

О.О. ЧЕПЕЛЮК, Є.І. ШНЕЙДЕРОВИЧ, Є.Ю. ЗОРІН

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ РЕЛЕ КОНТРОЛЮ НАПРУГИ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ

Дана стаття присвячена розробці лабораторного стенду з дослідження однофазних реле контролю напруги для захисту побутових споживачів та методичних вказівок для проведення відповідної лабораторної роботи. Описано конструкцію, процес збірки та електричну схему розробленого стенду, а також методичні вказівки, розроблені для проведення лабораторної роботи на даному стенді. На підставі проведених дослідів, проаналізовані різні режими роботи та реальні характеристики спрацьовування різних типів реле контролю напруги. За результатами дослідів виявлені переваги та недоліки кожного типу реле контролю напруги.

Ключові слова: лабораторний стенд; реле контролю напруги; норми якості електроенергії; відхилення напруги; провал напруги; тимчасова перенапруга.

А.А. ЧЕПЕЛЮК, Е.И. ШНЕЙДЕРОВИЧ, Е.Ю. ЗОРИН

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОДНОФАЗНЫХ РЕЛЕ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Данная статья посвящена разработке лабораторного стенда по исследованию однофазных реле контроля напряжения для защиты бытовых потребителей и методических указаний для проведения соответствующей лабораторной работы. Описана конструкция, процесс сборки и электрическая схема разработанного стенда, а также методические указания, разработанные для проведения лабораторной работы на данном стенде. На основании проведенных опытов, проанализированы различные режимы работы и реальные характеристики срабатывания различных типов реле контроля напряжения. По результатам опытов выявлены преимущества и недостатки каждого типа реле контроля напряжения.

Ключевые слова: лабораторный стенд; реле контроля напряжения; нормы качества электроэнергии; отклонение напряжения; провал напряжения; временное перенапряжение.

О.О. СЕПЕЛЮК, У.І. ШНЕЙДЕРОВИЧ, У.У. ЗОРИН

LABORATORY STAND FOR INVESTIGATION OF SINGLE-PHASE VOLTAGE CONTROL RELAYS FOR PROTECTION OF DOMESTIC CONSUMERS

This article is devoted to the development of a laboratory stand for the study of voltage control relays for the protection of household consumers and guidelines for the relevant laboratory work. Describes the design, assembly process and electrical circuit of the developed stand, as well as guidelines developed for laboratory work on this stand. On the basis of the conducted experiments, different operating modes and real characteristics of different types of voltage control relays are analyzed. The results of experiments revealed the advantages and disadvantages of each type of voltage control relay.

Key words: laboratory stand; voltage control relay; power quality standards; voltage deviation; voltage failure; temporary overvoltage.

Вступ. Реле контролю напруги – це електричний апарат, який контролює зміни напруги електромережі, та відключає електроприлади від мережі при неприпустимих відхиленнях напруги, тим самим захищаючи ці прилади від поломок, а в деяких випадках навіть загорання.

Такі реле складаються з двох основних вузлів: електронного пристрою (аналогового чи цифрового на базі мікропроцесора), контролюючого напругу в мережі і силового реле, які знаходяться в одному корпусі.

На актуальному електротехнічному ринку України представлено широке різноманіття реле контролю напруги з фіксованими та регульованими параметрами спрацьовування (граничні пороги мінімальної та максимальної напруги, час спрацьовування, час автоматичного повторного включення, тощо) [1]. Характерним для вказаних реле є те, що більшістю виробників таких реле (зокрема маловідомих) не вказуються їх захисні характеристики, що затрудняє оцінку відповідності захисних характеристик реле стандартам з якості електроенергії в частині допустимих відхилень напруги живлення.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю проведення лабораторних досліджень з однофазними реле контролю напруги для захисту побутових спо-

живачів з метою вивчення принципів та режимів роботи реле напруги різних видів; здобуття практичних навичок з їх вибору, встановлення та підключення; визначення реальних характеристик різних реле напруги експериментальним методом, що у свою чергу потребує створення відповідного лабораторного стенду та методичних вказівок до лабораторної роботи. Застосування такого стенду у навчальних лабораторіях також суттєво покращить якість підготовки спеціалістів електротехнічного напрямку.

