



Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

**IV Міжнародна науково-технічна
конференція «Енергоефективність
та енергетична безпека
електроенергетичних систем»**

EEES-2020

Збірник наукових праць

10-13 листопада 2020 р.

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка**

Університет Обуда (Угорщина)

Технічний університет у Кошицях (Словаччина)

Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго»

Акціонерне товариство «Харківобленерго»

Публічне акціонерне товариство «Завод Південкабель»

**Харківське регіональне науково-технічне товариство енергетиків
та електротехніків**

**ЗБІРНИК
НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

IV Міжнародної науково-технічної конференції

**«ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ (EEES-2020)»**

**10 - 13 листопада 2020 р.
Україна, Харків**

УДК 621.31
Ч-52

Редакційна колегія:

Бондаренко Р. В., Довгалюк О. М., Кулик О. С.,
Пономаренко С. Г., Шутенко О. В., Яковенко І. С.

IV Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність Ч-52 та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2020)» : Збірник наукових праць. Харків : Друкарня Мадрид, 2020. 149 с.

ISBN 978-617-7988-07-5

До збірника включені наукові доповіді учасників конференції «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2020)».

УДК 621.31

Матеріали збірника публікуються в авторському варіанті без редагування

Видання підготовлено кафедрою передачі електричної енергії
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

61002, Україна, Харків, вул. Кирпичова, 2

ISBN 978-617-7988-07-5

© НТУ «ХПІ», 2020

© ТОВ «Друкарня Мадрид», 2020

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:

Марченко Андрій Петрович – проректор НТУ «ХПІ» з наукової роботи, Заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, академік АН вищої школи України, д.т.н., проф., завідувач кафедри двигунів внутрішнього згоряння, Україна;

Лісачук Георгій Вікторович – завідувач науково-дослідною частиною НТУ «ХПІ», д.т.н., проф., лауреат Державної премії України, заслужений діяч науки і техніки України, Україна;

Томашевський Роман Сергійович – д.т.н, доц., директор навчально-наукового інституту енергетики, електроніки та електромеханіки НТУ «ХПІ», Україна;

Морва Джордж – д.т.н., проф., проф. електротехнічного факультету Університету Обуда, Будапешт, Угорщина;

Колкун Міхал – д.т.н., проф., завідувач кафедри електроенергетики, факультет електротехніки та інформатики Технічного університету у Кошицях, Кошице, Словаччина;

Шевченко Сергій Юрійович – д.т.н., проф., завідувач кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Гриб Олег Герасимович – д.т.н., проф., завідувач кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем НТУ «ХПІ», Україна;

Кєссаєв Олександр Геннадійович – к.т.н., доц., завідувач кафедри електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХПІ», Україна;

Лазуренко Олександр Павлович – к.т.н., доц., проф. НТУ «ХПІ», завідувач кафедри електричних станцій НТУ «ХПІ», Україна;

Гурин Анатолій Григорович – д.т.н., проф., професор кафедри електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХПІ», Україна;

Мірошник Олександр Олександрович – д.т.н., проф., завідувач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту ХНТУСГ, Україна;

Довгалюк Оксана Миколаївна – к.т.н., доц., професор кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Шутенко Олег Володимирович – к.т.н., доц., доцент кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Мороз Олександр Миколайович – д.т.н., проф., директор навчально-наукового інституту енергетики та комп'ютерних технологій ХНТУСГ, Україна;

Золотарьов Володимир Михайлович – д.т.н., проф., генеральний директор ПАТ «Завод Південкабель», Україна;

Антонець Юрій Опанасович – к.т.н., технічний директор ПАТ «Завод Південкабель», Україна;

Ганус Олексій Іванович – к.т.н., доц., технічний директор АТ «Харківобленерго», Україна;

Старков Костянтин Олександрович – к.т.н., доц., заступник начальника виробничо-технічного управління АТ «Харківобленерго», Україна;

Белікова Тетяна Олександрівна – заступник голови Харківського регіонального науково-технічного товариства енергетиків та електротехніків, Україна.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:

Данильченко Дмитро Олексійович – к.т.н., доцент кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Дривецький Станіслав Ігорович – к.т.н., доцент кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Федосєєнко Олена Миколаївна – к.т.н., доцент кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Бондаренко Роман Вікторович – аспірант кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Кулик Олексій Сергійович – аспірант кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Пономаренко Сергій Григорович – аспірант кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Яковенко Іван Сергійович – аспірант кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна.

ЗМІСТ

SMART-GRID TECHNOLOGY, TRANSMISSION OF ELECTRICAL ENERGY IN POWER SUPPLY AND LIGHTING SYSTEMS OF CITIES Abdelrhim O., Hovorov P., Hovorova K., Kindinova A.....	11
SHORTCOMINGS IN THE CALCULATION OF LOSSES AT THE CORONA DISCHARGE Danylchenko D., Morva G., Sobchenko O.....	12
ANALYSIS OF HYDROPOWER PLANTS OPERATION PECULIARITIES IN THE ELECTRIC POWER SYSTEM OF TAJIKISTAN Dovgalyuk O.M., Lazurenko O.P., Saidov Sh.N.....	13
APPLICATION OF DIGSILENT POWERFACTORY SOFTWARE AND COMPUTING COMPLEX FOR RELIABILITY ANALYSIS OF ELECTRICAL NETWORKS Dovgalyuk O.M., Yakovenko I.S.	15
STUDY OF THE ELECTRICAL STRENGTH OF THE INSULATION OF AN OVERVOLTAGE LIMITER Kolkun M., Olubakinde E., Shevchenko S.....	19
FEATURES OF USING IEC 60599 TO DETERMINE THE TYPE OF DEFECT BASED ON THE ANALYSIS OF GASES DISSOLVED IN OIL Kulyk O.S.	21
STABILITY OF TRANSFORMER OILS IN THE ELECTRIC FIELD Ponomarenko S.G.....	23
ANALYSIS OF GENERATION BY PHOTOVOLTAIC PLANTS Rubanenko O., Danylchenko D.	24
METHODS OF SELECTION FOR SURGE ARRESTERS 6-750 KV Shevchenko S., Danylchenko D., Pirotti O., Minakova K.	27
RESEARCH ON CORONA DISCHARGE POWER LOSSES FOR HIGH VOLTAGE ELECTRIC TRANSMISSION LINES Shevchenko S., Dovgalyuk O., Asadov E., Kucherenko I., ...	29
A METHOD OF EARLY DETECTION OF DEFECTS IN HIGH-VOLTAGE OIL-FILLED EQUIPMENT BASED ON ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF CRITERIA USED TO INTERPRET THE DGA RESULTS Shutenko O.V.....	31

INVESTIGATION OF GENERAL OPTIMIZATION CHARACTERISTICS IN BASIC SOLAR COLLECTOR MODEL FOR PVT SYSTEMS Zaitsev R., Minakova K.	34
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ШЛЯХОМ ОЦІНКИ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЇ СПРОМОЖНОСТІ КАБЕЛІВ З ІЗОЛЯЦІЄЮ ІЗ ЗШИТОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ Антонець Т.Ю., Гонтар Ю.Г., Піротті О.Є.	36
ДІАГНОСТИКА ВОДНИХ ТРИНГІВ В СИЛОВИХ КАБЕЛЯХ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІМПУЛЬСНОЇ РЕФЛЕКТОМЕТРІЇ Безпрозванних Г.В., Кессаєв О.Г.	38
ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ БЛОКЧЕЙН В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКУ УКРАЇНИ Березка С.К.	40
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ОБЧИСЛЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЩІЛЬНОСТІ СТРУМУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ Берчук О.О.	41
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ Бондаренко Р.В., Довгалюк О.М., Мірошник К.А., Яковенко І.С.	42
ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ СЛОЮ ЗАБРУДНЕННЯ ТАРИЛЧАСТОГО ІЗОЛЯТОРА Борзенков І.І., Данильченко Д.О., Шевченко С.Ю.	44
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ Бровко К.Ю., Буданов П.Ф., Хом'як Е.А.	47
ЗНИЖЕННЯ ДОДАТКОВИХ ВТРАТ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ Вязніков О.О., Мірошник О.О., Нетеса О.Б., Петков С.В., Резніков П.Є., Сальний О.М.	49
РОЗРОБКА РЕЄСТРАТОРА СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ ДЛЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ Галько С.В., Довгалюк О.М., Жарков А.В., Жарков В.Я.	52
ПІДГОТОВКА АТ «ХАРКІВОБЛЕНЕРГО» ДО ПЕРЕХОДУ НА СТИМУЛЮЮЧЕ ТАРИФОУТВОРЕННЯ Ганус О.І., Старков К.О.	56

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ З ІЗОЛЯЦІЄЮ ІЗ СШИТОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ	
Гонтар Ю.Г., Гузін М.Ю., Довгалюк О.М., Піротті О.Є.	58
ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА КОРОННОГО РОЗРЯДУ	
Гриб О.Г., Дем'яненко Р.І., Карпалюк І.Т., Швець С.В.	60
ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ІЗОЛЯЦІЇ НА ОСНОВІ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ ЕЛАСТОМЕРІВ СИЛОВИХ КАБЕЛІВ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ	
Гринишина М.В.	62
ГРОЗОЗАЩИТА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ	
Данильченко Д.А., Дривецкий С.И., Морва Д., Шевченко С.Ю.	63
ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГРОЗОЗАХИСТУ	
Данильченко Д.О., Дривецкий С.І., Шевченко С.Ю.	68
РОЗРАХУНОК ЙМОВІРНОСТІ ВІДКЛЮЧЕНЬ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ 6-35 КВ ВІД ГРОЗОВОЇ АКТИВНОСТІ	
Данильченко Д.О., Дривецкий С.І., Шевченко С.Ю.	70
ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК НА ПС ОБЛЕНЕРГО УКРАЇНИ	
Данильченко Д.О., Кузнецов Д.С.	72
СИСТЕМА ІНДИВІДУАЛЬНИХ СОНЯЧНИХ СТАНЦІЙ ЯК МАНЕВРУЮЧА ОДИНИЦЯ. ПОШУК ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ	
Данильченко Д.О., Потривай А.Е.	75
РОЗМЕЖУВАННЯ ЗОН ВПЛИВУ БЛИСКАВОК НА ПОВІТРЯНІ ЛІНІЇ	
Данильченко Д.О., Слепченко О.С.	77
ТРИГЕНЕРАЦІЯ ЯК ЗАСІБ БАЛАНСУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ПРИСАДИБНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	
Діордієв О.О., Довгалюк О.М., Жарков А.В.	78
АНАЛІЗ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОДІВ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ	
Довгалюк О.М., Дьяков Є.Д., Сиромятнікова Т.В.	82
АНАЛІЗ ВПЛИВУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ	
Довгалюк О.М., Стріляний І.Ю.	84

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ОБ'ЄКТІВ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ	86
Дишлевський А.В., Куліш Л.О., Трунова І.М.....	
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ	87
Дудніков С.М., Єгоров О.Б., Мороз О.М., Попадченко С.А., Савченко О.А.....	
ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГЕНЕРАТОРОМ НАДКОРОТКИХ ІМПУЛЬСІВ	89
Зайцев Р.В., Кіріченко М.В., Дроздов А.М., Зайцева Л.В.....	
НОВІТНІ ПЛІВКОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ДЕФЕКТІВ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ	92
Зайцева Л.В., Хрипунов Г.С., Зайцев Р.В.....	
ОЦІНКА ПОХИБКИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ В ЗАДАЧІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНКИ ВПЛИВУ ДЖЕРЕЛ СПОТВОРЕННЯ НАПРУГ	94
Калюжний Д.М.....	
МЕТЕОЕНЕРГЕТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯК ЗАСІБ АДАПТАЦІЇ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ В ОБ'ЄДНАНІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ	96
Качанов Є.І., Чернюк А.М.	
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЖИВЛЕННЯ	97
Кирисов І.Г., Черевик Ю.О., Чернюк А.М.....	
ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НЕСИНУСОЇДАЛЬНИХ СПОТВОРЕНЬ НАПРУГИ ЗАСОБАМИ ВАЙВЛЕТ АНАЛІЗУ	98
Коломієць В.О., Мірошник О.О.....	
ФЕРОРЕЗОНАНСНІ ЯВИЩА В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З СОНЯЧНИМИ ТА ВІТРОВИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ	101
Кузнецов В.Г., Мельничук В.А., Тугай І.Ю.....	
ПРОГНОЗУВАННЯ, ДІАГНОСТУВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІЙСЬКОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	102
Кулагін Д.О., Чернецький Б.С.....	
МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ КОТЕДЖНОГО ПОСЕЛЕННЯ	

Кулапін О.В., Махотіло К.В.	104
ОСОБЛИВОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ ВИСОКОВОЛЬТНОГО МАСЛОНАПОВНЕНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ РОЗЧИНЕНИХ В МАСЛІ ГАЗІВ	
Кулик О.С., Шутенко О.В.	106
ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ AL-ZR СПЛАВА ДЛЯ ВЛЗ	
Ломов С.Г.	111
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ ШЛЯХОМ КОМПЕНСАЦІЇ ВИЩИХ ГАРМОНІК	
Лук'яненко С.С., Щербак І.Є.	113
РОЗРАХУНОК ЗАЗЕМЛЮЮЧОГО ПРИСТРОЮ ПІДСТАНЦІЇ 110 КВ ПІВНІЧНОЇ УКРАЇНИ З ВРАХУВАННЯМ ПРИРОДНИХ ЗАЗЕМЛЮВАЧІВ	
Марченко В.С., Федосеєнко О.М.	115
РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РЕЖИМУ ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ В ПРОГРАМІ DIGSILENT POWERFACTORY	
Мірошник О.О., Пазій В.Г., Середа А.І.	117
АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ ЧИЛЛЕР – ФАНКОЙЛ	
Мірошник О.О., Тоберт М.Ю.	119
ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ УШКОДЖЕННЯ ПРИ ЗАМИКАННЯХ НА ЗЕМЛЮ НА КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЯХ 6-10 КВ	
Перепечений В.О.	120
ОЦІНКА ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСФОРМАТОРНИХ МАСЕЛ В СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ З РІЗНИМИ УМОВАМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	
Пономаренко С.Г., Шутенко О.В.	123
ДО ПИТАННЯ РЕЖИМУ НЕЙТРАЛІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ 20 КВ	
Плохих Д.В., Щербак І.Є.	126
ЗАВАДОСТІЙКА КАБЕЛЬНА ІНФРАСТРУКТУРА ЦИФРОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ	
Пушкарь О.А.	128
АНАЛІЗ СЕРЕДНЬОЇ ТРИВАЛОСТІ ДОВГИХ ПЕРЕРВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В СИСТЕМІ	
Трунова І.М., Фенченко С.В.	129

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Тугай Ю.І., Нікішин Д.А. 132

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ПРАКТИК ІТІЛ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ В ОБ'ЄДНАНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ ТА НА ШЛЯХУ ЇХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Хломко С.О. 133

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕМИКАННЯ В ТОНКИХ ПЛІВКАХ ТЕЛУРИДУ КАДМІЮ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАХИСТУ ВІД ЕМІ

Хрипунов М.Г., Кудій Д.А., Зайцев Р.В., Дроздова Г.А. 134

ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМКИ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗМІННИМ СТРУМОМ

Черкашина В.В. 137

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОШУКУ РІШЕНЬ В ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМАХ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Швець С.І., Шутенко О.В. 139

НАКОПИЧУВАЧ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА НАДКОРОТКИХ ІМПУЛЬСІВ

Шкода Д.С., Кіріченко М.В., Дроздов А.М., Зайцев Р.В. 141

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ДЕФЕКТІВ ВИСОКОВОЛЬТНОГО МАСЛОНАПОВНЕНОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ НОМОГРАМ

Шутенко О.В. 144

МЕТОД РАНЬОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВВОДІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ДИНАМІКИ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ В ЧАСІ

Шутенко О.В., Загайнова О.А. 146

UDC 621.314.22.2

SMART-GRID TECHNOLOGY, TRANSMISSION OF ELECTRICAL ENERGY IN POWER SUPPLY AND LIGHTING SYSTEMS OF CITIES

Abdelrhim O., Hovorov P., Hovorova K., Kindinova A.

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine, Kharkiv

Modern power supply and lighting systems in cities are characterized by low operating efficiency, largely due to the low quality of electrical energy and insufficient compensation of reactive power in them. The mutual influence of power supply and lighting systems in cities, as well as the presence of significant voltage deviations and the overflow of additional reactive power in the networks causes an increase in voltage and power losses in them, as well as a decrease in the efficiency of networks and connected consumers, in general. Unfortunately, existing methods and technical means based on them cannot fully solve this problem.

The research carried out made it possible to clarify the nature of the processes in the power supply systems and the lighting systems of cities and to determine the methods and technical means based on the Smart-Grid concept. They are based on the use of phase-shifting booster transformers with an electronic control system. Their use provides the possibility of complex control of the voltage modes of active and reactive power by means of installation at any point in the network and centralized control from a single center. The performed calculations indicate that the use of the developed methods and technical means provides an opportunity to reduce power losses in networks by 10-15% and energy consumption among consumers by 50-75%.

References:

1. Nazarov V.V. The concept of Smart Grid and real power engineering / V. Nazarov // *Energetika I elektrifikacia*. - 2013. - No. 6. - PP. 12-15.
2. Shidlovsky A. K. Improving the quality of energy in electrical networks / A. K. Shidlovsky, V. G. Kuznetsov. - M.: Naukova Dumka, 1985. - 268 p.
3. Golub I.V., Zaitsev D.A., Tyrshu M.S. Modes of a reactive power source controlled by a phase-shifting transformer. - "Problemele energeticii regionale". - No. 2 (37). - 2018. - PP. 62-69.
4. Yasutis A.V. Analysis of the operation of a booster transformer with thyristor control. *Sat. Proceedings of the All-Union. correspondence polytechnic in-that-M.*, 1973. - Iss. 84. - PP. 146-156.
5. Govorov F.P. Modes of operation and features of electromagnetic processes of a booster transformer with thyristor control: Dis. Candidate of Technical Sciences: 05.09.01 L, 1983. - 229 p.

UDC 621.31

SHORTCOMINGS IN THE CALCULATION OF LOSSES AT THE CORONA DISCHARGE

Danylchenko D.¹, Morva G.², Sobchenko O.¹¹ *National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine, Kharkiv*² *Obuda University, Hungary, Budapest*

A corona discharge is a self-contained rosette, which is a winery in rather uneven fields, in some kind of ionization processes there can be seen only in the university region near the electrodes. Prior to this kind of fields, there is an electric field of wires in power lines. The crown becomes an interest in the connection with energy losses during the coronation of LEP. For example, on the lines of the above-high pressure to waste energy during the coronation of power lines in bad weather, store 100 ... 200 kW per kilometer of the line and more. In addition, the products of the ionization of power are directed to the isolation and metal fittings.

The link to the problem of the accuracy of the corona discharge at the current hour of the general polling station and the reduction of losses at the power transmission lines is more illuminated. When designing transmission lines use the calculated dependences of energy losses at the corona. A common formula for calculating corona losses at AC voltage is the empirical Peak formula for a single wire:

$$P = \frac{24,1}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r_0}{S}} (U_\phi - U_K)^2 10^{-5}, \quad (1)$$

where δ – relative air density; f – frequency, Hz; r_0 – radius of a single wire, cm; S – the distance between the wires, cm; U_ϕ – the current value of the phase voltage, kV; U_K – corona voltage, kV.

Split lines in phases are used on ultra-high voltage power lines. Myra's formula is used to determine corona losses for split wires:

$$P_K = knfr_0^2 E_3 (E_3 - E_K) (2,3lg \frac{1350E_3}{fr_0} - 1) \cdot 10^{-5}, \quad (2)$$

where n – the number of wires in phase; f – frequency, Hz; r_0 – radius of a single wire, cm; E_K – the intensity of the crown, kV/s; E_3 – equivalent tension, kV/cm; k – weather ratio.

The disadvantage of Myra's formula is that all the variety of weather conditions is reduced to two weather groups: «good» weather ($k = 44$; $E_k = 17$ kV/cm) and «bad» weather ($k = 31,5$; $E_k = 11$ kV/cm).

Considering the popular formulas for calculating the corona discharge, it is obvious that the formulas have shortcomings and this is why they need adjustments to obtain more accurate values of the corona discharge.

References:

1. Техника высоких напряжений / И.М. Богатенков, Ю.Н. Бочаров, Н.И. Гумерова, Г.М. Иманов и др.; под ред. Г.С. Кучинского. – СПб.: Энергоатомиздат, 2003. – 608 с.
2. Техника высоких напряжений / под ред. Д.В. Разевига. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.

