність пристроїв та опір їх ізоляції до 999 МОм за напруг живлення 250 В, 500 В або 1000 В та струму витoku від 1 до 100 мкА. Прилади першого класу забезпечують струм витoku 5 мА, а запропонований прилад вимірює струм витoku до 100 мкА, а отже, тест виконаний таким приладом, буде точнішим, ніж існуючі вимірювальні прилади.

З конструкторської точки зору створений прилад має невеликі розміри за рахунок того, що всі компоненти містяться всередині компактного корпусу на одній платі, окрім невеликого трансформатора, що використовується у колі напруги тестування. Таким чином, на його виготовлення потрібні менші витрати, ніж на існуючі, що не вимірюють струму витoku. Крім того, портативний пристрій має невелику масу і є простим в експлуатації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] А. В. Мускатиньев, и А. А. Мускатиньев, *Особенности измерения токов утечки в силовых полупроводниковых приборах в состоянии низкой проводимости. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. Пенза, Россия: Пензенский государственный технологический университет, 2014, с. 157-163.
- [2] A. Rokowska, "Overhead CC lines experience in design, construction and service with reliability assessment in central Europe," in *Proc. of the Fourth International Covered Conductor Conference ICCS*. Helsinki, 2000, pp. 56-68.
- [3] Muhammad Amin, Salman Amin, and Muhammad Ali, "Monitoring of leakage current for composite insulators and electrical devices," *Reviews on advanced materials science*, 2009, pp. 75-89.
- [4] В. И. Лачин, К. Ю. Соломенцев, Н. К. Уи, и И. Г. Балабан, «Сравнительный анализ математических моделей аппроксимации тока абсорбации.» *Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки*. Ростов-на-Дону, Россия: Южный федеральный университет, с. 14-18, 2015. <https://doi.org/10.17213/0321-2653-2015-2-14-18>.
- [5] Ю. В. Соловьев, А. И. Таджикибаев, и А. Н. Назарычев, «Метод оценки состояния защищенных проводов при электрическом старении в условиях повышенных загрязнений и увлажнений.» *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*, с. 114-122, 2015.
- [6] J. Schmitz, M. H. H. Weusthof, and A. J. Hof, "Leakage current correction in quasi-static C-V measurements," in *Proc. IEEE 2004 Int. Conference on Microelectronic Test Structures*, vol. 17, pp. 179-181, 2004. <https://doi.org/10.1109/ICMTS.2004.1309475>.
- [7] В. Б. Здеб, В. О. Яцук, и Ю. В. Яцук, «Калибровка многоканальных цифровых измерителей сопротивления в рабочих условиях.» *Международный журнал "Устойчивое развитие"*. Варна, Болгария, № 18, с. 86-92, 2014.
- [8] V. Zdeb, V. Yatsuk, R. Yanovych, and Yu. Yatsuk, "Possibilities of Precision Ohmmeter Calibration at the Exploitation Condition," in *Proceedings of the 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*, Berlin, Germany, 2013, vol. 1, pp. 86-89.

- [9] В. О. Яцук, і В. Б. Здеб, «Калібрування багатоканальних засобів вимірювання напруги на місці експлуатації,» *Вісник Націон. унів. "Львівська політехніка" «Комп'ютерні системи та мережі,»* вип. 717, с. 204-209, 2011.
- [10] J. Yang, J. E. Fletcher, and J. O'Reilly, "Short-Circuit and Ground Fault Analyses and Location in VSC-Based DC Network Cables," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 59, № 10, pp. 3827-3837, 2012.
- [11] T. A. Gisby, S. Q. Xie, E. P. Calius, and I. A. Anderson, "Leakage current as a predictor of failure in dielectric elastomer actuators," *Proc. SPIE 7642, Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD)*, 2010. <https://doi.org/10.1117/12.847835>.

Рекомендована кафедрою теоретичної електротехніки та електричних вимірювань ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 27.02.2020

**Булашенко Андрій Васильович** — старший викладач кафедри теоретичних основ радіотехніки, e-mail: an\_bulashenko@i.ua .

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ;

**Забегалов Ігор Вікторович** — викладач кафедри системотехніки та інформаційних технологій, e-mail: zabgarik@ukr.net .

Шосткінський інститут Сумського державного університету, Шостка

**A. V. Bulashenko<sup>1</sup>**

**I. V. Zabegalov<sup>2</sup>**

## Design of a Portable Digital Megohmmeter and Leakage Current Meter

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»;