Мета роботи - розробка лабораторного стенду для дослідження однофазних реле напруги для захисту побутових споживачів та методичних вказівок до відповідної лабораторної роботи.

Опис конструкції лабораторного стенду. Принципова електрична схема лабораторного стенду для дослідження реле напруги наведена на рис. 1.

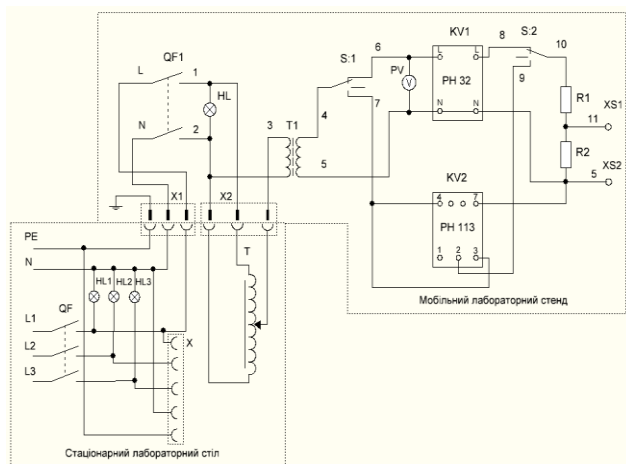


Рис. 1. Електрична схема лабораторного стенду (QF1 – двополюсний автоматичний вимикач; HL – сигнальна лампа; T1 – підвищуючий трансформатор; S – перемикач на 3 положення; PV – цифровий вольтметр; KV1 – реле напруги PH-32; KV2 – реле напруги PH-113; R1, R2 – резистори; XS1, XS2 – клемми для підключення осцилографа; X1 – однофазна розетка з вилкою; X2 – триконтактний роз'єм; HL1, HL2, HL3 – сигнальні лампи; QF – триполюсний автоматичний вимикач; T – стаціонарний лабораторний автотрансформатор; X – трифазна розетка з N та PE провідником).

Стенд втілює в собі «мобільну концепцію», суть якої полягає у тому, що він виконаний на окремому ДСП-каркасі (див. рис. 2) і для подачі на нього напруги живлення він з'єднується зі стаціонарним лабораторним столом двома гнучкими кабелями за допомогою однофазної вилки та трьох контактних штекеру, що робить його мобільним (переносним), дуже спрощує його обслуговування та підвищує зручність користування ним [2].

На рис. 2 представлено встановлений на лабораторному столі лабораторний стенд.



Рис. 2. Розташування лабораторного стенду на лабораторному столі

До складу лабораторного стенду входить:

- двополюсний автоматичний вимикач АсКо – УКРЕМ ВА-2017-2/25 (QF1);
- сигнальна лампа АсКо – УКРЕМ СЛ-2001 (HL1);
- реле напруги АсКо – УКРЕМ PH-32 (KV1) з фіксованими параметрами спрацювання по напрузі та фіксованим часом автоматичного повторного увімкнення (АПВ) [3];

- реле напруги Volt Control PH-113 (KV2) з регульованими уставками спрацювання по мінімальній та максимальній напрузі та регульованим часом АПВ [4];

- підвищуючий трансформатор (T1), який знаходиться в монтажній коробці для забезпечення належного рівня безпеки при експлуатації стенду;
- вмонтовані в монтажну коробку цифровий вольтметр (PV1) та перемикач (S) на 3 положення;
- однофазна вилка із заземлюючим PE контактом;
- трьох контактний штекер (X2) для підключення мобільного стенду до стаціонарного лабораторного автотрансформатора;
- шина заземлення;
- вивідні клемми (XS1, XS2).

Усі стаціонарні підключення провідників всередині стенду виконані з дотриманням відповідних вимог безпеки. Завдяки використанню дільника напруги із коефіцієнтом $K = 1:10$ при будь-яких налаштуваннях та режимах роботи стенду напруга на вивідних клемниках не перевищує 36 В змінного струму, що забезпечує належний рівень захисту при експлуатації стенду.