UDC 621.31

ANALYSIS OF HYDROPOWER PLANTS OPERATION PECULIARITIES IN THE ELECTRIC POWER SYSTEM OF TAJIKISTAN

Dovgalyuk O.M., Lazurenko O.P., Saidov Sh.N.

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, Kharkiv

An analysis of global energy trends shows that energy security, reliability of supply, energy efficiency and environmental friendliness are major factors in its development. Under these conditions, the role of hydropower, which uses renewable, environmentally friendly hydropower resources, will increase. Hydropower is the most technologically mastered method of generating electricity, which is widely used around the world and is a guaranteed energy resource. Today, hydroelectric power plants (HPPs) operate in 159 countries and generate 16.3% of the world's electricity. Hydropower provides the most efficient process for generating electricity with low operating costs and a long operating life [1].

Tajikistan has the world's eighth-largest reserves of hydropower, of which it currently uses less than 5% (about 16-17 billion kWh out of a potential 527 billion kWh). The country's electricity supply is mainly provided by electricity generated by HPPs. The capacity of Tajikistan's power system is 5757 MW, with HPPs accounting for 87.6% of the total installed capacity. The share of thermal power plants is 718 MW, i.e. only about 12.4% [2].

The main hydropower potential of the region is concentrated in the Vakhsh and Panj river basins. The largest HPPs in the Tajikistan are Nurek, Baypazin, Sangtuda-1

and Sangtuda-2. The Vakhsh and Varzob HPPs cascades are operating successfully. A distinctive feature of Tajikistan's energy sector is the enormous hydropower potential of small rivers, which number over 947 rivers with a total length of 28,000 km. The development of small hydropower will contribute to the decentralisation of the energy system, which will make it possible to solve the problems of energy supply in hard-to-reach rural areas and solve a set of their economic, environmental and social problems.

The main advantage of using HPPs as a source of generation is the low cost of electricity produced, due to both low operating costs and the low consumption of electricity for own needs.

HPPs have operational features that have a significant impact on power system regimes. HPPs are highly manoeuvrable, capable of operating in peak load schedules, responding quickly to sudden power imbalances, and providing load reserves in the power system. HPPs are characterised by considerable uncertainty in their planned energy balances, due to the poor predictability and high variability of hydrological conditions, which makes it very difficult to predict the amount of electricity generation from such sources.

Controlling the operating regime of a power system involving HPPs requires the constant solution of optimisation problems with a large number of parameters considered under conditions of uncertainty. The operation of HPPs in the peak and semi-peak part of the load schedule is characterised by frequent changes in the regime requirements on power generation and the need for constant adaptation of the operating mode to new conditions. In such environments, the search for optimal control options requires consideration of a large number of third-party factors such as: operational reliability, efficiency, electricity quality, power system requirements, etc. These constraints greatly complicate the search for optimal operating conditions for HPPs and also introduce uncertainty in their mode control issues.

An important feature of power system operation involving HPPs is that most HPPs can be involved in two control systems at the same time:

- the first of these is the energy sector and is involved in the task of determining the value of generation and consumption capacity;
- the second is water-related and has a significant constraint imposed by water consumers, which significantly changes the requirements for the planning of hydropower generation at the HPPs.

The management of HPPs regimes under severe water constraints leads to additional difficulties. Particularly for the Tajikistan energy system, all of the HPPs capacity is concentrated on the Vakhsh River, which leads to the need to consider the flow relatedness of the HPPs capacity output modes when forming their optimal operation modes.

In addition, the capacity of the Nurek HPP, which has an annual (seasonal) regulation reservoir, is 80% of the capacity of the entire Vakhsh cascade. This dominance leads to the fact that water flows received by other HPPs in the cascade, which

have reservoirs that are usually daily regulated, are mainly determined by the transit flow of the Nurek HPP. With this ratio, the regulating capacity of these HPPs in the energy system is extremely small.

Therefore, in winter, the limited flow of water in the rivers results in a electricity deficit in covering the load demand. Thus, at present, the magnitude of this winter deficit for the Tajikistan energy system is 2 - 4 billion kWh [2]. The Tajikistan energy system has a surplus of 3 to 7.5 billion kWh of electricity in summer, depending on the water availability of the year. Due to the isolated operation of Tajikistan's energy system, this surplus is not exported to neighbouring countries, so huge amounts of water are wasted.

Due to the aforementioned characteristics of HPPs operation, there are a number of peculiarities in the operation of the Tajikistan energy system, which includes a large number of such generating sources. As HPPs are currently the only renewable energy source in Tajikistan's energy system capable of generating electricity on an industrial scale, there is a need to make the best possible use of their hydrological potential. In order to achieve this objective, it is necessary to clearly plan electricity generation, optimise planned electrical and hydraulic regimes, and solve the issue of correct control of the power system, incorporating both stand-alone and cascade operation of HPPs.

References:

1. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України: аналітична доповідь / О. М. Суходоля, А. А. Сидоренко, С. В. Бегун, А. А. Білуха. – К.: НІСД, 2014. – 112 с.
2. Ministry of Energy and Water Resources of the Republic of Tajikistan. Electricity and Energy System. [Electronic resource]. - Access mode: https://www.mewr.tj/?page_id=552.

UDC 621.311

APPLICATION OF DIGSILENT POWERFACTORY SOFTWARE AND COMPUTING COMPLEX FOR RELIABILITY ANALYSIS OF ELECTRICAL NETWORKS

Dovgalyuk O.M., Yakovenko I.S.

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, Kharkiv

The reliability of any power supply company and the quality of the power supply to consumers depend on the technical condition of the equipment that ensures the transmission of electrical energy. Every year, the percentage of equipment in the world that has a working life that is reaching the end of its useful life increases, but it

is not always possible to renew it. In this connection, the energy industry faces the task of assessing the technical condition of power network equipment and determining the composition of equipment that requires repair and modernisation in the first place. In order to effectively solve this task, it is necessary to analyse the reliability of electricity networks, which is an important and actual task.

A large number of software packages such as Energy CS, RastrWin, PSS®E, EUROSTAG, NEPLAN, DIgSILENT PowerFactory and others are used to carry out studies to calculate and analyse the reliability of electrical networks worldwide [1]. Comparison of the results of calculations indicates different accuracy and simplification, which are used in the algorithms of these software and computing complexes [2].

Today, the software and computing complex DIgSILENT PowerFactory is actively used for research, as it is the most accurate and makes it possible to determine 15 reliability indicators for electrical networks and load units [3], among which: SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), CAIFI (Customer Average Interruption Frequency Index), SAIDI (System Average Interruption Duration Index), CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index), ASAI (Average Service Availability Index), ASUI (Average Service Unavailability Index), ENS (Energy Not Supplied), AENS (Average Energy Not Supplied), ACCI (Average Customer Curtailment Index), EIC (Expected Interruption Cost), IEAR (Interrupted Energy Assessment Rate), SES (System energy shed), ASIFI (Average System Interruption Frequency Index), ASIDI (Average System Interruption Duration Index), MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index). The advantages of the software and computing complex DIgSILENT PowerFactory include a user-friendly interface and presentation of the calculation results (Fig. 1).

The reliability analysis in this software and computing complex is based on the following parameters: failure frequency, repair duration and frequency of unstable damage. The reliability indicators are defined using analytical and statistical expressions according to [4], the expressions for reliability indicators calculation and their main characteristics are presented in Table 1.

In Table 1 C_i – number of consumers powered by the i -th load node; A_i – number of users of the i -th load node affected by a power outage; Fr_k – frequency of emergency situation k ; pr_k – probability of occurrence of an emergency situation k ; C – number of customers; A – number of consumers affected by a power outage; L_m – total deenergized connected capacity (kVA), for each power interruption m ; r_m – the duration of each interruption of power supply, m ; L_T – total serviced connected capacity (kVA); i – load node index; Pd_i – average weighted cut-off power; Ps_i – weighted average power dissipated at the load node i ; $LPEIC_{i,k}$ – average cost of power outages for load node i and emergency situation k ; k – emergency index; $frac_{i,k}$ – share of deenergized load in the i -th load node in the k -th emergency situation.

Table 1 - Main criteria for reliability calculation using the DIgSILENT PowerFactory software and computing complex

System reliability indicators			Indicators of frequency and duration of power supply to the load node		
Criterion	Formula	Dimension	Criterion	Formula	Dimension
SAIFI	$\frac{\sum ACIF_i \cdot C_i}{\sum C_i}$	1/C/a	ACIF _i	$\sum_k Fr_k \cdot frac_{i,k}$	1/a
CAIFI	$\frac{\sum ACIF_i \cdot C_i}{\sum A_i}$	1/A/a	ACIT _i	$\sum_k Pr_k \cdot frac_{i,k}$	h/a
ASIFI	$\frac{\sum L_m}{L_T}$	1/a	LPIF _i	$ACIF_i \cdot C_i$	1/a
SAIDI	$\frac{\sum ACIT_i \cdot C_i}{\sum C_i}$	h/Ca	LPIT _i	$ACIT_i \cdot C_i$	h/a
CAIDI	$\frac{SAIDI}{SAIFI}$	h	AID _i	$\frac{ACIT_i}{ACIF_i}$	relative units
ASIDI	$\frac{\sum(r_m \cdot L_m)}{L_T}$	h/a	Energy indicators for the reliability of the load nodes		
ASAI	$1 - ASUI$	relative units	LPENS _i	$ACIT_i \cdot (\widehat{Pd}_i + \widehat{Ps}_i)$	MWh/a
ASUI	$\frac{\sum ACIT_i \cdot C_i}{8760 \cdot \sum C_i}$	relative units	LPES _i	$ACIT_i \cdot \widehat{Ps}_i$	MWh/a
MAIFI	$\frac{\sum IM_i \cdot N_{mi}}{\sum N_{mi}}$	1/Ca			
Energy indicators for system reliability					
ENS	$\sum LPENS_i$	MWh/a	AENS	$\frac{ENS}{\sum C_i}$	MWh/Ca
SES	$\sum LPES_i$	MWh/a	ACCI	$\frac{ENS}{\sum A_i}$	MWh/Ca
Costs of interruptions in power supply to the load node			Costs of interruptions to the power supply to the system		
LPEIC _i	$\sum LPEIC_{i,k}$	\$/a	EIC	$\sum LPEIC_i$	M\$/a
			IEAR	$\frac{EIC}{ENS}$	\$/kWh

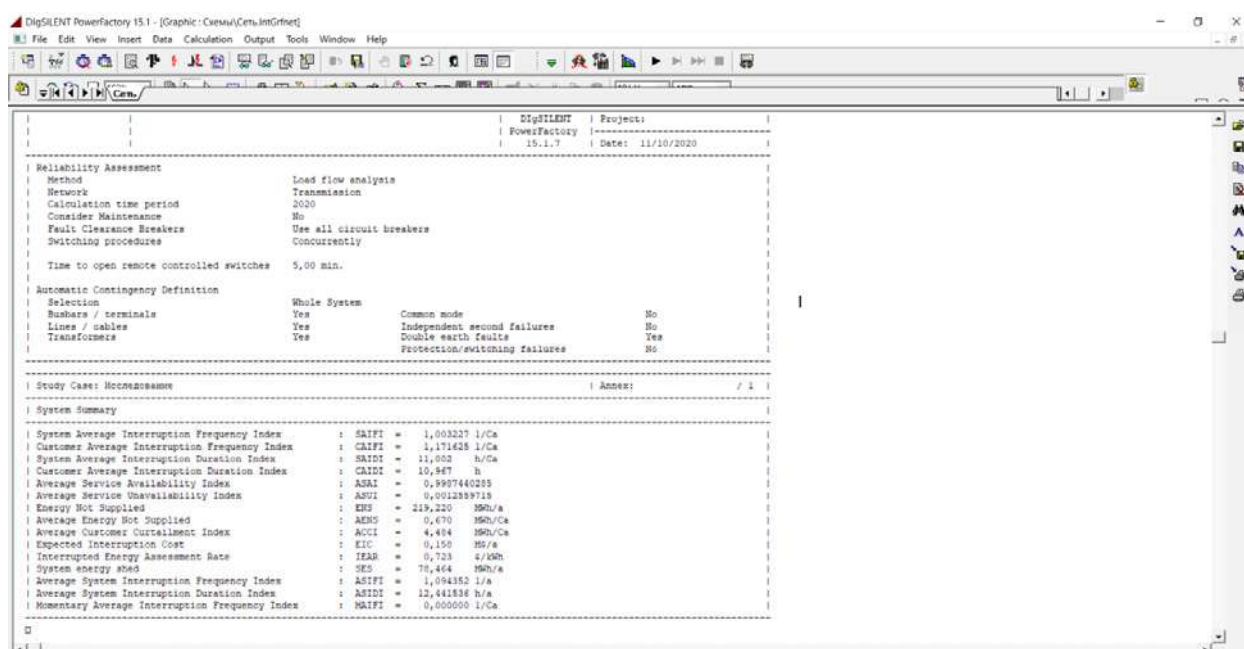


Figure 1 - Presentation of the results of reliability indicators calculation using the DIgSILENT PowerFactory software and computing complex

Thus, the using of the DIgSILENT PowerFactory software and computing complex for calculating reliability indicators for electrical systems makes it possible to analyse the state of the power system under consideration as a whole and its individual elements with high precision in order to solve practical problems of the current state and forecast development prospects.

References:

1. Bezkochnyi P.I., Dovgalyuk O.M., Privalov Yu.L., Yakovenko I.S., "Modern Means Of Electric Networks And Systems Modes Calculation", Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2019), Харків, с. 12-14, 2019.
2. Mokoka O. K. P., Awodele K. O., "Reliability Evaluation of distribution networks using NEPLAN & DIgSILENT power factory," 2013 Africon, Pointe-Aux-Piments, 2013, pp. 1-5, doi: 10.1109/AFRCON.2013.6757621.
3. DIgSILENT PowerFactory, User Manual. – Gomarigen, Germany. – 2018. – 1253 p.
4. Verkhovna Rada of Ukraine, "Forms of reporting on the electricity supply quality and instructions on how to fill them out," Verkhovna Rada of Ukraine, Legislation of Ukraine, 2018. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0374874-18#n18>.

UDC 621.315

STUDY OF THE ELECTRICAL STRENGTH OF THE INSULATION OF AN OVERVOLTAGE LIMITER**Kolkun M.¹, Olubakinde E.², Shevchenko S.²**¹ *University of Technology in Kosice, Slovakia, Kosice*² *National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, Kharkiv*

Based on an analysis of literature sources and the requirements of GOST, electrical strength studies (50% discharge voltage) were chosen as the main tests determining the electrical characteristics of insulation of overvoltage limiters when applying alternating voltages of industrial frequency and impulse voltages characteristic of atmospheric overvoltages, as well as one-minute withstand voltages of industrial frequency. Normative documents do not provide for tests at application of voltage of switching overvoltages for classes of nominal voltages of 6-10 kV. Tests of the electrical strength of insulation were conducted in the laboratory of "High Voltage Equipment and New Types of Equipment" at the Department of "Transmission of Electrical Energy" of the National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute".

Overvoltage arresters of various series and their simulations were used for experiments. The surge arrester mockup is an exact replica of the insulation design of the surge arrester (insulation is a solid dielectric) made on technological equipment for manufacturing surge arresters. The difference between a molded and an overvoltage arrester was that the first one had no non-linear resistor, i.e. the molded is a supporting insulator.

For each dummy (corresponding to a specific series of overvoltage arresters) 5 series of tests were carried out to determine the 50% discharge voltage. Each series consisted of 50 voltage applications to the object. In addition, tests were carried out to determine the electrical strength of the rod-spacing simulating the air gap between the overvoltage arrester electrodes (literature sources recommend using this type of gap when testing electrical apparatus). The results are shown in Fig. 1.

The results of the experiments carried out show that the electrical strength of the surge arrester moldings is greater than the air gap between the rod and the stem. This fact can be explained by the presence in the design of the surge arresters and their templates of contacts in the form of metal cylinders, which are buried in the body of the insulator. In the process of developing a discharge on the surface of a dry, clean insulator, the electrical field strength near the electrode to which the voltage is applied plays an essential role. The higher the degree of heterogeneity of the electric field, the lower

the voltage for the breakdown of the gap. The main means of increasing the breakdown voltage is to level out the distribution of voltage along the length of the gap. In our case, the alignment of this field is achieved by the fact that the contacts of the surge arresters and their moldings, in the form of cylinders, are located partially in the body of the insulator. This effect is well known from literature sources.

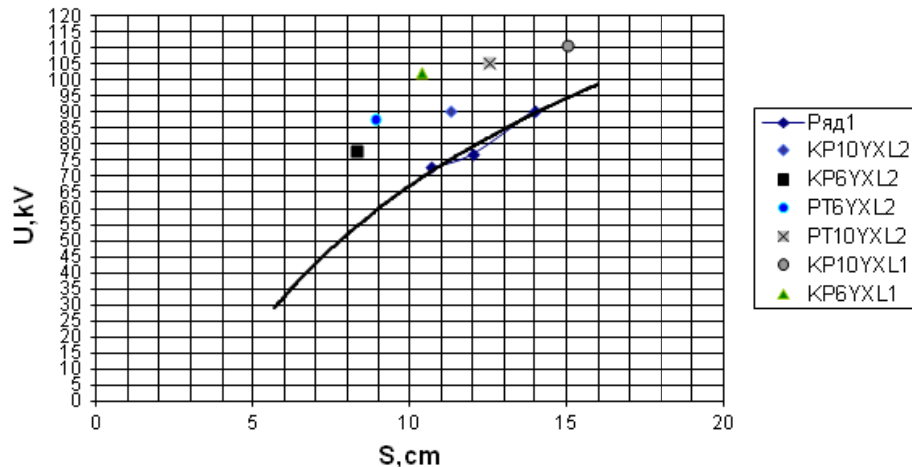


Figure 1 – Thunderstorm overvoltage limiter test results

In addition to experiments with dummies, experiments were carried out with overvoltage limiters in the assembly. During the experiments, the lightning impulse voltage was applied to one contact of the overvoltage limiter and the other was grounded. Thunderstorm overvoltage impulses were delivered to the test object at equal intervals (approximately every 25 seconds). Voltage levels were changed in stages starting with the voltage which, according to GOST 1516-97, insulators of the corresponding rated voltage must withstand. The maximum voltage applied to the test object was 400 kV. During the tests carried out for all modifications of overvoltage arresters, no insulation overlapping of the overvoltage arrester was recorded. The magnitude of the remaining voltage varied depending on the number of pulses applied. This change can be explained by the fact that when an overvoltage pulse flows through a non-linear resistor, its temperature rises, resulting in a change in the nominal parameters of the overvoltage arrester, in particular its resistance.

Based on the results of these studies, it can be concluded that an overvoltage arrester cannot be considered an insulator when exposed to atmospheric overvoltage pulses. It should be noted as a conclusion:

1. The electrical strength of the insulation of moldings when applying the voltage of lightning overvoltages is significantly higher than that required for rated voltage classes 6 and 10 kV.

2. Tests of overvoltage arresters when applying voltage to thunderstorm surges have shown that it is not possible to obtain a discharge on the insulation surface of the overvoltage arrester even if the voltage increases significantly relative to the nominal voltage.

3. When an overvoltage limiter is installed in complete switchgears and in open switchgears, the distances in the light recommended by the rules for the installation of electrical installations for insulation structures of these classes of rated voltages (6 and 10 kV) may be adjusted downward at the connection points of the overvoltage limiter.

UDC 621.314.212

FEATURES OF USING IEC 60599 TO DETERMINE THE TYPE OF DEFECT BASED ON THE ANALYSIS OF GASES DISSOLVED IN OIL

Kulyk O.S.

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine, Kharkiv

Dissolved and free gas analysis (DGA) is one of the most widely used diagnostic tools for detecting and evaluating faults in electrical equipment filled with insulating liquid. However, interpretation of DGA results is often complex and should always be done with care, involving experienced insulation maintenance personnel [1].

IEC 60599 is a methodology for interpreting DGA results, which is an international standard developed by the International Electrotechnical Commission. This methodology uses the ratios of concentrations of characteristic gas pairs given in Table 1 to identify the type of defect by the DGA results.

Table 1 - Interpretation of DGA results according to IEC 60599 standard

Case	Characteristic fault	C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6
PD	Partial discharges	NS	<0,1	<0,2
D1	Discharges of low energy	>1	0,1-0,5	>1
D2	Discharges of high energy	0,6-2,5	0,1-1	>2
T1	Thermal fault $t < 300^\circ C$	NS	>1, but NS	<1
T2	Thermal fault $300^\circ C < t < 700^\circ C$	<0,1	>1	1-4
T3	Thermal fault $t > 700^\circ C$	<0,2	>1	>4

NOTE: NS – Non-significant whatever the value.