<sup>2</sup>Shostka Institute of Sumy State University

*Reliability and uninterrupted operation of electrical equipment is ensured by many parameters, one of the most important is the quality of insulation. By the concept of insulation resistance it is necessary to understand the ability of the material of which the insulation is made to resist the electric current flowing in electrical equipment. The condition of the insulation affects the quality of the power supply as a whole. The throughput and durability of the work depends on the insulation material and its quality, as well as on the state in which it is located. Most conductors are in the form of wires of different thicknesses, covered with a layer of insulation. If the resistance of an ideal conductor should be infinitesimal, then the resistance of an ideal insulation should be infinitely large. However, the reality is that the resistance of the insulating layer is not so large that it could not be measured. Under certain conditions, the so-called "leakage current" flows through it. Its value may be unacceptably large. Gradually, however, the properties of the insulation coating can deteriorate quite quickly. Moreover, any additional external impact, for example, mechanical, can violate the integrity of the weakened insulation. Further, there is a high probability of a short circuit at the site of damage, as well as its ignition due to the high temperature in the short circuit zone. Therefore, it is necessary to periodically check the state of insulation for the magnitude of the leakage currents in it to prevent the destructive consequences of its degradation. Checking the degree of protective properties of insulation is carried out using a special measuring device — a megohmmeter, which measures the insulation resistance in electrical equipment. Measurement of insulation resistance and leakage current allows for safe use and operation of electrical equipment, ensuring efficient operation of the entire power supply system. An analysis was made of existing solutions. A portable digital device was developed that included a megohmmeter and a leakage current meter, and provides a rated test voltage of 250, 500, or 1000 V to measure leakage current or insulation resistance.*

**Keywords:** leakage current, the converter current, insulation resistance.

**Bulashenko Andrii V.** — Senior Lecture of the Chair of Theoretical Foundations of Radio Engineering, e-mail: an\_bulashenko@i.ua .

**Zabegalov Ihor V.** — Lecture of the Chair of Systems Engineering and Information Technology, e-mail: zabgarik@ukr.net

## Конструкция портативного цифрового мегомметра и измерителя тока утечки

<sup>1</sup>Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»;

<sup>2</sup>Шосткинский институт Сумского государственного университета

*Надежность и бесперебойность работы электрооборудования обеспечивается за счет множества параметров, одним из важнейших является качество изоляции. Под понятием сопротивление изоляции нужно понимать способность материала, из которого изготовлена изоляция, сопротивляться электрическому току, протекающему в электрооборудовании. Состояние изоляции влияет на качество электроснабжения в целом. Пропускная способность и долговечность работы зависит от материала изоляции и его качества, а также от того состояния, в котором она находится. Большинство проводников имеют вид проволоки разной толщины, покрытой слоем изоляции. Если сопротивление идеального проводника должно быть бесконечно малым, то сопротивление идеальной изоляции должно быть бесконечно большим. Однако реалии таковы, что сопротивление изолирующего слоя не настолько большое, чтобы его нельзя было измерить. При определенных условиях через него течет так называемый «ток утечки». Его величина может быть недопустимо большой. Постепенно, однако, довольно быстро свойства изоляционного покрытия могут существенно ухудшиться. При этом любое дополнительное внешнее воздействие, например, механическое, может нарушить целостность ослабленной изоляции. Далее высока вероятность короткого замыкания в месте повреждения, а также ее возгорание из-за высокой температуры в зоне короткого замыкания. Поэтому надо периодически проверять состояние изоляции на предмет величины токов утечки в ней для предотвращения разрушительных последствий от ее деградации. Проверка степени защитных свойств изоляции производится с помощью специального измерительного прибора — мегомметра, который измеряет сопротивление изоляции в электрооборудовании. Измерение сопротивления изоляции и тока утечки позволяет обеспечить безопасное использование и работу электрооборудования, обеспечивая эффективную эксплуатацию всей системы энергоснабжения. Проведен анализ существующих решений. Разработана и создана электрическая схема, показаны особенности конструкции портативного цифрового устройства, которое включает в себя мегомметр и измеритель тока утечки, и обеспечивает номинальное тестовое напряжение 250, 500 или 1000 В для измерения тока утечки или сопротивления изоляции.*

**Ключевые слова:** ток утечки, преобразователь тока, сопротивление изоляции.

**Булашенко Андрей Васильевич** — старший преподаватель кафедры теоретических основ радиотехники, e-mail: an\_bulashenko@i.ua ;

**Забегалов Игорь Викторович** — преподаватель кафедры системотехники и информационных технологий, e-mail: zabgarik@ukr.net