Також для наглядності та зручності можливого ремонту стенду передбачена нумерація кожного провідника з обох сторін за допомогою спеціальних маркерів.

Подача живлення на лабораторний стенд та захист від короткого замикання відбувається за допомогою двополюсного автоматичного вимикача Q. Регулювання напруги відбувається за допомогою лабораторного автотрансформатора, вбудованого в стаціонарний трифазний лабораторний стіл, до якого підключається розроблений мною мобільний лабораторний стенд. Для деяких дослідів з реле напруги необхідна напруга більша за максимальну вихідну напругу лабораторного автотрансформатора, тому в стенді встановлений підвищувальний трансформатор із коефіцієнтом трансформації $k \approx 1.5$, здатний підвищувати напругу до 320 В. Сигнальна лампа HL сигналізує про наявність напруги живлення стенду. Цифровий вольтметр V відображає напругу прикладену до аналогового реле напруги PH-32, інше реле напруги PH-113 має свій вмонтований вольтметр, тому при дослідженні даного реле будуть використовуватися показання з цього вольтметра. Для можливості окремого дослідження кожного реле встановлений перемикач S на три положення: положення 1 – дослідження реле напруги PH-32; 2 – дослідження цифрового реле напруги PH-113; 0 – нейтральне положення, в даному положенні жодне з реле не підключене до мережі. Також для зручного підключення осцилографа під час дослідів встановленні спеціальні вивідні клемники.

Процес збірки основи стенду:

- 1) на ДСП-плитах відмічаються місця під отвори для з'єднання основи стенда;
- 2) за допомогою свердлильного верстату та дрилу свердлимо отвори необхідного діаметру;
- 3) свердлом з більшим діаметром знімаємо фаску з отворів для подальшого приховання шляпок конфір-

матів;

4) за допомогою гвинтів-конфірматів з'єднуються всі частини основи. Зовнішній вигляд зібраної основи стенду показано на рис. 3.



Рис. 3. Зібрана основа стенду

Збірка лабораторного стенду для дослідження реле напруги.

1) На основу стенду за допомогою саморізів прикріпили DIN-рейку та монтажні коробки, у верхній монтажній коробці попередньо були зроблені отвори під цифровий вольтметр та перемикач;

2) встановили та закріпили всі електричні прилади та клемники, які будуть використовуватися на стенді;

3) з'єднали всі елементи стенду згідно електричної схеми, паралельно нумеруючи всі провідники за допомогою спеціальних маркерів;

4) після підключення всіх елементів стенду, остаточно перевіряючи правильність з'єднання всіх електричних дротів згідно з електричною схемою перевіряємо наявність та форму напруги на вивідних клемниках при нормальних умовах за допомогою цифрового осцилографа. Включений стенд із під'єднаним осцилографом [5] показано на рис. 4.

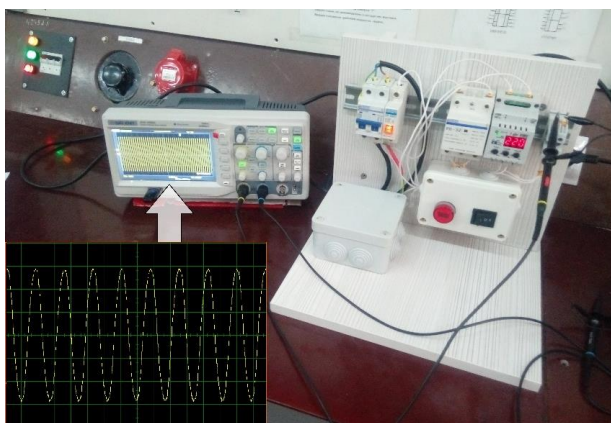


Рис. 4. Включений стенд із під'єднаним осцилографом

Електричні апарати та допоміжні елементи стенду. Список всіх електричних апаратів і допоміжних елементів, а також їх зовнішній вигляд наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Електричні апарати та допоміжні елементи стенду