There is also a note with the following text in this standard: combinations of gas ratios that fall outside the range limits of Table 1 and do not correspond to a characteristic fault of this table can be considered a mixture of faults, or new faults that combine with a high background gas level. In such a case, Table 1 cannot provide a diagnosis, but the graphical representations given in Annex B can be used to visualize which characteristic fault of Table 1 is closest to the case. [1]. Annex B of this standard presents graphical diagnostic methods, namely two - and three-dimensional diagrams of Dornenburg and Duval triangles – No. 1 for transformers, bushings and cables and No. 2 for OLTCs. Among these graphical methods, it is the Dornenburg diagrams (Figure 1) that will be considered, since the coordinates of each zone are the same as in Table 1.

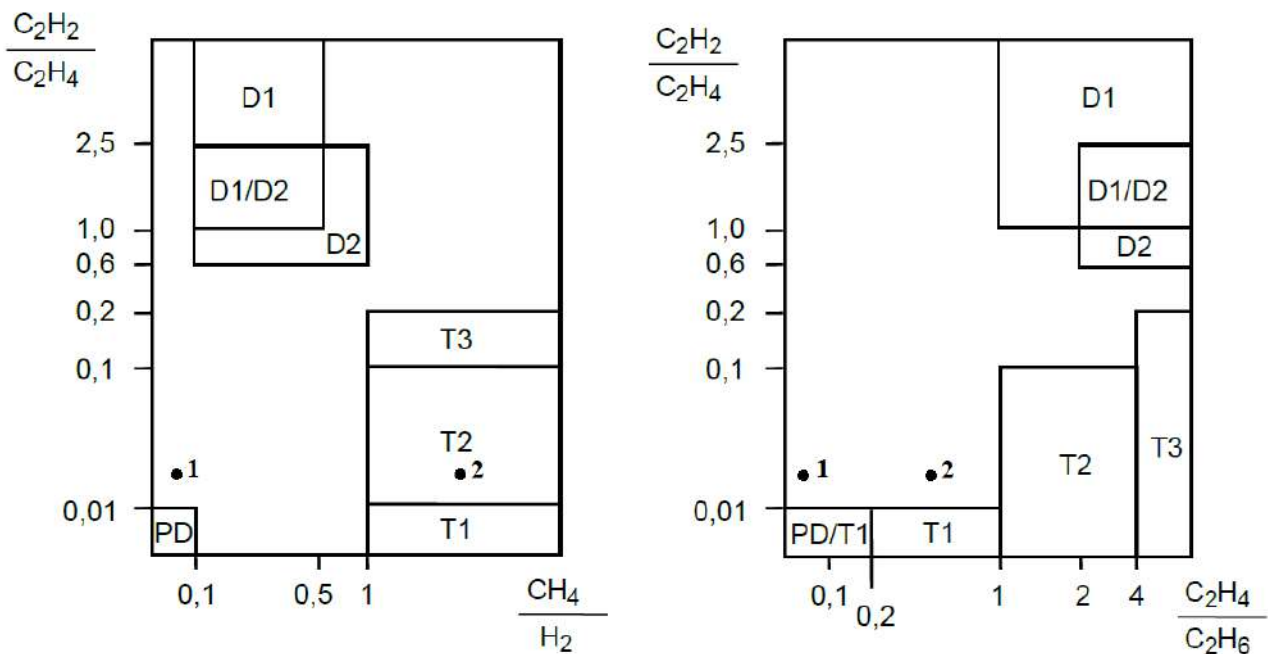


Figure 1 – Graphical representation of gas ratios based on the recommendations of IEC 60599 (Dornenburg 2D diagram)

By comparing the values of the gas ratios given in Table 1 and the figure, it is easy to see that there is an inconsistency for the two zones. Namely, for the partial discharge zone (PD) and for the low temperature defect zone (T1), according to the table, the value of the C_2H_2/C_2H_4 ratio is not characteristic. That is, for the diagnosis of partial discharges and low-temperature defects, only two gas ratios are sufficient. However, if, for example, these defects are diagnosed using gas ratio values and then displayed graphically (points 1 and 2 in the figure), the result will be two different

diagnoses. From Figure 1, it can be seen that points 1 and 2 correspond to the recognition rejection because they did not fall into any of the zones. But looking at Table 1, it can be seen that point 1 corresponds to the diagnosis "PD", and point 2 corresponds to "T1". A similar situation can be seen in the three-dimensional diagram of Dornenburg.

This example illustrates the need to refine the graphical representation of gas ratios based on the recommendations of IEC 60599, namely the two - and three-dimensional diagram of Dornenburg.

References:

1. IEC 60599—Mineral Oil-Impregnated Electrical Equipment in Service – Guide to the Interpretation of Dissolved and Free Gases Analysis; International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland, 2015.

UDC 621.315.615.2

STABILITY OF TRANSFORMER OILS IN THE ELECTRIC FIELD

Ponomarenko S.G.

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine, Kharkiv

A distinctive feature of transformer oils as compared to other types of oils is their exposure to an electric field at relatively low temperatures. It is not yet sufficient to have data on their dielectric characteristics to assess the performance of transformer oils in equipment. For example, the values of short-term electrical strength of oils cannot be directly used in the development of equipment, as it is not always possible to assess the extent to which the electrical strength of the oil affects the electrical strength of the entire insulation of the transformer. The data about $\tan \alpha$ and ε_r oils are of indirect interest from the designer's point of view and can only be useful when considering the nature of changes in these indicators depending on stress, temperature and other conditions. Therefore, it is very important when developing requirements for transformer oils to take into account the types of impacts that occur in practice. From this point of view, information on the behaviour of oils under prolonged exposure to an electric field of such intensity as is typical for transformers is of interest.

For the modern structure of transformers, the tendency to increase the operating voltages to 500, 750 kV and higher is obvious, which leads to the need to strengthen the longitudinal and main coil and interwinding insulation. The weight and dimensional limits of transformers imposed by their transport capacity lead to a re-

duction in insulation spaces. The last one is related to the narrowing of the oil channels and therefore the increase in the electrical field constriction in them. The electric field thus becomes an important factor in the ageing of oil, the effects of which can manifest themselves in various forms.

The nature of the changes induced by an electric field can be of both a physical and chemical nature. The former include those that are ultimately characterized by a lack of effect, i.e. when an electric field is removed, the oil fully restores its original properties. In other conditions, under the influence of the field, irreversible transformations of hydrocarbon and other molecules of transformer oil take place, which can be considered as the result of chemical influences.

UDC 621.31

ANALYSIS OF GENERATION BY PHOTOVOLTAIC PLANTS

Rubanenko O.¹, Danylchenko D.²

¹ *University of West Bohemia, Czech Republic, Pilsen*

² *National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine, Kharkiv*

According to the International Renewable Energy Agency IRENA [1] (Fig.1), the rate of increase in the installed capacity of renewable energy sources, including non-guaranteed ones, has been noted. In the normative document SOU-N EE 40.1-00100227-101: 2014 "Standards of technological design of power systems and electrical networks of 35 kV and above" under the power plant of unguaranteed capacity means a power plant that uses unstable natural energy, resulting in a limited opportunity or completely is not able to adjust its capacity in accordance with the set daily schedule. The requirements for wind and solar power plants in their operation in parallel with the unified energy system of Ukraine state that wind farms and power plants are considered to be unsecured power plants under certain weather conditions (there is a possibility to stop issuing their active capacity to the network 3-5 m/s, and for solar power station with solar radiation $<200 \text{ W/m}^2$). Therefore, the task of studying the instability of photovoltaic power station generation depending on meteorological factors is relevant [2, 3].

For analyses power generation we used artificial neural networks (ANN). When forming the sample of training data, only those hourly data were taken into account when the station generates electricity (of 45002 datasets):

- Output: the hourly value of RES electricity generation;
- Inputs: $G_{b(i)}$: solar (direct) irradiation on an inclined plane (W/m^2); $G_{d(i)}$ – diffuse irradiation on an inclined plane (W/m^2); $G_{r(i)}$ – reflected radiation on an inclined

plane (W/m^2); H_{sun} – height of the sun (degrees); $T_{2\text{m}}$ – air temperature at a height of 2 m (degrees Celsius); $WS_{10\text{m}}$ – total wind speed 10 m (m/s).

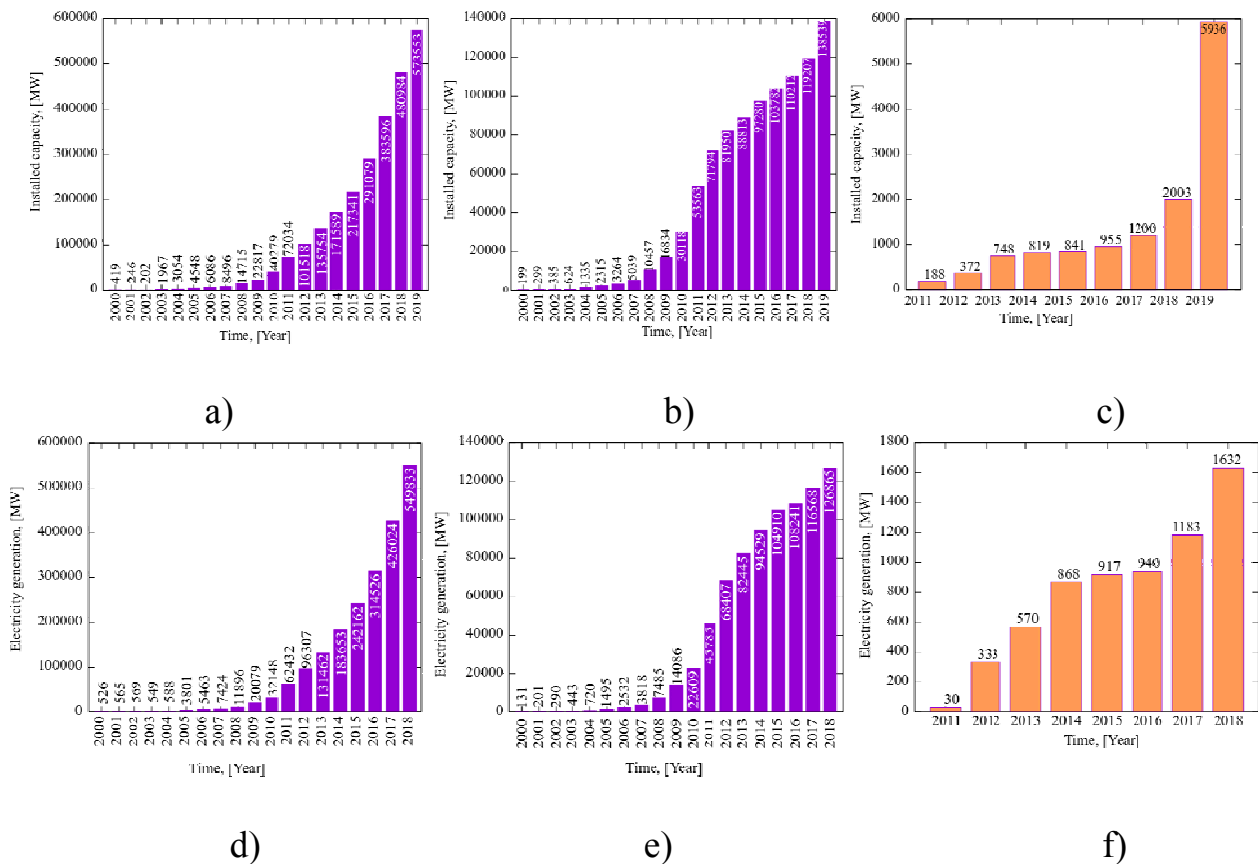
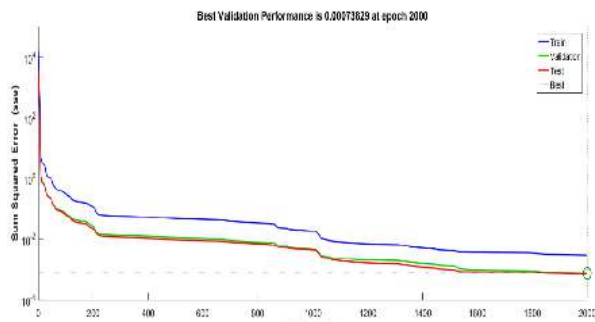
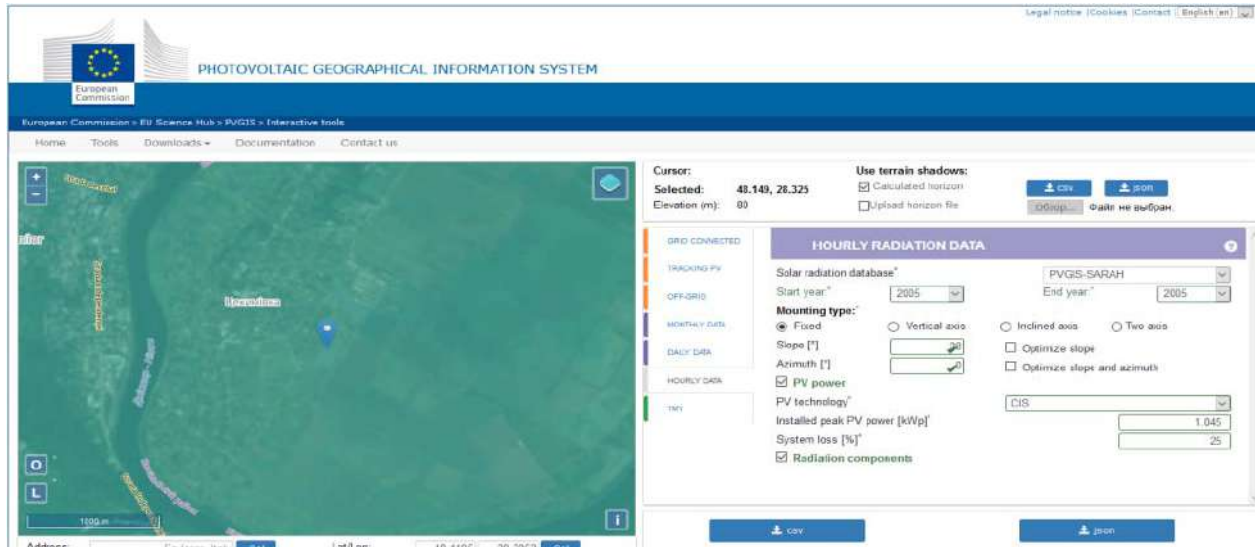
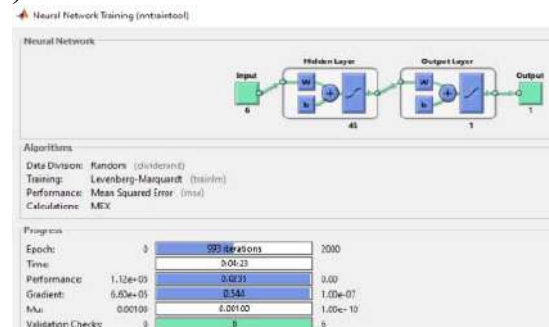


Figure 1 – Installed capacity solar power plants in World a); Europe b); Ukraine c); and electricity generation by solar power plants in World d); Europe e); Ukraine f).

We took data from European Commission Photovoltaic Geographical Information System (Fig. 2 a)). After analyzing the data for the 2013-2015 years PVPS (photovoltaic power station) "Tsekinivska-2" 4-5 queues, a training set was formed to create an ANN. For this purpose, the MATLAB is used, namely the module for the creation of ANN - Neural Networks Toolbox. The package includes more than 160 different functions that allow you to create, train and explore neural networks. The results is shown Fig. 2 b) and c).



a)



c)

Figure 2 – Hourly meteorological data from European Commission Photovoltaic Geographical Information System for PVPS "Tsekinivska-2" 4-5 a); Results learning ANN for determination power generation depend on meteorological factors b) and c).

Conclusions. The created artificial neural network allows to determine the generation of RES depending on the change of meteorological factors and can be usage for predict power generation.

Reference:

1. IRENA. [Online]. – Available: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Regional-Trends>
2. G. Sree Lakshmi, O. Rubanenko, and I. Hunko, "Renewable Energy Generation and Impacts on E-Mobility," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1457, p. 012009, 2020/01 2020.
3. O. Rubanenko and V. Yanovych, "Analysis of instability generation of Photovoltaic power station," in *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, 2020, pp. 128-133.

UDC 621.31

METHODS OF SELECTION FOR SURGE ARRESTERS 6-750 KV

Shevchenko S., Danylchenko D., Pirotti O., Minakova K.

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

In work we focuses on the correct choice of equipment overvoltage protection devices using a surge arrester. Regulatory documents on the selection of surge arresters in different countries and the methods recommended by leading manufacturers of surge arresters are considered. The main parameters for the selection of surge arresters are considered. The main parameter of the surge arrester is considered in detail - the maximum long-term permissible operating voltage. Special attention is paid to the selection of surge arresters for switching and lightning overvoltage. The choice of an overvoltage arrester based on the explosion hazard condition and mechanical characteristics is also considered.

Overvoltage protection of 6-750 kV electrical installations has an important role in the operation of electric power facilities. Currently, the main method of protecting electrical equipment from overvoltage in electrical networks 6-750 kV is the use of nonlinear surge arresters (SA).

Currently, the use of OPN regulated by the following documents:

1. In Ukraine:

- SOU-N EE 40.12-00100227-47 "Non-linear surge arresters with voltage 110-750 kV. Guidelines for selection and application" [1];
- SOU-N MEV 40.1 "Non-linear overvoltage limiters with voltage of 6-35 kV. Guidelines for selection and use in distribution facilities" [2].

2. In Russia:

- "Guidelines for the use of limiters in 110-750 kV electrical networks" [3];
- "Guidelines for the use of non-linear overvoltage limiters in 6-35 kV electrical networks" [4]

3. The international standards:

- IEC 60099-5 Surge arresters. Part 5. Recommendations for selection and application [5].

4. The development of manufacturing companies:

- "Guidelines for the selection of non-linear surge arresters manufactured by the company" Tavrida Electric "for electrical networks 6-35 kV" [6];

"Hinrichsen Volker." Siemens. Metal oxide limiters. Fundamentals [7].

- Selection, testing and application of metal oxide surge arresters in medium voltage networks. - Kyiv: ABB Ukraine Representative Office [8].

- Exlim. Technical information. Guide to the selection of high-voltage surge arresters manufactured by ABB [9].

- Characteristics, selection and placement of surge arresters (110-220) kV: Textbook / G.M. Imanov, F.H. Khalilov, A.I. Tadzhibaev. - St. Petersburg: PEIPK Mintopenergo RF, 1997 [10].

The main task when choosing SA is to limit overvoltages to a safe level for the protected electrical equipment and at the same time ensure the resistance of the arresters to dangerous types of overvoltages. SA for electrical networks of 6-750 kV, presented on the Ukrainian market, are produced by various factories (both domestic and foreign) based on their own technical solutions, therefore, arresters of various manufacturers designed for one voltage class may differ in characteristics, which must be considered when choosing them.

Electric networks of Ukraine 6-35 kV operate mainly with an isolated or grounded through an arc-quenching reactor neutral, therefore the operating conditions of SA in these networks differ from the operating conditions in 110-750 kV networks by large values and durations of switching and quasi-stationary overvoltages. In this regard, a review of the methods for selecting the main characteristics of SA will be carried out for two types of networks: 6-35 kV and 110 - 750 kV.

References:

1. SOU-N EE 40.12-00100227-47: 2011 Non-linear overvoltage limiters with a voltage of 110-750 kV. Guidelines for selection and application.
2. SOU-N MEV 40.1 Non-linear surge arresters with voltage 6-35 kV. Guidelines for selection and use in distribution systems
3. Guidelines for the use of surge arresters in 110–750 kV electrical networks. Approved by the Department of Development Strategy and Scientific and Technical Policy of RAO UES of Russia on September 30, 1999. - M.: "S. PRINT", 2000. - 68 p.
4. Guidelines for the use of nonlinear surge arresters in electrical networks 6-35 kV. Approved by the Department of Development Strategy and Scientific and Technical Policy of RAO UES of Russia on April 27, 2001. - M.: "S. PRINT", 2001. - 73 p.
5. IEC 60099-5: 2000 Surge arresters. Part 5. Recommendations for selection and application.
6. Methodical instructions on the choice of non-linear surge arresters manufactured by Tavrida Electric Ukraine for 6-35 kV electrical networks. Approved by the order of the State Department of Electricity of the Ministry of Fuel and Energy of Ukraine dated 02.08.2001 № 4. - Sevastopol: Research Center "ECOSI-Hydrophysics", 2002. - 40 p.

7. Hinrichsen Volker. Siemens. Metal oxide restraints. The basics. - AO Siemens, 2000. - 111 p.
8. Selection, testing and application of metal oxide surge arresters in medium voltage networks. - Kiev: Representative office of ABB Ukraine. - 52 p.
9. Exlim. Technical information. Selection guide for high voltage surge arresters from ABB. - ZAO ABB UETM, 1996. - 24 p.
10. Characteristics, selection and placement of surge arresters (110-220) kV: textbook / GM Imanov, F. Kh. Khalilov, AI Tadjibaev. - St. Petersburg: PEIPK of the Ministry of Fuel and Energy of the Russian Federation, 1997 - 42 p.

UDC 621.31

RESEARCH ON CORONA DISCHARGE POWER LOSSES FOR HIGH VOLTAGE ELECTRIC TRANSMISSION LINES

Shevchenko S., Dovgalyuk O., Asadov E., Kucherenko I.,

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, Kharkiv

Electrical energy losses are an integral part of the transmission of electrical energy from generating stations to consumer locations. The magnitude of these losses determines the efficiency of both the electrical networks and the power system as a whole. Part of the total losses of electrical energy are the corona discharge power losses of electric transmission lines (ETLs), which relate to technical losses. That is why their research and the development of economically viable measures to reduce their size is one of the important tasks of any country's energy industry.

The magnitude of electric energy losses in networks is not systematic, although statistical monitoring suggests that they are within a certain range of values under certain conditions of energy system operation. Investigations have shown that technical electricity losses are in the range of 3.5-6.5% in the energy systems of countries such as Finland, Germany, Austria, Denmark and others, not exceeding 8.5% for the UK, Greece, Italy, Sweden and up to 15% in Estonia, Bulgaria, Hungary. For Ukrainian electrical networks, the rate is as high as 12%, while for trunk and interstate networks the technical losses during the last five years have been 3.2 - 3.5% [1]. In the structure of technical losses, the value of corona power losses is about 5%.

Power losses due to the corona effect of high voltage transmission lines manifest themselves as dissipation of heat, light, sound, air ionisation, chemical effects (formation of ozone and nitrogen oxides in the air) and high frequency radiation (radio interference from the corona). Their value is determined by the work of the electric field forces in moving the ions generated by the corona discharge near the surface of the

wires in the air. If the field strength in the outer zone of the corona discharge increases, the work of the field forces increases and the value of the corona power loss increases.

It should be noted that the magnitude of corona discharge power losses depends on many factors (mode of electric network operation, network voltage level, technical condition of equipment, power line conductor radius, number of wires in a phase, distance between wires, climatic conditions, etc.), the character of which changes are random, therefore, it is quite difficult to predict them. However, despite its complexity and multifactorial character, the task of investigating corona power losses requires a full-fledged investigation.

At present, various methods are used to determine the value of corona discharge power losses, based on the results of long-term research of experimental and operating ETLs. A review of methods for calculating corona discharge power losses leads to the conclusion that all current approaches to determining the magnitude of corona discharge power losses are approximate, since it is not possible to accurately account for all factors and determine the current weather type along the ETLs [2]. Also, all methods use reasonable lists of estimations and allowances to facilitate the process of obtaining calculation results. Among the most widely used methods are corona specific power-loss calculations, which are based on the application of averaged measurements of the corona loss relationship to the parameters to be investigated. Their use requires justification, depending on the available input data and the purpose of the calculation.

Analysis of investigations carried out on the operation of high voltage ETLs has shown that maximum corona power losses are characteristic of higher voltages on high voltage transmission lines when they are weakly loaded, as well as in bad weather. For example, a voltage increase of 5% at low transmission line load results in an increase in corona power losses of up to 30%. During rainfall, corona power losses for 330 kV transmission lines increase by a factor of 10 compared to losses during good weather, for 500 kV transmission lines the increase is 12 times and for 750 kV transmission lines it is 13 times. During frosty weather, there is a maximum corona power loss, which for 330 kV transmission lines increases 2-3 times compared to losses in good weather, for 500 kV transmission lines the increase is 25 times, and for 750 kV transmission lines it is 21 times.

It should be noted that deteriorating weather conditions, in which an increase in corona power losses occurs, are observed over 20% of the total lifetime of ETLs during the year. Under such conditions, more than 80% of the total corona power losses in ETLs take place.

In order to ensure the efficient operation of power systems, it is necessary to develop and implement economically and technically feasible measures to reduce power losses to a minimum, including corona discharge power losses. The main measures to reduce corona discharge power losses in long-distance electrical networks include: increasing the diameter of overhead line wires; increasing the number

of wires in a phase during splitting; adjusting the voltage mode to the value of corona losses; changing the wire surface; changing the wire material and its structure; applying special coatings to the outer surface of the wire and others.

Analysis of experience with the listed measures in electrical networks shows that the most commonly used ones are increasing the number of wires in a phase when splitting and applying special coatings to the outer surface of the wire. The use of on-line voltage regulation based on current real-time measurements of corona losses in wires, which is costly but very promising with respect to the potential for improving network efficiency, is also being actively pursued.

Thus, the investigation of the value of corona discharge power losses of ETLs is necessary for the development and implementation of organizational and technical measures aimed at reducing power losses, which is an important practical task, the solution of which will contribute to improving the efficiency of electrical networks in Ukraine.

References:

1. National Energy Company "Ukrenergo". Official website. [Online]. Available: <https://ua.energy/>.
2. Alibašić E. A New Approach to Calculating Electrical Energy Losses on Power Lines with a New Improved Three-Mode Method / E. Alibašić, B. Fažo, I. Petrović // Tehnički Vjesnik. - 2019. - Vol. 26 (2). - PP. 405-411

UDC 621.314.212

A METHOD OF EARLY DETECTION OF DEFECTS IN HIGH-VOLTAGE OIL-FILLED EQUIPMENT BASED ON ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF CRITERIA USED TO INTERPRET THE DGA RESULTS

Shutenko O.V.

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

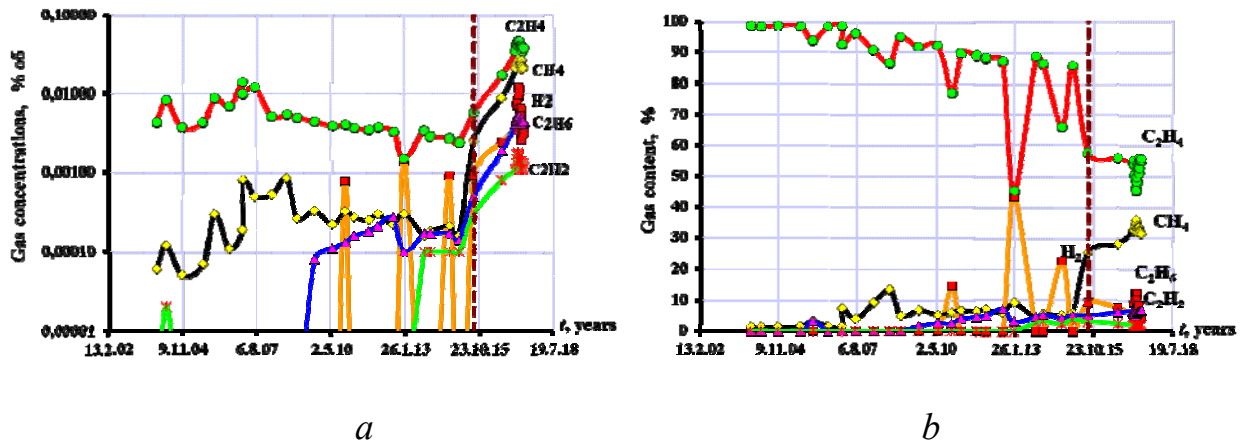
At present, the following criteria are used to diagnose the condition of high-voltage oil-filled equipment based on the results of the analysis of gases dissolved in oil (DGA): values of gas concentrations, values of gas growth rates, values of gas ratios, values of gas percentages, and values of gas-to-gas ratios with maximum content. The first two criteria are used to detect a defect and the last three criteria are used to recognise the type of defect. It should be noted that only the numerical values of the listed criteria are analysed in the diagnostic process, without taking into account the nature of their change over time. This makes it impossible to detect devel-

oping defects at an early stage when the numerical values of the criteria are within the range of permissible values. At the same time, the studies carried out show that the occurrence of a defect in oil-filled equipment of a non tight design leads not only to changes in the numerical values of these criteria, but also to a significant change in the nature of their change over time.

In particular, if there is no defect in high voltage power transformers of non tight design [1], the dependence of gas concentrations, gas build-up rates and gas ratios is random stochastic. Graphical images based on the DGA results of defect-free equipment also change randomly. Random nature of changes in time, diagnostic criteria used to interpret the results of chromatographic analysis of gases dissolved in oil, in normally functioning transformers, is due to both the processes of diffusion of gases from oil into the atmosphere and the peculiarities of gas formation in the presence of free oxygen. In the case of emergency actions on the network side, a short-term predominance of a systematic component over a random component is observed depending on gas concentrations and gas growth rates [2, 3]. At the same time, the ratio values of gas pairs are temporarily stabilised in the area of the characteristic energy impact level, which is the consequence of this emergency mode. There is also a short-term stabilization of graphical defect images, in which the images obtained coincide with the images of defects characteristic of this level of energy impact.

The development of the defect in power transformers [3, 4] is characterised by the appearance of a significant systematic component in the dependencies of gas concentrations on the operating time, the appearance of a significant systematic component in the dependencies of integral values of gas growth rates on the operating time, and the stabilization of the ratio values of gas pairs and graphical images of defects in the area typical for this type of defect. Moreover, as shown in [5], when the defect develops, the percentage of gases is also stabilised at a certain level corresponding to the defect of this type. In other words, the criteria used to detect the defect have a non-stationary nature depending on the operating time. At the same time, the values of the criteria used for the detection of the type of defect are stabilised in the area strictly related to the type of defect.

Identified changes in the nature of the time dependencies of these diagnostic features take place even before the concentration of at least one of the gases exceeds the limit values (Fig. 1), i.e. it is possible to detect defects early both in periodic and continuous monitoring of the gas content.



a – value of gas concentrations; *b* – gas percentage;

Figure 1 – Dynamics of gas content in transformer oil with 40 MVA and 110 kV, where high-temperature overheating with temperatures above 700°C were detected

References:

1. Шутенко О.В. Анализ динамики изменения критериев используемых для интерпретации результатов ХАРГ в бездефектных высоковольтных трансформаторах негерметичного исполнения /О.В. Шутенко// Электротехника та електроенергетика. – Запоріжжя – 2017– № 2. – С. 74–83.
2. Shutenko O.V. Analysis of the causes of gassing in the power transformer, based on a study of correlations between dissolved in oil gases. / O.V. Shutenko, D.N. Baklay, T.A. Ostrikova, N.Y. Melnik // Lighting Engineering and Power Engineering. – 2012. – №. 3. – pp. 72-81./
3. Шутенко О.В. Особенности динамики изменения критериев используемых для интерпретации результатов ХАРГ в силовых трансформаторах с разными типами дефектов / О.В. Шутенко // Новое в Российской электроэнергетике – Москва. – 2017. – № 9. – С. 30-49;
4. Shutenko Oleg. Method for Detection of Developing Defects in High-Voltage Power Transformers by Results of the Analysis of Dissolved Oil Gases /Oleg Shutenko // Acta Electrotechnica et Informatica. – 2018. – Vol. 18. – №. 1. – pp 11– 8; DOI: 10.15546/aei-2018-0002.
5. Shutenko Oleg. Faults diagnostics of high-voltage equipment based on the analysis of the dynamics of changing of the content of gases / Oleg Shutenko // Energetika– 2018. – Vol. 64. – №. 1 – pp 11-22. DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v64i1.3724>.

UDC 621.311.48

INVESTIGATION OF GENERAL OPTIMIZATION CHARACTERISTICS IN BASIC SOLAR COLLECTOR MODEL FOR PVT SYSTEMS

Zaitsev R., Minakova K.

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

The structure of the general model of heat transfer of the solar collector is offered in the research [1] and the most important parameters of heat transfer processes are considered, such as coefficient of thermal convection of water, water flow rate and water flow capacity, which are mainly determined by system parameters and liquid consumption. In this model, it is proposed to take into account the turbulence of the fluid flow, to choose the most efficient mode of fluid flow, and hence the fluid flow rate for heat transfer. The methods of increasing the amount of heat removed from the surface of the solar collector coming to it due to the total solar energy, as well as optimization methods for different temperature gradients are briefly presented. The analysis of the results shows that the methods of increasing the efficiency of heat removal from the surface, which corresponds to the achievement of the maximum removed power, strongly depend on the fluid flow rate and the temperature gradient. The optimal values of the temperature gradient are determined on the basis of the analysis of the liquid flow rate and the value of the drained power.

The generation of thermal energy from solar is of great interest among researchers. The electrical efficiency of solar cells is low, so most of the incident sunlight is lost in the form of heat. The temperature of the solar cell increases due to this heat, which leads to a decrease η of the photovoltaic system. Therefore, the removal of thermal energy arising and associated with the solar cell is necessary to achieve maximum efficiency. Creating combined photovoltaic–thermal system (PVT), which converts incident radiation into electricity and heat at the same time, is gaining popularity [2]. PV surface cooling with water as coolant, the system can be significantly improved [3]:

$$\eta = \eta_0 [1 - \beta_0 (T_c - T_0)], \quad (1)$$

where η_0 – solar efficiency at standard test conditions (STC), β_0 – temperature coefficient of efficiency (1/K), T_c and T_0 – solar cell and coolant temperatures (K), respectively. The coolant in the PVT system is then used to heat the water in the secondary circuit and its further use in domestic needs [4]. Modern humanity are accustomed to the presence of hot water in the home and PVT cooling system satisfies the need for

electricity and hot water simultaneously.

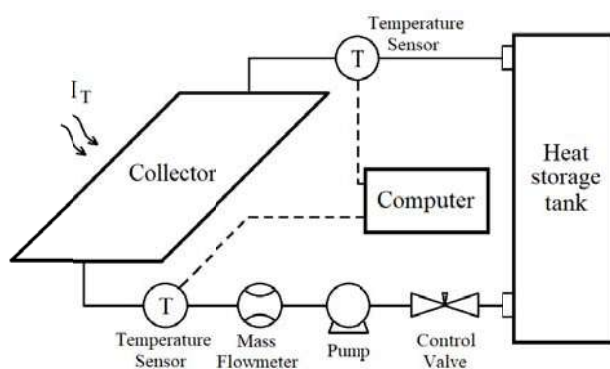
However, the lack of a good consistent model is an obstacle to the widespread optimization of such systems. And the creation of such a generalized model for taking into account all the necessary parameters is an urgent task to this day.

For example, earlier in [5] efforts were made to create a model for adsorption cooling: innovative adsorbing materials and heat pipes were applied, the specific heat removal capacity was improved, and an efficiency equal to 0.39. The numerical modeling and optimization carried out in [6] allowed us to obtain typical values for the efficiency of about 0.15, that is not consistent with the experimental results. Also conducted experimental studies of two-stage systems [7], various different cycles (e.g. continuous heat recovery, mass recovery, heat wave, cascade effect), in [8, 9] calculated value for efficiency of such systems close to 0.5.

Further research, like previous ones, considering the disparate experimental results and described them as a private physical models not working in general [10]. Therefore, the aim of this work was to propose the basis of a general model of heat exchange of the solar collector, which allows us to take into account all the necessary parameters, including parameters for the development of PVT systems.



a)



b)

Figure 1 – A fragment of the solar collector for testing the model (a) and scheme of the measuring stand (b) [1]

References:

1. Minakova K.A., Zaitsev R.V. Improving the Solar Collector Base Model for PVT System // Journal of Nano- and Electronic Physics – 2020. V. 12, № 4. – 04028. DOI: 10.21272/jnep.12(4).04028

2. A.L. Abdullah, S. Misha, N. Tamaldin, et. al., Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, 48(2), 196 (2018).
3. C. Good, J. Chen, Y. Dai, A.G. Hestnes, Energy Procedia, 70, 683 (2015).
4. Y. Tian, C.Y. Zhao, Appl. Energy 104, 538 (2013).
5. J.K. Patel, N. Mehta, J. Dabhi, Materialstoday: Proceedings, 4(9), 10278 (2017).
6. N.M. Khattab, Solar Energy, 80(7), 823 (2006).
7. B.B. Saha, A. Akisawa, T. Kashiwagi, Renewable Energy, 23(1), 93 (2001).
8. R.Z. Wang, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 5(1), 1 (2001).
9. M.J. Tierney, Renewable Energy, 32(2), 183 (2007).
10. A.A. Hasan, D.Y. Goswami, Journal of Solar Energy Engineering, 125(1), 55 (2003).

УДК 621.315.2

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ШЛЯХОМ ОЦІНКИ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЇ СПРОМОЖНОСТІ КАБЕЛІВ З ІЗОЛЯЦІЄЮ ІЗ ЗШИТОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ

Антонець Т.Ю.¹, Гонтар Ю.Г.², Піротті О.Є.²

¹ ПАТ «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ», Україна, м. Харків

² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, м. Харків

Будь-який споживач, який експлуатує електричні мережі напругою 6-10 кВ і вище, використовує силові кабелі. Кабельні лінії мають величезну перевагу перед повітряними лініями, вони безпечніші, надійніші і зручніші в експлуатації. Кабельні лінії меншою мірою, ніж повітряні, схильні до небезпечних і електромагнітних впливів, створюваних автоматикою і телемеханікою різних ліній електропередачі та контактними мережами електричних залізниць.

В даний час кабелі з паперовою ізоляцією активно заміщуються кабелями з ізоляцією із зшитого поліетилену. Силові кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену знаходять широке застосування в системах розподілу електричної енергії всіх класів напруги [1]. Тенденція переходу від кабелів з паперовою просоченою ізоляцією до кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену обумовлена тим, що зростають вимоги експлуатуючих організацій до технічних параметрів кабелів. Тому, цікавими є завдання підвищення енергоефективності існуючих і проєктованих систем передачі електричної енергії з урахуванням безпечних умов експлуатації.

На довговічність і надійність кабельної лінії впливає спосіб прокладки кабелю під землею, який визначається проектом кабельної лінії. Способи прокладки кабельних ліній під землею вибирають в залежності від величини і розміщення електричних навантажень, щільності забудови, компонування електротехнічних приміщень, наявності технологічних та транспортних комунікацій, параметрів і розташування джерел живлення, наявності ґрунтових вод, ступеня агресивності ґрунтів, забруднення навколишнього середовища.

При розподілі електричної енергії в більшості випадків внутрішній простір підземних мереж використовується неефективно і в ряді випадків не відповідає правилам безпечної експлуатації. При прокладці і експлуатації кабельних ліній під землею виникає необхідність визначення відпрацьованого ресурсу кабелів з урахуванням дії експлуатаційних факторів. Відпрацьований ресурс кабельних ліній відповідно до [3-5] визначається тепловими режимами їх роботи, що залежать від конструкційного виконання кабельних ліній і кабельних споруд, умов теплообміну, теплофізичних характеристик застосовуваних матеріалів, а також від значення протікаючого номінального струму.

Від вибору конструкційного виконання кабельної споруди, кількості кабельних ліній в ній, умов експлуатації залежать теплові режими роботи силових кабелів, які в свою чергу будуть впливати на пропускну спроможність всіх кабельних ліній.

Пропускна спроможність кабелю визначається моделями і середніми параметрами оточуючого середовища, прийнятими в нормативній документації, але надає загальну інформацію про нагрівання кабеля. Ці дані можуть бути корисні лише для порівняння пропускну спроможності кабелів одного типу. Для інноваційних конструкцій кабелю та для конкретних умов експлуатації необхідно визначати пропускну спроможність кабелю за тепловими обмеженнями [2].

Через високу теплоємності ґрунту температура струмопровідної жили в кабелі, прокладеному в землі, зростає значно повільніше, ніж для кабелю, прокладеного на повітрі. Тому для кабелю, прокладеного в землі, протягом обмеженого часу можливе збільшення струмового навантаження в порівнянні з тривало допустимим. При цьому в режимі перевантаження температура ізоляції, прилеглої до жили, зростає суттєво швидше, ніж температура ізоляції, прилеглої до екрану.

При короткочасних перевантаженнях необхідно експериментально визначати динаміку нагрівання жили, оцінювати реальну перевантажувальну спроможність кабелів з ізоляцією зі зшитого поліетилену, крім цього, вкрай важливо враховувати різні способи прокладки фаз. Для цього насамперед необхідно розроби-

ти розрахункову модель, розробити метод неруйнівного контролю та оцінки перервантасувальної спроможності кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену.