Найменування	Зовнішній вигляд
Двополюсний автоматичний вимикач АсКо – УКРЕМ ВА-2017-2/25	
Сигнальна лампа АсКо – УКРЕМ СЛ-2001	
Реле напруги АсКо – УКРЕМ РН-32	
Реле напруги Volt Control РН-113	
Монтажні коробки двох видів	
Цифровий вольтметр 30 – 500В	
Перемикач на 3 положення та 2 групи контактів	
DIN-рейка	
Резистори МЛТ 2Вт 90 кОм, 10 кОм	
Клемник	
Клемник РЕ	
Дріт ПВЗ 0.75 мм ²	
Гнучкий кабель з вилкою та штекером	
Спиральна стяжка для дротів	

Методичні вказівки до лабораторної роботи з дослідження реле контролю напруги для захисту побутових споживачів. Для проведення лаборатор-

ної роботи з дослідження однофазних реле напруги для захисту побутових споживачів були складені методичні вказівки, описані стисло нижче. Методичні вказівки включають в себе: титульний лист вказівок, основну частину та два додатки А та Б у яких наведені контрольні запитання за темою лабораторної роботи та правила оформлення звіту про виконання лабораторної роботи. Титульний лист методичних вказівок зображено на рис. 5.

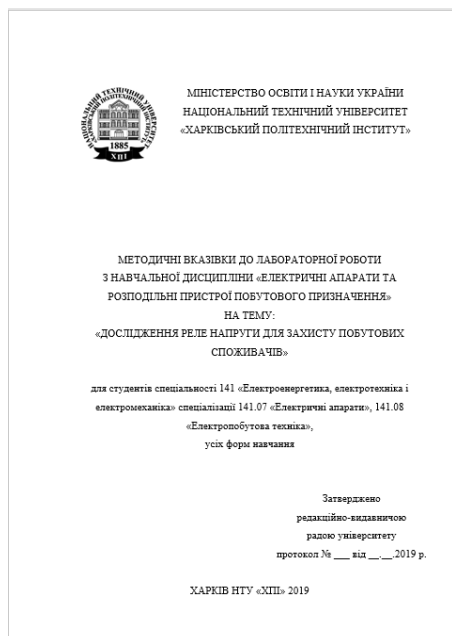


Рис. 5. Титульний лист методичних вказівок

Метою роботи є ознайомлення з призначенням, характеристиками і принципом дії цифрових та аналогових реле напруги. Набуття практичних навичок з підключення та налаштування реле напруги.

Об'єкт дослідження – реле контролю напруги АсКо – УКРЕМ РН-32 та Volt Control РН-113.

Виконання лабораторної роботи складається з роботи студента у лабораторії, а також із самостійної роботи вдома. У методичних вказівках також описані загальні вимоги щодо виконання, оформлення та захисту звітів про виконання лабораторної роботи.

1) Самостійна робота студента передбачає:

- теоретичну підготовку до чергової роботи;
- підготовку відповідей на контрольні запитання, наведених у Додатку А методичних вказівок;
- аналіз результатів дослідів, що виконувалися у лабораторії;
- оформлення звіту про виконання лабораторної роботи.

2) Теоретична підготовка до чергової роботи передбачає:

- проробку розділів теорії, що визначають зміст та методику досліджень;
- проробку методичних вказівок до лабораторної роботи з використанням відомостей з рекомендованої літератури;
- оформлення бланку до звіту про виконання лабораторної роботи.

3) Робота студента у лабораторії передбачає наступні етапи:

- отримання допуску до лабораторної роботи;
- отримання дозволу на ввімкнення лабораторної установки (стенду);
- виконання дій з досліджуванним об'єктом відповідно до методичних вказівок; спостереження за факторами, що впливають на досліджуваний об'єкт; проведення дослідів та запис результатів вимірів;
- захист звітів про виконання лабораторної роботи.

В основну частину методичних вказівок також включено:

– завдання, які студент має виконати на лабораторній роботі;

– порядок виконання роботи, перші 6 пунктів - це самостійна робота з теоретичними знаннями про: норми якості електроенергії, призначення та принцип дії випробовуваних реле напруги, роботу з осцилографом та комп'ютерну програму обробки осцилограм.