Список використаних джерел:

1. Карпушенко В.П., Щепенюк Л.А., Антоненць Ю.О., Науменко О.А. Силові кабелі низької та середньої напруги. Конструювання, технологія, якість. Х.: Регіон-інформ, 2000. – 376 с.
2. Щепенюк Л.А., Антоненць Т.Ю. До визначення пропускної спроможності високовольтних силових кабелів з пластмасовою ізоляцією // Вісник НТУ «ХП». – 2011. - №3. – С. 152-157.
3. Ларина Э.Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 464 с.
4. Антоненць Т.Ю., Веприк Ю.М., Щепенюк Л.А. Дослідження нагрівання силових кабелів із зшитою поліетиленовою ізоляцією на напругу до 110 кВ // Електротехніка і Електромеханіка. – 2015. - №6. – С. 43-46.
5. Золотарев В.М. Конструкции и электрическое поле кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена / В.М. Золотарев, В.П. Карпушенко, А.Г. Гурин, Ю.А. Антоненць, В.В. Золотарев, А.А. Науменко. – Х.: Майдан, 2014. – 188 с.

УДК 621.315.2

ДІАГНОСТИКА ВОДНИХ ТРИНГІВ В СИЛОВИХ КАБЕЛЯХ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІМПУЛЬСНОЇ РЕФЛЕКТОМЕТРІЇ

Безпрозваних Г.В., Кессаєв О.Г.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Імпульсна рефлектометрія в часовій області широко застосовується для пошуку різного роду дефектів в коаксіальних радіочастотних та оптичних кабелях. Зокрема, в коаксіальних радіочастотних кабелях з досить високою точністю діагностується потрапляння вологи всередину кабелю. Суть методу полягає в посиленні імпульсу напруги з швидким часом наростання в силовий кабель, що має імпеданс. При розповсюдженні по кабелю імпульсної напруги певної форми і частоти спостерігається відбиття напруги від неоднорідності і спотворення форми сигналу, яка вимірюється високошвидкісним осцилографом. Останнім часом цей метод починає адаптуватися стосовно до силових кабелів для вияв-

лення водних триінгів. Водні триінгі являють собою локальні зосереджені неоднорідності в структурі поліетиленової зшитої ізоляції з імпедансом, що відрізняється від імпедансу основної частини ізоляції кабелю. Ці неоднорідності призводять до локальних концентрації електричного поля в ізоляції, зменшенню опору ізоляції, зростання ємності та тангенса кута діелектричних втрат $\tan\delta$.

На підставі чисельного моделювання процесу розповсюдження прямокутного імпульсу тривалістю 40 нс (область I, рисунок 1) при підключенні силового кабелю АПВГ-1х95 /16 - 35 кВ довжиною 1 м до імпульсного джерела ерс в узгодженому режимі виконано аналіз впливу на форму імпульсної напруги параметрів водного триінга у вигляді зосередженого дефекту з відповідними електрофізичними характеристиками. За результатами вимірювання на частоті 1 МГц електричних параметрів кабелю визначено імпеданс кабелю для забезпечення узгодженого режиму роботи силової кабельної лінії, що виключає появу додаткових відбитих хвиль (область II, рисунок 1), які впливають на форму імпульсу.

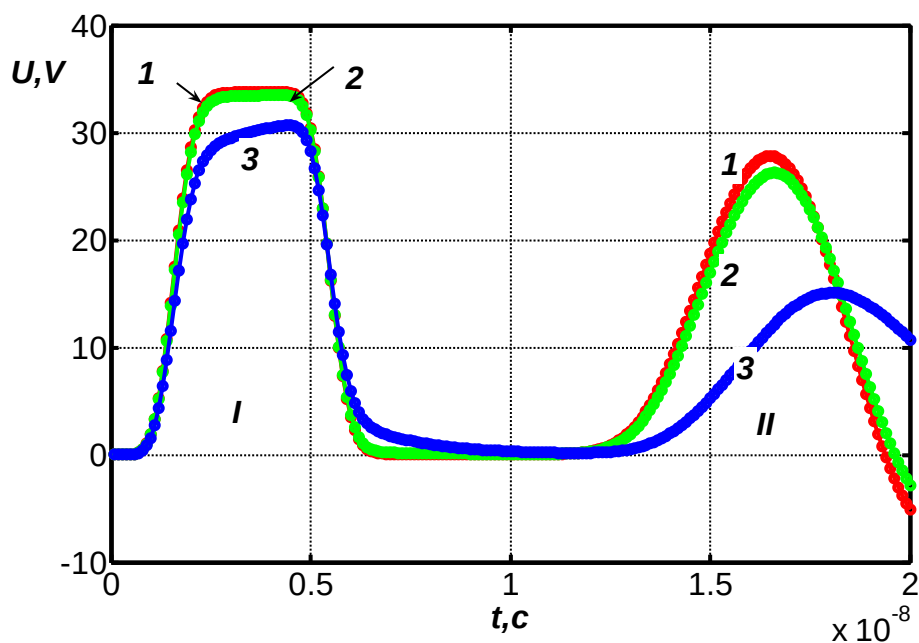


Рисунок 1 – Вплив втрат в зшитої поліетиленової ізоляції (імітація водяних триінгів) на форму імпульсу: крива 1 – $\tan\delta = 2 \cdot 10^{-4}$; крива 2 – $\tan\delta = 2 \cdot 10^{-3}$; крива 3 – $\tan\delta = 2 \cdot 10^{-1}$.

УДК 621.31

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ БЛОКЧЕЙН В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКУ УКРАЇНИ

Березка С.К.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Блокчейн. Це нове іноземне слово в новинах привертає увагу. Для електроенергетики України, з її зношеним парком обладнання і мереж вкрай важливо оновлення і своєчасна відповідь на технологічні, соціальні та економічні виклики сьогодення. Ізолювана від інших країн і самодостатня в плані генерації, передачі і споживання електроенергії ця галузь може стати майданчиком для впровадження нових технологій (читайте між рядків - експериментів).

Для впровадження нового потрібно запит суспільства. Цьому передують аналіз переваг, роз'яснення для керівників, що приймають рішення; реклама для населення; моделювання розвитку негативних технічних ситуацій (аварійних випадків); реконструкція мереж з метою забезпечення надійності в майбутньому; аналіз існуючої нормативно-правової бази та її коригування з урахуванням можливих махінацій; визначення вартості впровадження, прибутку; пошук інвесторів.

На сьогоднішній день повільно, але йде цифровізація енергетики. Підвищується технологічна зрілість галузі. Розвиток зеленої енергетики є стимулом переходу від використання викопних палив до поновлюваних джерел енергії. Це тягне також зміну принципів формування енергетичних систем: на перший план виходять питання щодо інтеграції виробників і споживачів відновлюваної генерації, децентралізації і цифровізації енергетики в цілому. Це дасть підвищення енергоефективності для всієї України. Як наслідок змінюється структура енергетичних систем. А учасники ринку шукають нові форми взаємодії. В якості можливого рішення може стати технологія блокчейн і смартконтрактів для розрахунків за вироблену і спожиту електроенергію.

Блокчейн - інструмент, цифрова технологія. Він не виробляє і не передає електроенергію. Блокчейн (англ. Blockchain) - це система організації розподіленої бази даних, яка дозволяє відстежувати транзакції без контролю з боку посередників. Це хмарна технологія в сфері фінансів. Смарт-контракт (англ. Smart contract - "розумний контракт") - комп'ютерний алгоритм, призначений для укладання і підтримки контрактів, які автоматично виконуються в блокчейн-середовищі. Це дасть розширення спектру учасників ринку. Посередник вида-

ляється з ланцюжка створення вартості електроенергії, а споживачі і виробники отримують можливість домовлятися самостійно і безпосередньо.

Ця система має як переваги так і недоліки.

Для оцінки перспектив впровадження блокчейн в енергетику України потрібно подальші дослідження, аналіз світової практики, моделювання технічних і фінансових аспектів наслідків впровадження цієї технології.

УДК 621.316.11

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ОБЧИСЛЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЩІЛЬНОСТІ СТРУМУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Берчук О.О.

ТОВ «ХАЙ-ТЕК», Україна, м. Київ

Про застарілість значень економічної щільності струму (ЕЩС) наведених у ПУЕ говорилось досить давно. Найбільш повно про це зроблено дослідження у працях Зуев Е.Н., Ефентьев С.Н., Фрайштетер В.П., Мартьянов А.С. Були отримані нові показники ЕЩС для різних класів напруги у Російській Федерації.

Сучасна робота Ринку електроенергії постійно потребує підвищення конкурентної спроможності енергопостачальних компаній, зменшення власних витрат на транспортування електроенергії. Важливим фактором для визначення витрат на транспортування є економічно обґрунтований вибір перетину проводів повітряних ліній (ПЛ) електропередач. Один з традиційних методів розрахунку перетинів проводів ґрунтувався на економічній щільності струму ($j_{ек}$). Вказані в ПУЕ показники $j_{ек}$ отримані на підставі розрахунків проведених більше ніж 50 років тому. Використання настільки застарілих даних з економічної щільності струму призводить до помилкових виборів перетинів провідників та напруги мережі. Дослідження даної роботи спрямовані на визначення економічної щільності струму на основі сучасних економічних даних та для вирішення правильності вибору перетинів проводів.

Питанням вибору раціональної конфігурації мережі електропостачання присвячено роботи Каждана А.І., Дульзона Н.А., Закирова Р.І., Каялова Г.М.,

Балабаняна Г.А., Гамазин С.І., Костенко В.А. займались розробкою математичних моделей витрат на лінії електропередач. В якості цільової функції в цих дослідженнях використовувались наведені витрати. У розподільчих електричних мережах цим питанням займався Веніков В.О.. Цільовою функцією також були наведені витрати. Для оцінки економічної ефективності проектних рішень в теперішній час використовують дисконтовані витрати, які дозволяють враховувати зміни вартості електричної енергії, поетапне збільшення навантаження та капітальних витрат.

УДК 621.311

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Бондаренко Р.В., Довгалоук О.М., Мірошник К.А., Яковенко І.С.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Останнім часом розвиток розподільчих електричних мереж (РЕМ) характеризується збільшенням кількості і потужності джерел розподіленої генерації, до яких переважно відносяться відновлювальні джерела енергії (ВДЕ). Особливістю їх функціонування є нестабільна генерація, яка залежність від кліматичних умов та стану навколишнього середовища. Для підвищення надійності виконання планового графіку видачі потужності ВДЕ в електричну мережу доцільно використовувати системи накопичення електричної енергії (СНЕ), які в останні роки зазнали значного розвитку. Аналіз сучасних технологій накопичення енергії та технічних варіантів їх реалізації при створенні пристроїв та систем для накопичення енергії показав наявність широкого кола таких засобів як за типом, так і за номінальною потужністю. Завдяки цьому постає задача вибору типу, потужності та місця розташування СНЕ для забезпечення підвищення ефективності роботи сучасних РЕМ. Таким чином, задача оцінки ефективності застосування СНЕ для підвищення ефективності роботи РЕМ в сучасних умовах є актуальною і своєчасною.

Для кількісної оцінки ефективності використання СНЕ в РЕМ був розроблений техніко-економічний критерій, що враховує тип, специфіку функціону-

вання, місце підключення СНЕ, надійність електропостачання споживачів, а також особливості роботи розподільних електричних мереж:

$$K_{ef}(x) = \sum_{m=1}^M w_{R_m} \cdot R_m(x) + w_P \cdot P(x) + w_C \cdot C(x) + w_K \cdot K(x) + w_{\eta_{CHE}} \cdot \eta_{CHE}(x), \quad (1)$$

де x – номер групи заходів для підвищення ефективності функціонування РЕМ, яка характеризується типом, кількістю і місцем підключення СНЕ; $R_m(x)$ – індекс надійності РЕМ (SAIDI, SAIFI, MAIFI, ENS та інші), значення якого визначається відповідно до [1]; M – кількість індексів надійності електричної мережі, які враховуються при розрахунку; $P(x)$ – сумарні втрати потужності при передачі електроенергії споживачам в РЕМ; $C(x)$ – сумарні витрати системи електропостачання на заходи для підвищення ефективності функціонування РЕМ; $K(x)$ – сума компенсації споживачам за недотримання гарантованих стандартів якості надання послуг з електропостачання, яку оператор системи розподілу налічує та надає споживачеві відповідно до [2]; $\eta_{CHE}(x)$ – коефіцієнт корисної дії СНЕ різних типів; w_{R_m} , w_P , w_C , w_K , $w_{\eta_{CHE}}$ – вагові коефіцієнти, які враховують значимість індексів надійності електричної мережі $R_m(x)$, сумарних втрат потужності в електричній мережі $P(x)$, витрат на заходи з підвищення ефективності функціонування РЕМ $C(x)$, компенсації споживачам за недотримання стандартів якості надання послуг з електропостачання $K(x)$ згідно поточного стану на ринку електричної енергії, а також коефіцієнта корисної дії застосовуваних СНЕ $\eta_{CHE}(x)$.

Для обґрунтування вибору групи економічно доцільних заходів з підвищення ефективності функціонування РЕМ, що залежать від типу, кількості, потужності і місця підключення СНЕ, необхідно виконати наступне:

- скласти варіанти заходів з підвищення ефективності функціонування РЕМ;
- визначити величину техніко-економічного критерію підвищення ефективності функціонування РЕМ $K_{ef}(x)$ для кожної з розроблених груп;
- вибрати з переліку груп розроблених заходів таку, якій відповідає мінімальне з розрахованих значень техніко-економічного критерію ефективності:

$$K_{ef}(x) \rightarrow \min. \quad (2)$$

При вирішенні поставленого завдання необхідно враховувати такі технічні обмеження:

$$\begin{aligned}
SAIDI(x) &\leq SAIDI_{max}, & SAIFI(x) &\leq SAIFI_{max}, \\
MAIFI(x) &\leq MAIFI_{max}, & ENS(x) &\leq ENS_{max}, \\
P_{ЯЕЕ}(x) &\leq P_{ЯЕЕ ГП}, & P_{реж}(x) &\leq P_{реж ГП},
\end{aligned}
\tag{3}$$

де $SAIDI_{max}$, $SAIFI_{max}$, $MAIFI_{max}$, ENS_{max} – максимальні значення індексів надійності РЕМ, які відповідають потрібному рівню надання послуг електропостачання; $P_{ЯЕЕ ГП}$ – гранично допустимі значення показників якості електричної енергії; $P_{реж ГП}$ – гранично допустимі значення параметрів режиму РЕМ (напруги в вузлах електричної мережі, струми в лініях електропередачі і т.д.).

Застосування розробленого критерію дозволяє кількісно обґрунтувати доцільність витрат на використання СНЕ в РЕМ з метою підвищення ефективності функціонування електричних мереж.

Список використаних джерел:

1. Постанова НКРЕКП № 374 від 12.06.2018 «Про затвердження форм звітності щодо показників якості електропостачання та інструкцій щодо їх заповнення». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0374874-18#n18>.
2. Постанова НКРЕКП № 375 від 12.06.2018 «Про затвердження Порядку забезпечення стандартів якості електропостачання та надання компенсацій споживачам за їх недотримання». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0375874-18>.

УДК 621.31

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ СЛОЮ ЗАБРУДНЕННЯ ТАРІЛЧАСТОГО ІЗОЛЯТОРА

Борзенков І.І., Данильченко Д.О., Шевченко С.Ю.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Для вимірювання струму витoku по поверхні лінійних тарілчастих ізоляторів у лабораторних умовах, можна використати схему, яка наведена на рис. 1. В цій електричній схемі послідовно, від випробувального високовольтного трансформатора до випробуваного об'єкту, увімкнений керамічний резистор R2 з номінальним опором 20 Ом і потужністю 500 Вт, паралельно до резистора R2 увімкнений вольтметр для зняття даних. При подачі високої напруги на об'єкт дослідження така схема вимірювання не призведе до великої похибки так як

падіння напруги на резисторі R2 буде становити близько 2 В при струмі витоку через поверхню ізолятора в 100 мА.

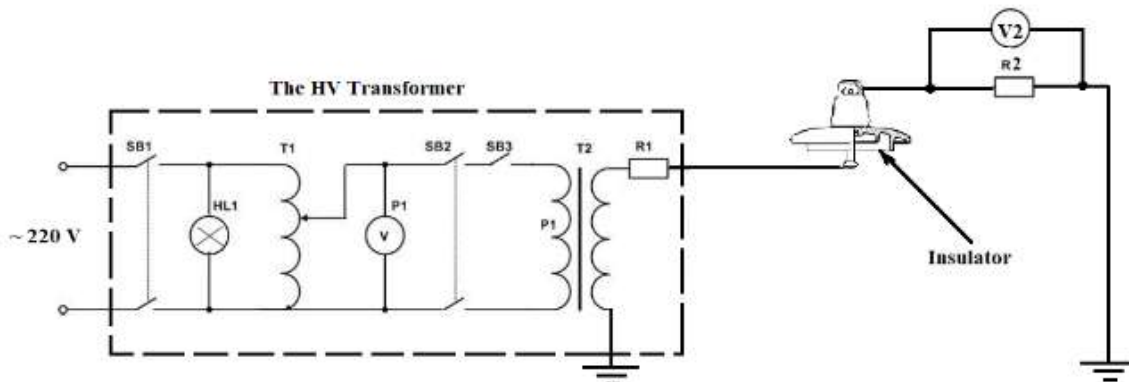


Рисунок 1 – Електрична схема вимірювання струму витоку

Прикладена напруга на ізоляторі утримується протягом достатнього часу для отримання показань, але не настільки довго, щоб викликати нагрівання. Крім того, рівень напруги не повинен викликати електричні розряди на поверхні ізолятора. Результат вимірювання поверхневого опору забруднення можуть відображати всі природні стани ізолятора – його ESDD [1], а також ступінь змочування, на яку впливає NSDD [1]. Однак для цілей контролю ізолятор можна штучно зволожити паром або штучно створеним через розпилювач туману використовуючи дистильовану воду.

Зазвичай опір ізолятора переходить в нескінченність за змінної напруги після кожного перетину струмом нуля. Тому набагато зручніше по (1) визначити і побудувати залежності «коефіцієнта-форми» F уздовж координати шляху витоку ізолятора [1].

$$F = \int_0^L \frac{dl}{\pi \cdot D(l)} \quad (1)$$

де F – безрозмірна величина «коефіцієнт-форми»; l - відстань (мм) уздовж шляху витоку ізолятора; $D(l)$ - діаметр ізолятора (мм) на довжині l уздовж шляху витоку.

Потім використовуючи отримані експериментальні дані $i_{вум}$ і $v_{вумр}$, за схемою рис. 1 можна обчислити поверхневу провідність забруднення ізолятора $\sigma_{п.ізол}$ (мкСм) з використанням «коефіцієнт-форми» F за формулою [1]:

$$\sigma_{п.ізол} = F \cdot \left(\frac{i_{вит}}{v_{випр}} \right) \quad (2)$$

де $i_{вит}$ - миттєвий струм витоку (мА); $v_{випр}$ - миттєве напруга живлення (кВ); $\sigma_{п.ізол}$ - пікове значення провідності (мкСм) за половину циклу змінного струму.

Як відомо обернена величина провідності забрудненого слою поверхні ізоляційної конструкції є опір. Як приклад на рис. 2 наведена залежність опору забруднення поверхні скляного тарілчастого ізолятора типу ПСД-70Е від величини прикладеної напруги отриманих з результатів експерименту в лабораторних умовах з використанням вище наведеного методу розрахунків. Поверхня ізолятора попередньо була забруднена розчином каоліну. Дослід проводився для двох станів поверхні об'єкту: суха і штучно зволожена розпилювачем у вигляді туману.

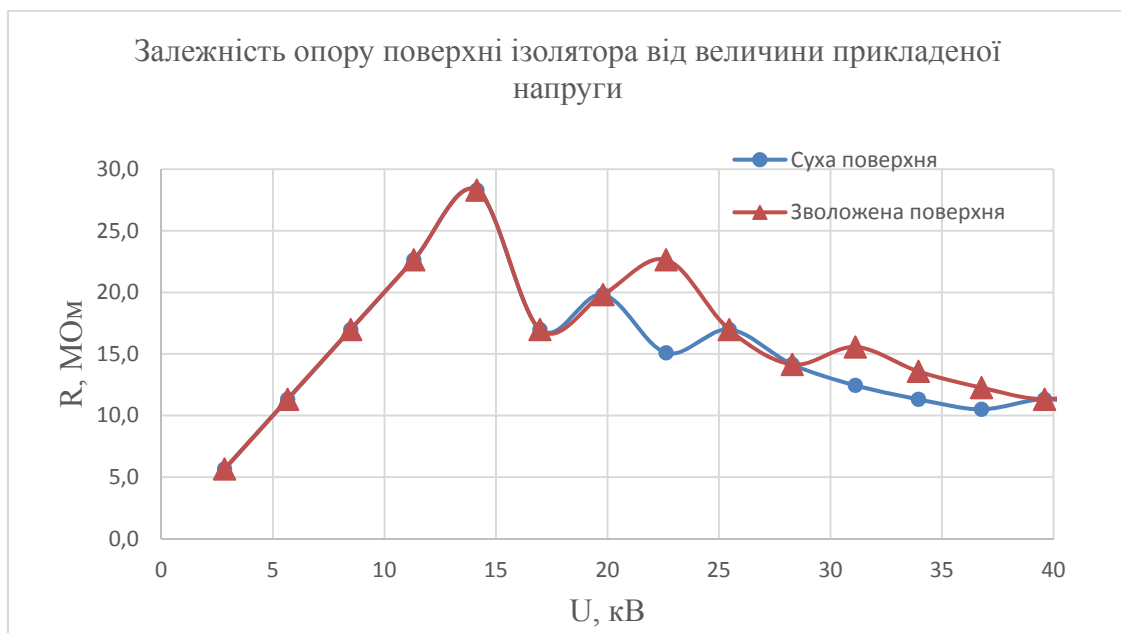


Рисунок 2 – Залежність опору забруднення поверхні ізолятора від величини прикладеної напруги

Список використаних джерел:

1. Masoud farzaneh, william a. Chisholm insulators for icingand polluted environments IEEE Press 445 Hoes Lane Piscataway, NJ 08854.