Завдяки реалізованим у методичних вказівках гіперактивним посиланням на технічні каталоги та інструкції з експлуатації випробовуваних реле контролю напруги та стандарти з якості електроенергії у мережі Internet, студент не буде втрачати час на пошук місця знаходження даної інформації, та буде краще орієнтуватись у вказаних документах. Ця особливість дасть змогу, самостійно та без перешкод, навчитися працювати з відповідними стандартами та з технічною документацією виробників на відповідне обладнання.

Результати проведення лабораторної роботи з дослідження реле напруги для захисту побутових споживачів.

Нижче наведено результати проведених досліджень реле напруги АсКо – УКРЕМ РН-32.

1) Визначено мінімальну напругу спрацювання реле $U_{min} = 184$ В.

2) Визначено час автоматичного повторного включення (АПВ), при різних значеннях напруги. Результати представлено у вигляді табл. 2.

Таблиця 2 – Результати визначення часу АПВ

U, В	190	200	220	240
t, с	100	97	94	93

3) Визначено максимальну напругу спрацювання реле $U_{max} = 256$ В.

4) Визначено час відключення навантаження (час спрацювання реле - t) при різних швидкостях зростання напруги (ΔU). Залежність визначених величин наведено у табл. 3. та на рис. 7.

Таблиця 3 – Залежність часу відключення реле від швидкості зростання напруги

ΔU , В/с	1,42	25	54
t, с	1,25	0,7	0,65

Дані, наведені у табл. 3, отримані при аналізі відповідних осцилограм відключення, знятих за допомогою цифрового осцилографа при різних швидкостях зростання напруги, у комп'ютерній програмі з оброб-

ки осцилограм «CSV_See». Зовнішній вигляд однієї з осцилограм відключення при неприпустимому підвищенні напруги показано на рис. 6.

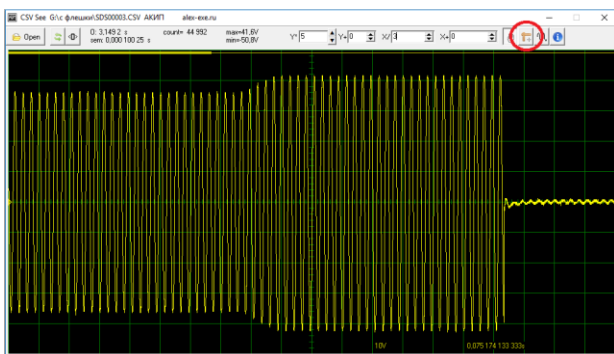


Рис. 6. Осцилограма відключення реле при перевищенні напруги у програмі CSV_See

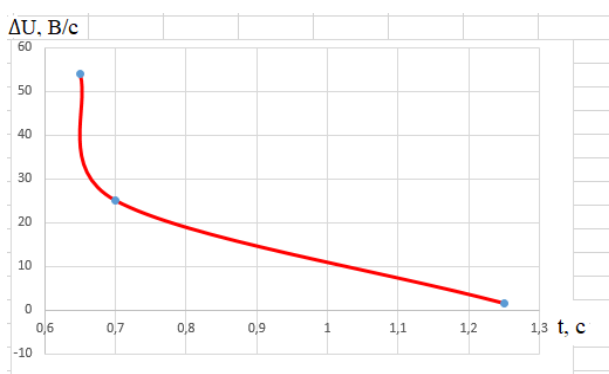


Рис. 7. Графік залежності $\Delta U(t)$ реле РН-32

З графіку на рис. 7 можна зробити висновок, що час спрацювання реле залежить від швидкості зростання напруги. Чим більше величина зростання напруги тим менший час спрацювання реле.

Також на даному стенді є можливість проведення аналогічних дослідів для визначення швидкості відключення навантаження при неприпустимому зниженні напруги. Проведення таких дослідів детально описано в методичних вказівках до лабораторної роботи на даному стенді.

Нижче наведено результати проведених досліджень реле напруги Volt Control РН-113.