УДК 621.311

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ

Бровко К.Ю., Буданов П.Ф., Хом'як Е.А.

Українська інженерно-педагогічна академія, Україна, м. Харків

В основу запропонованого методу поставлена задача удосконалення способу виявлення недостовірної інформації для попередження помилкових спрацьовувань при виявленні аварійних ознак у нештатних режимах функціонування енергоблоку (ЕБ) АЕС шляхом поканального порівняння інформації про зміну характеристик параметрів технологічного процесу енергооб'єкта [1].

Поставлена задача вирішується тим, що запропоновано метод контролю достовірності інформації для визначення недостовірних даних о електрофізичних характеристиках параметрів технологічного процесу ЕБ, в якому враховується недостовірна інформація, яка надходить на обробку одночасно по трьом каналам в об'ємі інформаційного простору, і визначається при виборці даних з каналів менше ніж 2 з 3 [2].

Таким чином, облік недостовірної інформації про зміни електрофізичних параметрів технологічного процесу ЕБ АЕС залежно від поканальної виборці даних 2 з 3 в об'ємі інформаційного простору, дозволяє розширити постановку задачі і область використання рішень для моделювання роботи в передаварійних і аварійних режимах і, відповідно, розширити опрацювання дій з відновлення працездатності і прогнозу стану ЕБ АЕС, підвищити оперативність отримання недостовірної інформації про працездатність в разі включення або виключення різних елементів і зв'язків між ними при виявленні аварійних ознак технологічного процесу в нештатних ситуаціях[3].

У роботах [4, 5], авторами показано, що існуючі та використовувані інформаційні динамічні моделі інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів автоматизованих систем управління технологічним процесом (ПТК АСУ ТП) енергоблоку АЕС є системи математичних рівнянь із зосередженими параметрами, що характеризують стан інформаційного простору, та не дозволяють в режимі реального часу виявляти помилкові спрацьовування у нештатних режимах функціонування.

Тому, в пропонуваному методі, автори, для виключення помилкових спрацьовувань при дослідженні інформаційних випадкових сигналів в технологічному процесі ЕБ АЕС у нештатних режимах функціонування, розглядають інформаційний випадковий помилковий сигнал, як сигнал, що має специфічні

фрактальні властивості, які дозволяють виявити недостовірну інформацію про характеристики технологічних параметрів. Процес проходження інформаційного випадкового помилкового сигналу через об'єми інформаційного простору $V_{\Sigma in}$ представлений на рис. 1, який враховує об'єм інформаційного простору з нормованими ознаками $V_{\kappa\kappa H}$ та об'єм інформаційного простору з ознаками аварійності $V_{\kappa\kappa Bn}$, у локальній інформаційній неоднорідності (ЛІН).

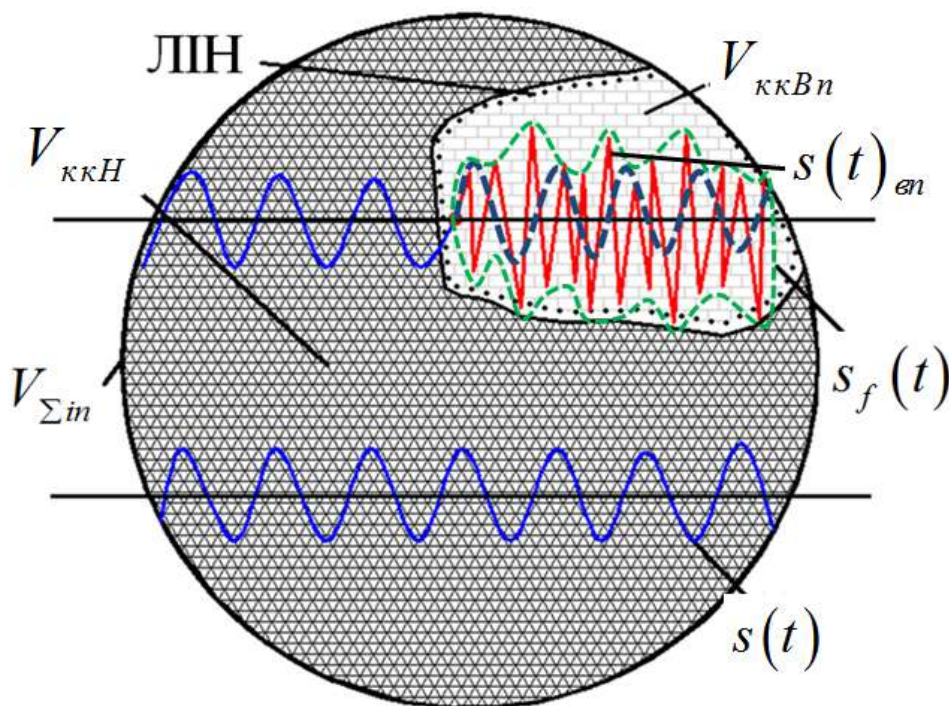


Рисунок 1 – Процес проходження інформаційного випадкового помилкового сигналу через об'єми інформаційного простору

Таким чином, для аналізу помилкових спрацьовувань на основі дослідження інформаційних випадкових помилкових сигналів з перешкодою в інформаційному просторі інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку АЕС, вводиться поняття фрактального інформаційного сигналу $s_f(t)$, який представляє собою систему або суму сигналів: про норму технологічних параметрів $s(t)$ і випадкового $s(t)_{en}$ детермінованого хаотичного сигналу про відхилення, що складається з самоподібних опорних коливань, які в якомусь сенсі подібні цілому загальному сигналу, тобто спостерігається масштабна інваріантність (властивість незмінності рівнянь і процесів при зміні всіх відстаней і проміжків часу в однакове число раз).

Список використаних джерел:

1. Дуэль М. А. Автоматизация определения технических характеристик энергооборудования // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит : Общегосударственный научно-производственный и информационный журнал. 2013. № 2. С. 13–19.
2. Alobaid F., Mertens N., Starkloff R., Lanz T., Heinze C., Epple B. Progress in dynamic simulation of thermal power plants // Progress in Energy and Combustion Science. 2017. V. 59. P. 79-162.
3. Bao T., Liu S. Quality evaluation and analysis for domain software: Application to management information system of power plant // Information and Software Technology. 2016. V 78. P. 53–65.
4. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю., Васюченко П. В. Повышение надёжности функционирования энергообъектов на основе усовершенствования программно-технического комплекса автоматизированной подсистемы аварийной и предупредительной защиты // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Харків. 2016. Вип. 3(48). С. 161–167.
5. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Динамічна просторово-часова модель інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів АСУ ТП енергоблоку електростанції // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2016. Вип. 4(49). С. 80–85.

УДК 621.316

**ЗНИЖЕННЯ ДОДАТКОВИХ ВТРАТ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ З
ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ**

**Вязніков О.О., Мірошник О.О., Нетеса О.Б., Петков С.В., Резніков П.Є.,
Сальний О.М.**

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. П. Василенко, Україна, м. Харків*

З переходом України на ринкові відносини проблема якості та зниження втрат електроенергії досить гостро стоїть в енергетиці нашої держави. Протяжність розподільних мереж 0,4 – 150 кВ в Україні становить близько 1 млн. кілометрів, 50% з них припадає на мережі напругою 0,38/0,22 кВ. Середня зношеність мереж 0,38/0,22 кВ досягає 70%.

За даними Міністерства палива та енергетики втрати електричної енергії в окремих обленерго сягають великих значень, а відхилення показників якості електроенергії перевищують допустимі ГОСТ 13109-97, який регламентує норми якості електричної енергії, в 2 – 4 рази. Одним із вагомих показників якості електричної енергії в сільських мережах є несиметрія струмів та напруг, що призводить до додаткових втрат в мережі. Тому виникла необхідність розробки

нових методів та заходів по зниженню втрат та покращенню показників якості електричної енергії.

Численні дослідження, присвячені аналізу режимів роботи сільських мереж напругою до 0,38/0,22 кВ [1, 2, 3], показали, що несиметрія струмів обумовлена роботою комунально-побутового навантаження, основну частину якого складають нерівномірно розподілені по фазах однофазні електроприймачі.

Найпоширеніше оснащення системи електропостачання – це лічильники електричної енергії, що встановлені у споживачів. На основі даної інформації розроблено метод рівномірного розподілу споживачів між фазами в системі керування розподілом електричної енергії на базі генетичних алгоритмів. Визначено цільові функції з урахуванням наявних джерел інформації. Введено параметр нерівномірності споживання $\Delta W(V)$, що є цільовою функцією екстремума задачі, яка відображає неоднорідність навантажень при розподілі електричної енергії по фазах за наявності інформації від лічильників електроенергії у споживачів:

$$\Delta W(V) = |W_A(V) - W_B(V)| + |W_A(V) - W_C(V)| + |W_B(V) - W_C(V)| \rightarrow \min, \\ W_A(V) = \sum_{j=1}^n W_A^j(v_j); W_B(V) = \sum_{j=1}^n W_B^j(v_j); W_C(V) = \sum_{j=1}^n W_C^j(v_j), \quad (1)$$

де W_A, W_B, W_C – сумарні дані лічильників електроенергії споживачів за місяць відповідно по фазам А, В і С; W_A^j, W_B^j, W_C^j – дані лічильників електроенергії j -го споживача за місяць відповідно однієї з фаз А, В або С; V – вектор варіантів підключення споживачів до фаз; n – число споживачів в системі керування розподілом електричної енергії.

Запропоновано ввести додаткову цільову функцію, а саме число перепідключення споживачів

$$K(V) = \sum_{i=1}^n k_j(v_j) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де $k_j = 1$, якщо варіант підключення споживача j відрізняється від вихідного, і $k_j = 0$, якщо варіант підключення споживача j не відрізняється від вихідного v_j – варіанти підключень споживачів до однієї з фаз А, В або С.

Для вибору оптимального рішення щодо перепідключення споживачів в системі керування розподілом електричної енергії запропоновано генетичний алгоритм, який адаптовано до вирішення задачі (1, 2). Вибрано десятичну систему кодування і адаптовано типові процедури генетичних алгоритмів: форму-

вання початкової популяції, схрещування, мутація, ранжування, формування множини елітних особин, умова зупинки пошуку. Згідно генетичного алгоритму особина представляється у вигляді:

$$C = [V, \Psi] = (c_j), j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де елементи вектора варіантів підключення споживачів V мають три значення.

Перетворення з фенотипу в генотип (кодування) має вигляд

$$\Psi : c_j = \begin{cases} 1, \text{ при } v_1^j, \\ 2, \text{ при } v_2^j, \\ 3, \text{ при } v_3^j. \end{cases} \quad j = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Для практичної реалізації розробленого генетичного алгоритму виконано моделювання реальної мережі в Multisim. За допомогою розробленого генетичного алгоритму для вибору оптимального рішення для даної СКРЕ отримано множину Парето, із якої обрано оптимальний варіант перерозподілу і промодельовано його в Multisim. За рахунок реалізації генетичного алгоритму втрати електричної енергії в мережі будуть нижчі на 12,3% за період літнього сезону і на 10,4% нижчі за період зимового сезону, ніж при використанні традиційної методики.

Список використаних джерел:

1. Наумов И.В. Снижение потерь и повышение качества электрической энергии в сельских распределительных сетях 0,38 кВ с помощью симметрирующих устройств / И.В. Наумов. – Дисс. докт. тех. наук, 05.20.02 – Иркутск, 2002. – 387 с.
2. Мірошник О. О. Статистичне дослідження основних параметрів сільських мереж 0,38/0,22 кВ / О. О. Мірошник // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК» – Київ: НУБіПУ, 2011. – № 166. ч. 4. – С. 203 – 211.
3. Левин М.С. Анализ несимметричных режимов сельских сетей 0,38 кВ / М.С. Левин, Т.Б. Лещинская // Электричество, 1999, №5. – С. 18 – 22.

УДК 620.92

РОЗРОБКА РЕЄСТРАТОРА СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ ДЛЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Галько С.В.¹, Довгалюк О.М.², Жарков А.В.³, Жарков В.Я.¹

¹ Таврійський державний агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного, Україна, м. Мелітополь

² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків

³ ТОВ "ЮБС - Холод", Україна, м. Харків

В процесі контролю даних, таких як температура, вологість, освітленість, напруга, потужність, струм тощо, в деяких випадках потрібно знати динаміку їх змін за визначений проміжок часу. Звичайні вимірювальні прилади не дають можливості оперувати результатами цих вимірювань для подальшої обробки і аналізу (побудова графіків, статистична інформація).

Сумарна енергія сонячного випромінювання звичайно вимірюється за певний період часу, на основі цих даних будується графік сонячної активності протягом певного проміжку часу: день, тиждень, місяць, рік. На основі зіставлення інтенсивності сонячного випромінювання, одержаного в різні роки, можна прогнозувати кількість генерованої енергії для сонячної електростанції (СЕС) за певний період року.

На рис. 1 показано спектральний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання в різних умовах.

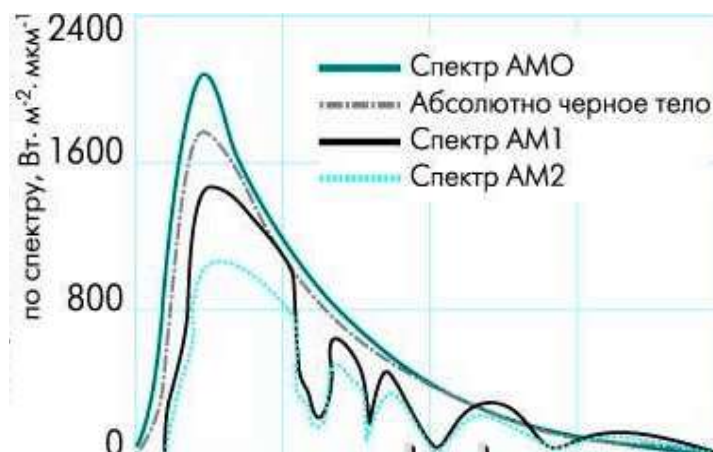


Рисунок 1 – Спектральний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання в різних умовах

Верхня крива (AM0) відповідає сонячному спектру за межами земної атмосфери (наприклад, на борту космічного корабля), тобто при нульовій повітряній масі. Вона апроксимується розподілом інтенсивності випромінювання абсолютно чорного тіла при температурі 5800 К. Криві AM1 і AM2 ілюструють спектральний розподіл сонячного випромінювання на поверхні Землі, коли Сонце в zenіті (кут 90°) і при куті між Сонцем і zenітом 60° , відповідно. Середня інтенсивність випромінювання на Землі приблизно збігається з інтенсивністю випромінювання при $AM = 1,5$ (Сонце - під кутом 45° до горизонту).

Для практичних розрахунків на поверхні Землі приймають $P_0 = 1000 \text{ Вт/м}^2$. Це приблизно відповідає періоду, коли Сонце світить влітку сонячного безхмарного дня опівдні на поверхню, перпендикулярну сонячним променям.

Атмосферна маса (AM) являє це довжина шляху, яку проходить світло через атмосферу, віднесена до найкоротшого можливого шляху (коли Сонце знаходиться в zenіті). Атмосферна маса показує у скільки разів зменшилася спектральна щільність потоку випромінювання після проходження через атмосферу і поглинання повітрям і пилом. Атмосферна маса визначається, як

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)}, \quad (1)$$

де θ - кут, що відраховується від вертикалі (зенітний кут на рис. 2).

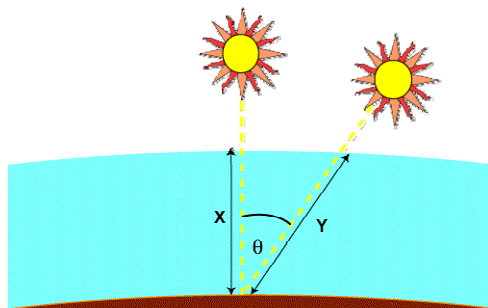


Рисунок 2 – Зміна зенітного кута Сонця

Атмосферна маса є відношенням атмосферного шляху, що проходить світло, до найкоротшого з можливих шляхів, і дорівнює Y / X . Для визначення атмосферної маси існує простий метод, в якому використовується довжина тіні s , що відкидається вертикальною жердиною h

$$AM = \sqrt{1 + \left(\frac{s}{h}\right)^2}, \quad (2)$$

де s – довжина тіні; h – висота об'єкту.

Для автоматичного запису на носій інформації даних, що поступають від датчиків або інших технічних засобів, був створений сонячний реєстратор. Пристрій розроблений на основі реєстратора аналогових даних [1], що є прототипом. На рис. 3 представлена електрична принципова схема реєстратора аналогових даних з блоком вимірювання сонячної радіації.

В якості датчика інсоляції використаний сонячний елемент від кишенькового калькулятора і перетворювач «струм – напруг» на операційному підсилювачі. Для заміру інсоляції в схему реєстратора аналогових даних доданий операційний підсилювач DA1, який перетворює струм сонячного елемента VD1 в пропорційну напругу з коефіцієнтом підсилення, що задається резистором R1.

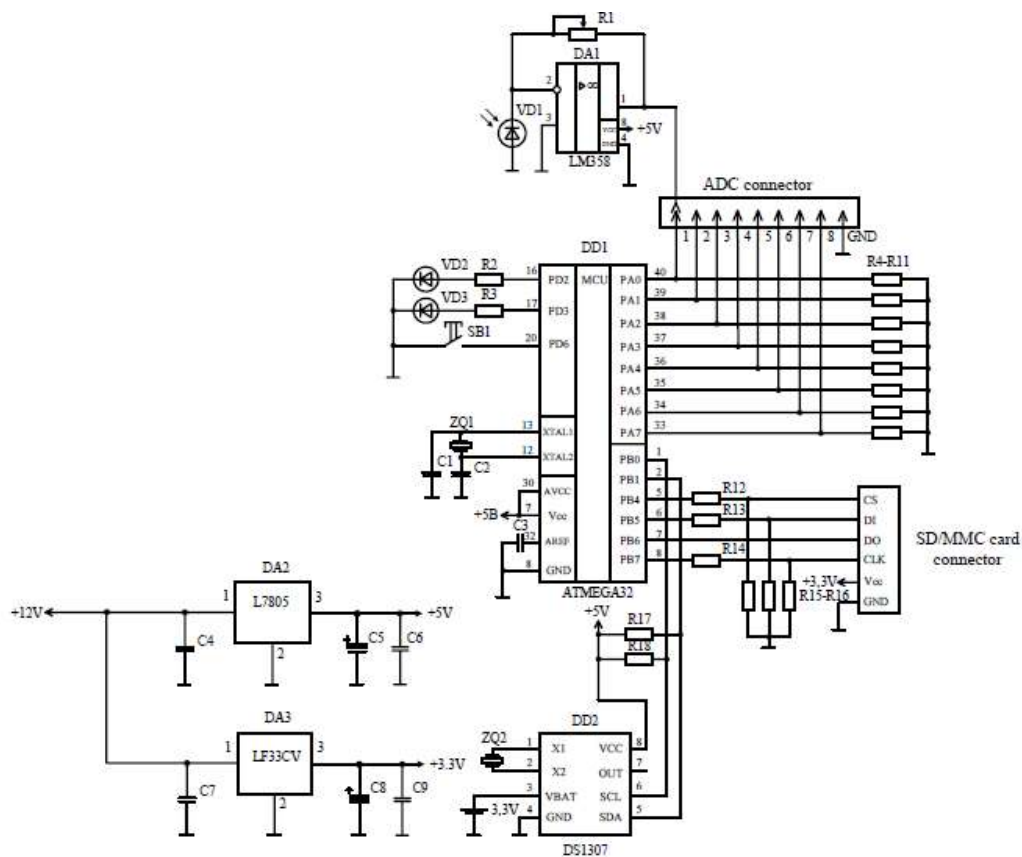


Рисунок 3 - Схема електрична принципова реєстратора аналогових даних (праворуч) з блоком вимірювання сонячної радіації (ліворуч)

Для визначення щільності потоку сонячної радіації, залежно від електрорушійної сили (ЕРС) сонячного елемента VD1, необхідно знати ККД сонячного елемента (він може бути від 5 до 25%), його корисну площу S_n та фактичну потужність.