1) Перевірено працездатність АПВ. При різних уставках автоматичного повторного включення час АПВ відповідає встановленому значенню, але особливістю даного реле є те, що при коливаннях напруги не систематичного характеру (наприклад комутаційний імпульс) дане реле не змушує користувача чекати поки пройде встановлений час АПВ, а підключає навантаження раніше.

2) Визначено мінімальну напругу відключення U_{\min} при різних мінімальних уставках реле – див. табл. 4.

Таблиця 4 – Мінімальна напруга відключення U_{\min} при різних мінімальних уставках реле

$U_{\text{уст.}}, \text{В}$	160	180	200	220
$U_{\text{спрац.}}, \text{В}$	158	178	198	218

3) Визначено гістерезис при U_{\min} . Результати представлені у табл. 5.

Таблиця 5 – Результати визначення гістерезису при U_{\min}

$U_{\text{уст.}}, \text{В}$	160	180	200	220
$U_{\text{спрац.}}, \text{В}$	163	183	203	223

Різниця між уставкою та фактичною напругою спрацювання реле є величиною гістерезису.

Аналогічним чином визначено максимальну напругу спрацювання при різних уставках $U_{\text{мах}}$. В середньому у даного реле контролю напруги відхилення напруги спрацювання по мінімальній уставці складає 2 В, а по максимальній не перевищує 3 В.

4) Визначено час відключення навантаження при різній швидкості збільшення напруги та швидкість зростання напруги за допомогою комп'ютерної програми «CSV_See» та на основі визначених даних побудований графік залежності часу спрацювання реле (t) від швидкості зростання напруги (ΔU). Залежність визначених величин наведено у табл. 6.

Таблиця 6 – Залежність часу спрацювання від швидкості зростання напруги

$\Delta U, \text{В/с}$	1,78	3	63,3
$t, \text{с}$	0,94	0,92	0,12

За отриманими даними побудовано графік залежності - рис. 8.

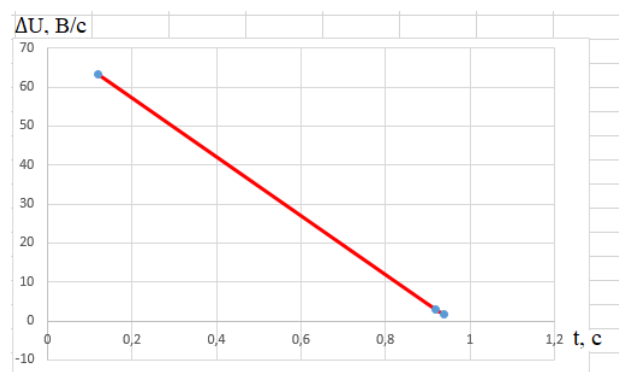


Рис. 8. Графік залежності $\Delta U(t)$ реле РН-113

З графіку можна зробити висновок, що час спрацювання реле залежить від швидкості зростання напруги. Чим більше величина швидкості зростання напруги тим менший час спрацювання реле. При цьому час відключення навантаження від мережі значно менше ніж у аналогічному досліді з реле напруги АсКо – УКРЕМ РН-32. Також були проведені аналогічні досліді для визначення швидкості відключення навантаження при неприпустимому зниженні напруги. Проведення таких дослідів детально описано в методичних вказівках до лабораторної роботи на даному стенді.

Висновки.

1. Розроблено лабораторний стенд для виконання лабораторної роботи з дослідження однофазних реле контролю напруги для захисту побутових споживачів двох видів: аналогового та цифрового.

2. Розроблено методичні вказівки до лабораторної роботи з дослідження однофазних реле контролю напруги для захисту побутових споживачів, що включають в себе: титульний лист вказівок; основну частину методичних вказівок та два додатки у яких наведені контрольні запитання за темою лабораторної роботи та правила оформлення звіту про виконання лабораторної роботи.

3. Встановлено мінімальну та максимальну напругу спрацювання обох випробовуваних реле напруги.

4. Визначено час автоматичного повторного включення (АПВ) обох реле.

5. Визначено гістерезис включення цифрового реле напруги РН-113.