Корисна розрахункова потужність сонячного елементу може бути визначена за виразом

$$P_p = \text{ККД} \cdot H \cdot S_p, \quad (3)$$

де H – щільність потоку сонячної радіації, S_p – площа сонячного елементу.

На рис. 4 зображений дослідний зразок реєстратора аналогових даних з блоком вимірювання сонячної активності з перетворювачем «фотострум-напруга».

Закон «Про ринок електричної енергії» [2] передбачає порядок установки ціни на електроенергію Енергорином України. Тому всі виробники електроенергії повинні прогнозувати виробіток «на добу вперед» з корекцією прогнозу за три години [3].

Частка відшкодування гарантованому покупцю суб'єктами господарювання, які входять до складу балансувальної групи гарантованого покупця та здійснюють продаж електричної енергії, виробленої з альтернативних джерел енергії, за "зеленим" тарифом або аукціонною ціною, вартості врегулювання небалансу гарантованого покупця становить [4]: до 31.12.2020 р. – 0%, з 1.01.2021 р. – 10%, з 1.01.2022 р. – 20%, з 1.01.2023 р. – 30%, з 1.01.2024 р. – 40%, з 1.01.2025 р. – 50%, з 1.01.2026 р. – 60%, з 1.01.2027 р. – 70%, з 1.01.2028 р. – 80%, з 1.01.2029 р. – 90%, з 1.01.2030 р. – 100%.

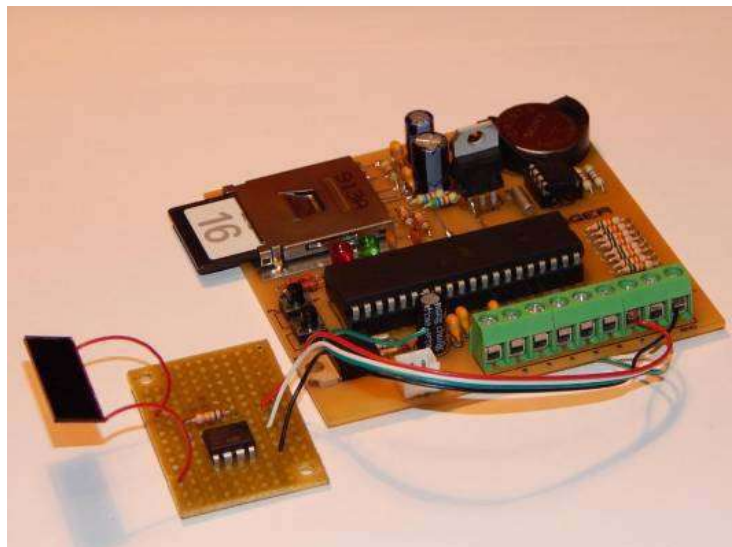


Рисунок 4 - Реєстратор сонячної радіації з перетворювачем «фотострум-напруга» з сонячним елементом

Таким чином зрозуміло, що СЕС повинні використовувати програмні комплекси прогнозування виробництва електричної енергії, які дозволять

виробникам покращити початкові прогнози генерації за добу до рівня [6]: $15\% \div 20\%$ похибки, а уточнюючі прогнози до рівня $8\% \div 10\%$.

Таким чином, розроблений реєстратор може слугувати для збору і накопичення даних сонячного випромінювання на карту пам'яті типу SD і MMC з можливістю наступного перегляду на комп'ютері у вигляді текстового редактора TXT або CSV і побудови графіків залежності. Інтегруючи отримані графіки, можна визначити щоденну кількість сонячної енергії в досліджуваній місцевості.

Список використаних джерел:

1. Верещагин Д.В. Регистратор аналоговых данных / Д.В. Верещагин, И.В. Кизим // Матеріали науково-технічної конференції студентів та магістрантів. - Мелітополь: ТДАТУ, 2013. - Вип. 12. - Том 2. - С. 138-139.
2. Закон України «Про ринок електричної енергії». - Відомості Верховної Ради, 2017, № 27-28, ст.312, із змінами 2020 р. [Електронний ресурс]. - <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>.
3. Постанова НКРЕКП № 641 від 26.04.2019 «Порядок купівлі електричної енергії за «зеленим» тарифом». [Електронний ресурс]. - Режим доступу: www.nerc.gov.ua/data/filearch/postanovy/2019/p0641-d-2019.pdf.
4. Мороз О. М. Вимоги законодавства України щодо прогнозування генерації електричної енергії СЕС та шляхи вирішення цих вимог / О.М. Мороз, А.О. Павлов // Вісник ХНТУСГ. - Вип. 203. - 2019: Харків. - С. 56-58.

УДК 621.311

ПІДГОТОВКА АТ «ХАРКІВОБЛЕНЕРГО» ДО ПЕРЕХОДУ НА СТИМУЛЮЮЧЕ ТАРИФОУТВОРЕННЯ

Ганус О.І., Старков К.О.

АТ «Харківобленерго», Україна, м. Харків

26.08.2020 Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), затвердила нову методику щодо стимулюючого тарифоутворення для операторів систем розподілу. Така реформа допоможе стимулювати залучення інвестицій та покращення показників якості електричних мереж.

Стимулююче регулювання (або RAB-регулювання) – система тарифоутворення на основі довгострокового регулювання тарифів, спрямованого на залу-

чення інвестицій для будівництва та модернізації інфраструктури електричних мереж та стимулювання ефективності витрат електророзподільних компаній.

Сьогодні тарифи для АТ «Харківобленерго» формуються за принципом "витрати плюс", який передбачає включення операційних витрат, амортизації активів, витрати на покриття технологічних витрат електроенергії в мережах. Значення "плюс" - це додатковий дохід в розмірі 3% рентабельності. Цих грошей вистачає на підтримку електричних мереж в робочому стані.

З 2021 року дохід замінить ставка RAB-тарифу на "старі" і "нові" активи.

Новою методикою щодо стимулюючого тарифоутворення для операторів систем розподілу передбачена ставка доходності на «нову» (побудованої після введення RAB-тарифу) базу активів – 16,74% та ставка доходності на «стару» (побудованої до введення RAB-тарифу) базу активів – 3%, обов'язкове реінвестування у будівництво та модернізацію мереж 50% коштів, які є доходами на «стару» базу активів.

В жовтні 2020 року АТ «Харківобленерго» проведена інвентаризація активів та виконана оцінка основних фондів з метою подальшого подання заявки до НКРЕКП на встановлення тарифів на послуги з розподілу електричної енергії із застосуванням стимулюючого регулювання з 1 січня 2021 року.

У разі переходу на стимулююче регулювання товариство буде отримувати певний відсоток від вартості своєї регуляторної бази. Чим більше ми інвестуємо в її оновлення – тим вище вартість. Відповідно – більше повернення прибутковості на інвестиції. З'являється стимул вкладати гроші. Половину від прибутку товариство має вкласти в модернізацію, поліпшити якість електропостачання. Крім того, 50% економії операційних витрат – на ремонтних матеріалах, транспортуванні і бензині, адміністративних витратах – залишається в компанії. Це змушує постійно підвищувати ефективність. А, відповідно, забезпечить надійне та безперебійне електропостачання всього Харківського регіону. Результат – позитивні зміни для споживача.

З введенням RAB-тарифів до товариства посилюються вимоги по дотриманню якості електропостачання та обслуговування (робота кол-центрів і приймальних відділень). Так, передбачається, що втрати електроенергії в мережах повинні зменшуватися щонайменше на 1% для першого класу напруги та на 3,5% для другого класу напруги щорічно. SAIDI (індекс середньої тривалості відключень в системі) повинен постійно зменшуватися протягом 13 років з 466 до 150 хвилин у міській місцевості та з 960 до 300 хвилин у сільській місцевос-

ті. При недотриманні прогнозного показника SAIDI за схемою "витрати плюс" величина штрафу не може перевищувати 1% від необхідного доходу, а при RAB-тарифі становитиме до 5%.

Таким чином, перехід АТ «Харківобленерго» на стимулююче тарифоутворення, серед іншого, повинен призвести до масштабного будівництва, реконструкції електричних мереж та підстанцій, що сприятиме здешевленню та скороченню терміну приєднання до електричних мереж нових споживачів, а також підвищенню якості послуги з розподілу електричної енергії існуючим споживачам та зниженню величини витрат електричної енергії в мережах.

На сьогоднішній день у товаристві розробляються проекти на будівництво та реконструкцію електричних мереж, які будуть реалізовані у 2021 р. Зазначені заходи спрямовані на розвиток електричних мереж, зниження нетехнічних витрат електричної енергії, впровадження та розвиток автоматизованих систем диспетчерсько-технологічного керування (АСДТК), впровадження та розвиток інформаційних технологій, впровадження та розвиток систем зв'язку, модернізацію та закупівлю колісної техніки.

Впровадження зазначених заходів, яке стало можливим завдяки переходу АТ «Харківобленерго» на систему стимулюючого тарифоутворення, дозволить значно підвищити надійність та якість електропостачання споживачів м. Харкова та Харківської області, спростить обслуговування споживачів у кол-центрі товариства та приймальних районних відділень. Все це створить умови для залучення нових інвестицій для розвитку економіки нашого регіону, створення нових робочих місць і збільшення обсягу зовнішньоекономічних зв'язків.

УДК 621.315.2

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ З ІЗОЛЯЦІЄЮ ІЗ СШИТОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ

Гонтар Ю.Г., Гузін М.Ю., Довгалюк О.М., Піротті О.Є.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

У сучасних умовах інтенсивного розвитку промислового комплексу, а також міст зростає роль електричних кабелів в забезпеченні надійного електропо-

стачання великих споживачів. У вітчизняній електроенергетиці середня питома пошкоджуваність кабельних ліній становить від 4 до 7 випадків на 100 км / рік. Внаслідок цього, питання дослідження надійності ізоляції кабелів в різних режимах роботи є актуальними.

В даний час широке застосування знаходять кабелі нового покоління, в яких в якості ізоляції використовується зшитий поліетилен (ЗПЕ). Потік відмови кабелів з ізоляцією ЗПЕ регламентується на один-два порядки нижче в порівнянні з кабелями, що використовують БПІ. З огляду на те, що в даний час дані з напрацювання на відмову кабелів з ізоляцією ЗПЕ практично відсутні, при чисто механічному підході по заміні кабелів без урахування їх конструктивних особливостей і специфіки діелектричного середовища можна зіткнутися з більш високими значеннями потоку відмов кабелів по відношенню до прогнозів підприємств-виготовлювачів.

Моніторинг різних аномальних режимів експлуатації кабелів із ППІ в міських кабельних мережах показав, що електричний пробій ізоляції при однофазних замиканнях на землю в 60 ÷ 70% випадків самоліквідується і експлуатаційний персонал такі режими не фіксує. Цю високу відновну здатність кабелів із ППІ можна пояснити специфікою діелектричного середовища - переміжна дуга горить в замкнутому просторі ізоляції в місці виникнення однофазного замикання на землю.

У разі застосування в розподільній мережі кабелів з пластмасовою ізоляцією при електричному пробіі твердого діелектрика відновлення діелектричної міцності не відбудеться і будь-яке однофазне замикання на землю буде производити до стійкого аварійного режиму. При цьому експлуатаційному персоналу необхідно буде усувати виникнення однофазного замикання на землю. Таким чином, необхідно передбачати і створювати умови експлуатації кабелів з пластмасовою ізоляцією, що дозволяють звести до мінімуму їх вихід з ладу.

Список використаних джерел:

1. Разыграев С.Н. Проблемы надежности изоляции спэ кабелей напряжения 6-10 КВ // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 6-3. – С. 515-515.
2. Золоторев В.М. Новые отечественные разработки в области силовых кабелей / В.М. Золотарев, А.Л. Обозный // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ", 2006. – Вип. 34. – С.129–132.

УДК 620.9

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА КОРОННОГО РОЗРЯДУ

Гриб О.Г., Дем'яненко Р.І., Карпалюк І.Т., Швець С.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Електрична енергія (ЕЕ) з моменту її відкриття використовується людством в різних видах. І найбільш масове її використання пов'язане передусім з можливістю передачі енергії на великі відстані. Слід зазначити що ЕЕ нині в не меншій мірі виступає в ролі товару. І як будь-який товар підкоряється умовам економічного ринку, а це в першу чергу якість товару.

З метою вивчення якості електроенергії в різних режимах роботи електричних мереж і технологічного устаткування виконувалися заміри показників якості електроенергії (ПЯЕ).

Джерелом гармонійної складової (ГС) можуть виступати різні типи споживачів і навіть коронний розряд. Якщо зі збуреннями від споживачів можна боротися. І можна перекладати відповідальність за погіршення показників якості електричної енергії на споживачів, то в разі погіршення яке виникає за рахунок коронного розряду то вся провина за погіршення і технічна і економічна покладається на компанію постачальника електричної енергії. Тому для електропостачальних компаній боротьба із коронним розрядом є дуже актуальною. Бо коронний розряд (КР) це не тільки втрати енергії, але й джерело погіршення якісних показників електричної енергії.

За результатами аналізу літератури виходить, що дослідження параметрів коронного розряду проводили багато авторів, але основний напрям їх роботи стосувався визначенню втрат потужності на коронний розряд. Авторами отримані залежності від потужності коронного розряду і зовнішніх чинників таких як погодні умови. Наприклад вологість в оточуючому середовищі, дощ, сніг, паморозь змінюють струм КР. Зміна струму через коронний розряд для нас це зміна потужності ГС. [1].

Подібні залежності для інтенсивності дощу до 5 мм/год для декількох значень $n_{\text{хп}}$ (середні втрати потужності) приведено на рис. 1. Особливість цих кривих полягає в різкому збільшенні втрат на початковій ділянці (для $J = 0$ (5÷1 мм/год) і потім повільнішому їх зростанні із збільшенням інтенсивності вище вказаних значень [2, 3].

Розрахункові криві залежності безрозмірних середніх втрат потужності на

корону під час снігу для чотирьох значень середньої інтенсивності снігу (0,1; 0,15, 0,2; 0,25 мм/год) від $n_{\text{хп}}$ дані на рис. 2.

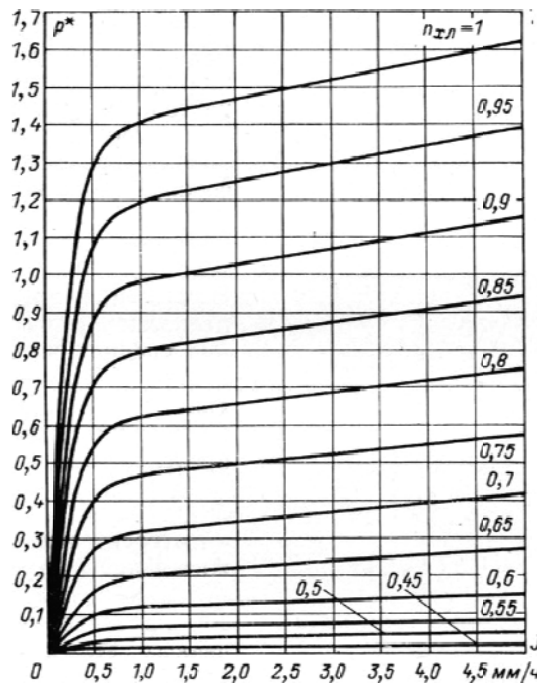


Рисунок 1 – Залежності втрат потужності на корону у відносних одиницях від інтенсивності дощу для різних $n_{\text{хп}}$.

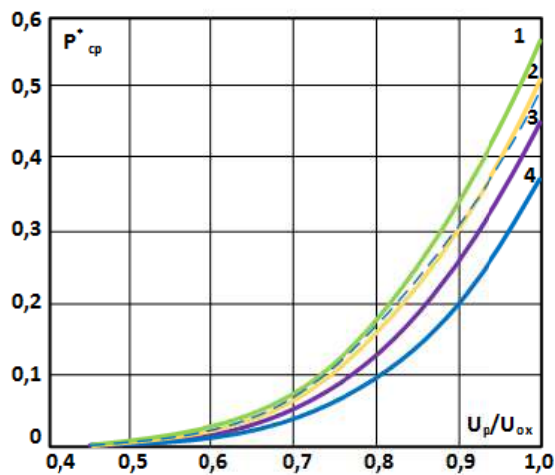


Рисунок 2 – Залежності середніх значень втрат потужності на корону у відносних одиницях від $n_{\text{хп}}$ для різних середніх значень інтенсивності снігу. 1 - $J=0,25$ мм/год

Розглянуті особливості різних видів погоди показують, що погіршення погоди призводить до зміну режимів коронного розряду і як наслідок збіль-

шення струму КР, тобто збільшення енергії яку споживає КР і збільшення енергії генерованої (ГС).

Таким чином проведений аналіз показав, що наявність (ГС) також створюється коронним розрядом. І отримані залежності струму КР від погодних умов можна трактувати, як залежність ПЯЕ. Автори роботи особливо звертають увагу на наявність позитивного зворотного зв'язку між наявністю гармонійної складової і режимами КР. Зміна струмового режиму КР в наслідок наявності (ГС) в струмі призводить до додаткової генерації гармонійної складової. Тому автори звертають увагу на боротьбу з таким явищем як коронування на струмопровідних елементах електротехнічного комплексу.

Список використаних джерел:

1. Попков В. И. Электрическое поле при переходной униполярной короне. – Изв. АН СССР, ОТН, 1954, № 7. с. 7–12.
2. Potthoff K. Messungen von Koronaverluste an einer Drehstromleitung.– «ETZ», 1933, 54, № 8, S. 169–171.
3. Boulet L., Jakubezuk B. I. A corona in foul weather.– «Power Apparatus and Systems», 1964, № 5, p. 508–512.

УДК 621.315.2

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ІЗОЛЯЦІЇ НА ОСНОВІ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ ЕЛАСТОМЕРІВ СИЛОВИХ КАБЕЛІВ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ

Гринишина М.В.

Завод «Інтеркабель Київ», Україна, м. Київ

Однією з нових тенденцій у виробництві силових кабелів є зростання попиту на термопластичні матеріали на основі поліпропілену для силових кабелів середньої напруги. Такі системи ізоляції силових кабелів мають високі електричні характеристики і, головне, численні переваги переробки. Компаунди на основі поліпропілену отримали другу назву НРТЕ (високопродуктивні термопластичні еластomers).

Поліпропілен та композиції на його основі являють собою рівну, або навіть, найбільш бажану альтернативу зшитому поліетилену (XLPE). На сьогоднішній день поліпропілен займає друге місце після поліетилену на ринку полімерів, з щорічним приростом використання близько 5-6%. Таким чином, поліпропілен стає все більш доступною сировиною у всьому світі.

10 - 13 листопада 2020 р.



Україна, Харків, НТУ «ХП»

Ізоляційні матеріали, такі як XLPE (сілано- або пероксидо-зшитий поліетилен), вже кілька десятиліть домінують на ринку ізоляційних матеріалів для силових кабелів в наземних мережах змінного струму і, приблизно, десятиліття - в мережах постійного струму високої напруги. Зшитий поліетилен залишається кращим матеріалом для виготовлення екструдованих високовольтних кабелів з високими термомеханічними і електричними властивостями. Однак його нелегко переробляти, що ставить під сумнів його довгострокову стійкість. Поліпропілен є одним з термопластів, придатних для вторинної переробки і легко оброблюваних.

Температура плавлення поліпропілену в залежності від стерео структури (ізотактичний, синдіотактичний, атактичний) знаходиться в діапазоні від 165 та 135°C, що значно вище, ніж у зшитого поліетилену (близько 110°C). Більш висока температура плавлення поліпропілену дозволяє застосовувати ізоляцію на основі термопластичних еластомерів без процесу зшивання, тобто виготовлення кабелю може відбуватися в єдиному безперервному технологічному циклі. Це означає, по-перше, що суттєво скорочується технологічний час виготовлення кабелю. По-друге, зменшується вірогідність утворення низькомолекулярних речовин, в тому числі і води, яка є основним чинником розвитку водяних триєнів в ізоляції при експлуатації. По-третє, після виготовлення кабелю не потрібен етап дегазації метану, як це вимагається для кабелів з ізоляцією на основі зшитого поліетилену.