6. Визначено час відключення навантаження обома реле при недопустимих відхиленнях напруги, та побудовано графіки залежності часу відключення від швидкості зростання напруги.

7. Дану роботу впроваджено у навчальний процес кафедри електричних апаратів НТУ «ХПІ» у вигляді лабораторного стенду для проведення лабораторної роботи «Дослідження реле контролю напруги для захисту побутових споживачів» з навчальної дисципліни «Електричні апарати та розподільні пристрої побутового призначення», що покращує якість навчального процесу на кафедрі, завдяки роботі з обладнанням та технічною документацією на практиці.

8. За потреби, на даному лабораторному стенді можуть бути проведені дослідження параметрів спрацювання аналогічних реле контролю напруги інших виробників.

Список літератури

- 1 Чепелюк А.А. К вопросу классификации реле напряжения для защиты бытовых однофазных потребителей от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – 2014. – № 41. - С. 25-36.
- 2 Б.В. Клименко, О.О. Чепелюк, М.Г. Пантелют Сучасна лабораторія – сучасна освіта: докорінне переобладнання навчальної лабораторії кафедри «електричні апарати» НТУ «ХПІ». // Вісник НТУ "ХПІ". 2018. № 1 2019
- 3 Технічна документація на електричні апарати АсКО-УкРЕМ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ielectro.nethouse.ua/static/doc/0000/0000/0335/3352_12.4tqs9zbygo.pdf
- 4 Руководство по эксплуатации Новатек-Электро VOLT-Control PH-113. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://novatek-electro.com/docs/doc_rm-113.pdf
- 5 User Manual SDS1000DL/CNL/CML Series Digital Oscilloscope (Цифровые Запоминающие Осциллографы Модельный ряд SDS1000DL/CNL/CML Инструкция по эксплуатации) [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://odimpex.com/media/content/sds-1000_v_1.0.pdf

References (transliterated)

- 1 Chepeliuk A.A. K voprosu klassyfykatsii rele napriazheniya dlia zashchity bitovikh odnofaznykh potrebytelei ot nedopustymykh otkloneniy napriazheniya v pytaushchej sety // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Problemy udoskonalennia elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriia i praktyka. – 2014. – № 41. - S. 25-36.
- 2 B.V. Klymenko, O.O. Chepelyuk, M.H. Patelyat Suchasna laboratoriya – suchasna osvita: dokorinne pereobladnannya navchal'noyi laboratoriyi kafedry «elektrychni aparaty» NTU «KHPI». // Visnyk NTU "KHPI". 2018. № 1 2019.
- 3 Tekhnichna dokumentatsiya na elektrychni aparaty AsKO-UkREM. [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: https://ielectro.nethouse.ua/static/doc/0000/0000/0335/3352_12.4tqs9zbygo.pdf
- 4 Rukovodstvo po ékspluatatsyy Novatek-Élektro VOLT-Control PH-113. [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: https://novatek-electro.com/docs/doc_rm-113.pdf
- 5 User Manual SDS1000DL/CNL/CML Series Digital Oscilloscope (Tsifrovyye Zapominayushchiye Ostsillografiy Model'nyy ryad SDS1000DL/CNL/CML Instruktziya po ékspluatatsii) [Yelettronnyy resurs]. Rezhim dostupu: https://odimpex.com/media/content/sds-1000_v_1.0.pdf

Поступила (received) 04.09.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the authors

Чепелюк Олександр Олександрович (Чепелюк Александр Александрович, Chepelyuk Oleksandr Oleksandrovych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4522-9821>; e-mail: chep1@i.ua.

Шнейдерович Євгеній Ігорович (Шнейдерович Евгений Игоревич, Shneiderovych Yevgeniy Igorevich) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», магістр, кафедра електричних апаратів; м. Харків, Україна; e-mail: zhendoss56@gmail.com.

Зорін Євгеній Юрійович (Зорин Евгений Юрьевич, Zorin Yevhenii Yur'yevich) – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра електричних апаратів; тел.: (057) 707-68-64; e-mail: yevgeny.zorin@gmail.com.