Недоліком термопластичних еластомерів на основі поліпропілену є нижча теплопровідність. Також, як і для зшитого поліетилену, для поліпропілену притаманне накопичення просторового заряду, що залишається проблемою при розробці екологічно чистих ізоляційних матеріалів для кабелів високої напруги постійного струму.

УДК 621.315

ГРОЗОЗАЩИТА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Данильченко Д.А.¹, Дривецкий С.И.¹, Морва Д.², Шевченко С.Ю.¹

¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків

² Университет Обуда, Венгрия, Будапешт

Воздушные линии с самонесущими изолированными проводами (ВСИП) имеют достаточно большие эксплуатационные преимущества перед ВЛ с обычными проводами по меньшей повреждаемости, надежности электроснабжения

потребителей, безопасности, материалоемкости, габаритам. Однако ВСИП требуют специального решения вопроса их грозозащиты.

Особенностью проблемы грозозащиты ВСИП является то, что в случае отсутствия специальных мер, при грозовом перекрытии изолятора линии, сопровождаемом пробоем твердой изоляции провода, образующаяся с большой вероятностью дуга промышленной частоты не имеет возможности перемещаться по проводу и горит в месте пробоя изоляции до момента отключения линии. Это может привести к обжигу изоляции провода, изолятора линии, а в случае больших токов к. з. – к пережогу провода.

Поскольку на линии с неизолированными проводами дуга под воздействием электродинамических сил способна перемещаться одним из своих концов вдоль провода, фактор повреждения провода вследствие теплового воздействия дуги был малозначим и никак не влиял на формирование концепции грозозащиты ВЛ. В случае же ВСИП предотвращение пережога провода становится главным условием, определяющим необходимость обязательного применения тех или иных грозозащитных мер.

Наиболее известные в мировой практике решения в области грозозащиты воздушных линий, связаны с применением ОПН. Широкое распространение для грозозащиты воздушных линий ОПН получили в Японии, где в распределительных сетях применяются только защищенные провода, и действуют жесткие требования по надежности электроснабжения потребителей. При установке ОПН, рассчитанных на грозовой ток 2,5 кА, параллельно каждому изолятору известные в мировой практике ВСИП с подключением к проводу через искровой промежуток они эффективно предотвращают дуговые замыкания и, соответственно, не только пережоги проводов, но и отключения линии при индуцированных перенапряжениях. Но при прямом ударе молнии в провод они повреждаются и подлежат замене. Вследствие достаточно высокой стоимости ОПН для наших энергосистем такие меры грозозащиты пока экономически неприемлемы.

В Финляндии на ВСИП используется система дугозащиты, предназначенная для предотвращения пережога проводов при грозовых перенапряжениях [1]. Смысл действия данной системы при идеальной реализации должен заключаться в следующем. Устанавливаемые на все три провода вблизи изоляторов дугозащитные «рога» вместе со спиральной арматурой должны обеспечивать отвод от каждого из проводов горячей после грозового перекрытия изолятора дуги и способствовать переходу возможных однофазных дуговых замыканий, по меньшей мере, в двухфазные. Тем самым, провода должны защищаться от

пережога за счет обгорания «рогов» и за счет гарантированного гашения дуги при отключении линии.

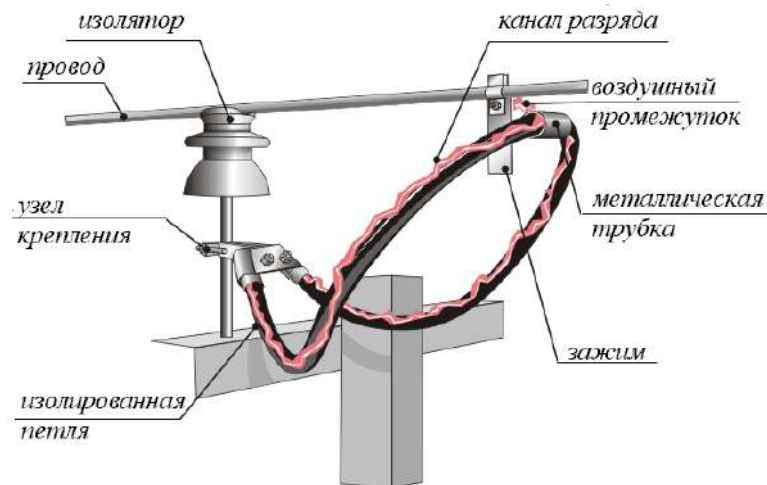
Эта система дугозащиты имеет существенные недостатки. Препятствуя перегоранию проводов, она не защищает изоляцию от перенапряжений и не предотвращает короткие замыкания и отключения линии вследствие грозových воздействий. Более того, она рассчитана на то, чтобы за счет специального расположения дугозащитных «рогов» однофазные замыкания переводить в многофазные только для того, чтобы добиться отключения линии. Такой принцип ее действия никак не согласуется с основной идеей функционирования электрических сетей с изолированной нейтралью, для которых однофазное замыкание не является аварийным режимом, требующим обязательного отключения. Кроме того дуговые замыкания могут сопровождаться токами различной величины, а возможность выхода дуги на «рога», в силу электродинамических закономерностей и конструктивных параметров системы, появляется лишь при токах, превосходящих 1-2 кА [2]. Соответственно, при меньших токах, дуга не выходит на «рога», и это влечет опасность пережога провода. Такая аварийная возможность появляется, например, даже при к. з., вызванном одновременным перекрытием изоляторов нескольких фаз на одной опоре при прямом ударе молнии в линию, на удалении нескольких километров от питающей подстанции.

При индуктированных перенапряжениях возникновение к. з. вообще маловероятно, так как в этом случае значительно чаще происходят перекрытия разноименных фаз не на одной, а на разных опорах. Это означает, что при индуктированных перенапряжениях токи дуговых замыканий, практически, всегда будут ограничиваться сопротивлениями заземления опор и не будут превышать 500 А, а при таких токах дуга заведомо не способна выйти на «рога», и система не обеспечивает защиту проводов от пережога.

В России для защиты ВСИП были разработаны устройства называемые длинно-искровыми разрядниками (РДИ). Принцип действия всех видов РДИ заключается в ограничении грозových перенапряжений на ВСИП за счет искрового перекрытия по поверхности изоляционного тела разрядника с длиной канала разряда, в несколько раз превосходящей строительную высоту защищаемой изоляции, и гашении сопровождающих токов промышленной частоты за счет обеспеченного таким образом снижения величины среднего градиента рабочего напряжения вдоль канала грозового перекрытия. Принцип работы разрядника основан на использовании эффекта скользящего разряда, который обеспечивает большую длину импульсного перекрытия по поверхности разряд-

ника, и предотвращении за счет этого перехода импульсного перекрытия в силовую дугу тока промышленной частоты.

При возникновении на проводе ВЛ индуктированного грозового импульса искровой воздушный промежуток между проводом ВЛ и металлической трубкой разрядника пробивается, и напряжение прикладывается к изоляции между металлической трубкой и металлическим стержнем петли, имеющим потенциал опоры.



а)



б)

Рисунок 1 – Общий вид петлевого разрядника на опоре ВЛ:
а) конструктивный эскиз; б) фотография испытаний на макете

Под воздействием приложенного импульсного напряжения вдоль поверхности изоляции петли от металлической трубки к зажиму крепления разрядника (по одному, или по обоим плечам петли) развивается скользящий разряд. Вследствие эффекта скользящего разряда вольт-секундная характеристика разрядника расположена ниже, чем вольт-секундная характеристика изолятора, т.е. при воздействии грозового перенапряжения разрядник перекрывается, а изолятор нет.

После прохождения импульсного тока молнии разряд гаснет, не переходя в силовую дугу, что предотвращает возникновение короткого замыкания, повреждение провода и отключение ВЛ.

Главным отличительным достоинством класса длинно-искровых разрядников является их неподверженность разрушениям и повреждениям грозовыми и дуговыми токами, поскольку они протекают вне аппаратов, по воздуху вдоль их поверхности.

Требования ПУЭ в части грозозащиты, нормирующие наибольшие допустимые сопротивления заземления опор, имеющих устройства грозозащиты, не следует распространять на опоры с установленными на них длинно-искровыми разрядниками, поскольку принцип их работы, а также в целом данной системы грозозащиты в корне отличается от ранее известных и применявшихся на ВЛ для защиты от грозовых отключений. Чем выше сопротивления заземления опор, на которых установлены РДИ, тем выше надежность данной системы защиты от индуктированных перенапряжений, поэтому снижать величину сопротивлений заземления по условиям грозозащиты не целесообразно.

Приведенные примеры защиты от грозовых воздействий распределительных сетей показывают актуальность этой проблемы и необходимость использования новых современных решений в этой области, по возможности, достаточно эффективных, простых и экономически доступных. Однако нормативная база энергетики Украины не предусматривает подобных решений.

Выводы:

1. Грозозащита распределительных ВЛ может рассматриваться как действенная мера повышения надежности электроснабжения и снижения эксплуатационных расходов.
2. ВСИП 6, 10 кВ необходимо в обязательном порядке защищать от грозовых перенапряжений и от пережога проводов, как самого недопустимого из их последствий.
3. Необходима разработка нормативных документов регламентирующих грозозащиту распределительных сетей выполненных с использованием ВСИП.

Список литературы:

1. Подпоркин Г.В., Сиваев А.Д. Новая грозозащита линий электропередачи с помощью длинноискровых разрядников. – Энергетик, 1997 г. № 3, с. 15 – 17.
2. Markku Kokkonen. Development of Lightning Protection for Covered Conductor, ICCS, 2000.

УДК 621.315

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГРОЗОЗАХИСТУ

Данильченко Д.О., Дривецький С.І., Шевченко С.Ю.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Останнім часом грозова активність на території України суттєво зросла. Це може бути прояснено глобальним потепленням клімату Землі, адже відомо, що в районах ближчих до екватору грозова активність суттєво вища ніж в районах ближчих до полюсів. Окрім того, статистика наведена у Вашому листі демонструє циклічність змін грозової активності по рокам. В середньому на Землі чоловік спостерігає 40-50 грозових годин за рік. Всі грози в цілому посиляють до землі в середньому 4-5 блискавок на кожен квадратний кілометр поверхні. Існуючи в Україні нормативні документи нормують як кількість грозових годин так і кількість ударів блискавки в квадратний кілометр поверхні Землі. При цьому для такого нормування кількості грозових годин використовуються мапи наведені в ПУЕ шостої редакції, а для перерахунку в удари у квадратний кілометр поверхні використовують аналітичний вираз, який може давати суттєву похибку. Дослідження блискавки проведені в країнах Євросоюзу демонструють, що на окремо взятій території, наприклад адміністративній області, грозова активність в різних її районах може суттєво різнитися. Результати подібних досліджень показують, що грозова активність вздовж траси повітряної лінії електропередавання (ПЛ) може суттєво відрізнятися, а це в свою чергу обумовлює появу найбільш небезпечних з точки зору блискавкозахисту ділянок ПЛ. В зв'язку з вище наведеним ми вважаємо, що проведення роботи по розробці мап грозової активності дозволить виявити найбільш небезпечні місця, з точки зору блискавкозахисту існуючих елементів електричних систем таких, як ПЛ та підстанції високої та надвисокої напруги. Розробка таких мап дозволить враховувати активність блискавки

на етапі проектування нових підстанцій та прокладання трас ПЛ, що суттєво збільшить надійність роботи електричних систем.

Основним устроєм захисту ПЛ є грозозахисний трос, який має кут захисту відносно дротів. Удари блискавки в ПЛ достатньо часто призводять до автоматичних відключень. Вони обумовлені тим, що ізоляція ПЛ не розрахована на величини напруги, виникаючих при ударі блискавки. Напруга на гірляндах ізоляторів зростає в десятки разів і викликає імпульсне перекриття, яке, при існуючих ізоляційних проміжках, із 100 відсотковою імовірністю переходить в дугове замикання. Таке замикання може призвести до руйнування ізоляторів гірлянди, яке має тяжкі наслідки для ПЛ у вигляді аварійного відключення. Для тросового блискавководу як зона захисту прийнята симетрична двоскатна поверхня яка в поперечному перетині вертикальною площиною дає рівнобедрений трикутник. У нормативних документах по блискавко захисту існує набір емпіричних формул для побудови зон захисту блискавководів простих типів. Практика, що давно склалася, якось затулила принципову неоднозначність самого поняття зони захисту блискавководу. Значенню імовірності прориву блискавки відповідає множина різних за формою зон захисту, і вибір єдиної зони може опинитися далеко не оптимальним. Об'єм зони захисту рідко заповнений цілком. Коли об'єкт займає малу її частку (а так найчастіше і буває на практиці), висота громовідводу виявляється надлишковою. Для високих об'єктів і ще вищих громовідводів це обертається невмотивованими матеріальними витратами, особливо помітними, коли від захисту потрібна висока надійність. Розташовуючи об'єкт усередині зони захисту проектувальник не має уявлення про його фактичну захищеність. При видаленні об'єкту від межі в глиб зони вірогідність прориву може падати на порядки. Щоб її уточнити, необхідно виконувати чисельні розрахунки. Нарешті, і це головне, зони захисту можуть бути побудовані з достатньою достовірністю тільки для однотипних громовідводів простої конфігурації - стрижньових і тросових.

Поняття кута захисту використовується при проектуванні тросових громовідводів ліній електропередавання. Кут вважається за позитивний, коли фазні дроти підвішені далі за троси від осі і тому в якійсь мірі відкриті для низхідних блискавок. Чим менше горизонтальний зсув дроту щодо троса і чим вище підвішений трос, тим менше вірогідність прориву блискавки на дріт ПЛ. Із зростанням позитивного кута надійність захисту знижується. Кут захисту вводився як параметр, при допомозі якого сподівалися узагальнити досвід спостережень за ураженнями блискавками ліній електропередачі різної конструкції. Виявилось, що кут захисту не може служити вичерпною характеристикою захисних властивостей троса. Окрім кута лінію доводиться характеризувати перевищенням троса над дротом і висотою підвісу троса. На практиці набули поширення емпіричні формули, які зв'язують вірогідність прориву блискавки до дроту з висотою підвісу дроту. З помилкою до 300% вони дають підтверджені досвідом експлуатації

значення вірогідності прориву. До формул слід відноситися дуже обережно, коли справа стосується опор вище 50 м при малих позитивних і особливо при негативних кутах захисту. Тим не менш, ці формули демонструють привабливість негативних кутів захисту. Дія тросів, розміщених далі від осі опори, чим фазні дроти (негативні кути захисту), суттєво відрізняється від дії тросів з позитивним кутом захисту. За допомогою тросу з негативним кутом захисту можна було б забезпечувати виключно низьку вірогідність прориву блискавок до дротів лінії.

Для розробки рекомендацій по підвищенню надійності роботи ПЛ СВН в грозовий період на наш погляд необхідно виконати наступні роботи: розробити чи уточнити існуючі мапи грозової активності; на основі отриманих мап виявити на трасі ПЛ СВН слабкі місця з точки зору активності блискавки; виконати аналіз геологічних особливостей трас ПЛ; на основі проведеного аналізу виявити ділянки ПЛ СВН, які потребують спеціальних заходів з точки зору блискавки захисту; розробити, на базі аналізу та спеціальних розрахунків, засоби підвищення грозоупорності елементів ПЛ СВН на цих ділянках; на базі отриманих результатів провести уточнення нормативних документів України з блискавки захисту.

УДК 621.315.1

РОЗРАХУНОК ЙМОВІРНОСТІ ВІДКЛЮЧЕНЬ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ 6-35 КВ ВІД ГРОЗОВОЇ АКТИВНОСТІ

Данильченко Д.О., Дривецький С.І., Шевченко С.Ю.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Забезпечення електроенергією споживачів завжди пов'язане з будівництвом ліній. Найбільшого поширення в сільській місцевості, на відкритих просторах отримали саме повітряні лінії електропередач. У порівнянні з кабельними вони мають меншу вартість і щільність забудови. У містах і великих населених пунктах, як правило, цей вид не використовується.

Однак без проектування і будівництва повітряних ліній електропередач зараз неможливо обійтися. З економічної точки зору це найбільш вигідний спосіб передачі енергії на великі відстані. Передача під високою напругою (110 кВ і вище) дозволяє з мінімальними втратами забезпечити віддалені райони електрикою.

Орієнтиром для фахівців служать ПУЕ, які наказують певні значення технічних параметрів для різних кліматичних умов. Географічне розташування ділянки та погодні явища, актуальні для цього регіону, дуже важлива роль при прорахунку параметрів повітряних ліній електропередач. Також необхідно брати до уваги температурні показники (максимальну і мінімальну за рік).

Оскільки повітряні лінії експлуатуються на відкритому повітрі і цілий рік піддаються зовнішнім впливам, слід особливо ретельно підбирати матеріали і типи конструкційних елементів. Серед основних факторів можна виділити вітрові навантаження і інтенсивність ожеледних явищ. Показники цих впливів в різних районах країни послужили основою для складання спеціальної карти, де вказані межі тієї чи іншої зони. Фахівцю потрібно користуватися даними графічними матеріалами, при необхідності уточнюючи їх.

Грозові перенапруги на високовольтних лініях (ВЛ) виникають в результаті прямого удару блискавки в ПЛ (в опорі, в грозозахисний трос, в фазний провід) і в результаті дії наведеної напруги при ударі блискавки в об'єкти поблизу ПЛ (дерева, будови). При цьому, на лінійній ізоляції виникають перенапруги, що призводять до так званого перекриття ізоляції по повітрю (перекриття ізоляції). Перекриття ізоляції може призвести до виникнення стійкої силовий дуги - стійкого короткого замикання (КЗ) фази на землю. Ряд методик встановлює ймовірність встановлення силовий дуги (стійке КЗ) трохи менше 1 при імпульсному перекритті ізоляції ПЛ 110 кВ в мережах з заземленою нейтраллю. В результаті спрацьовує релейний захист і автоматика підстанції (РЗіА ПС), яка відключає КЗ на ВЛ. Лінія стає знеструмленою, а споживачі недоотримують електроенергію.

Підвіска грозозахисних тросів, що є основним грозозахисним заходом на лініях класів напруги 110 кВ і вище, мало ефективна для ліній 6-35 кВ, що викликано низькою імпульсною міцністю ізоляції 6-35 кВ. Внаслідок цього ймовірність зворотних перекриттів при ударах блискавки в опорі або в трос виявилися б, при звичайних значеннях опорі заземлення опор, досить значною. Тому лінії 6-35 кВ споруджуються, як правило, без тросів. Винятки становлять лише особливо відповідальні лінії 35 кВ на металевих опорах.

На відміну від ліній більш високого класу напруги, лінії 6-35 кВ на металевих опорах часто відключаються внаслідок впливу індукованих перенапруг, здатних викликати перекриття ізоляції 35 кВ, в п'ять разів більше, ніж число перенапруг, небезпечних для мережі 110 кВ. Причиною цього також є невисока імпульсна міцність ізоляції ліній 6-35 кВ на металевих опорах.

Випадки двофазного і трифазного перекриття характеризується різними можливостями переходу імпульсного перекриття в коротке замикання.

Розрахунки показали, що n_{σ} -кількість відключень ліній електропідведення мають значення:

- для ПЛ 6-10 кВ на дерев'яних опорах - в межах від 2 до 6;
- для ПЛ 6-10 кВ на з/б опорах - в межах від 10 до 30;
- для ПЛ 20-35 кВ на дерев'яних опорах - в межах від 5 до 15.

УДК 621.319.4

ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК НА ПС ОБЛЕНЕРГО УКРАЇНИ

Данильченко Д.О., Кузнецов Д.С.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Розглянуто основні моменти впровадження конденсаторних установок (КУ) на ПС Обленерго України.

Насамперед, ПС для оснащення КУ обирається згідно:

- з попередньо виконаним техніко-економічним обґрунтуванням (ТЕО) впровадження КУ для певного енерговузла системи або всієї області. ТЕО виконується незалежною проектною організацією;
- з ініціативи виробничо-технічного відділу або диспетчерської служби певного Обленерго, після самостійного аналізу перетоків реактивної потужності в своїй системі.

Після визначення ПС, яка буде оснащена КУ, наступним кроком йде розрахунок потужності даного обладнання.

Вкрай невірно приймати потужність КУ згідно інформації поточного розподілу системи, без наявності даних статистики споживання електроенергії (е/е) ПС яка оснащується КУ, так як на схемі поточного розподілу вказано навантаження згідно певного сезону (літній або зимній режимний день) і не має перед очима всієї картини споживання е/е даною ПС.

Для прикладу на рис. 1 приведено фрагмент поточного розподілу системи АТ «Вінницяобленерго» станом на зимній режимний день 2019 р.

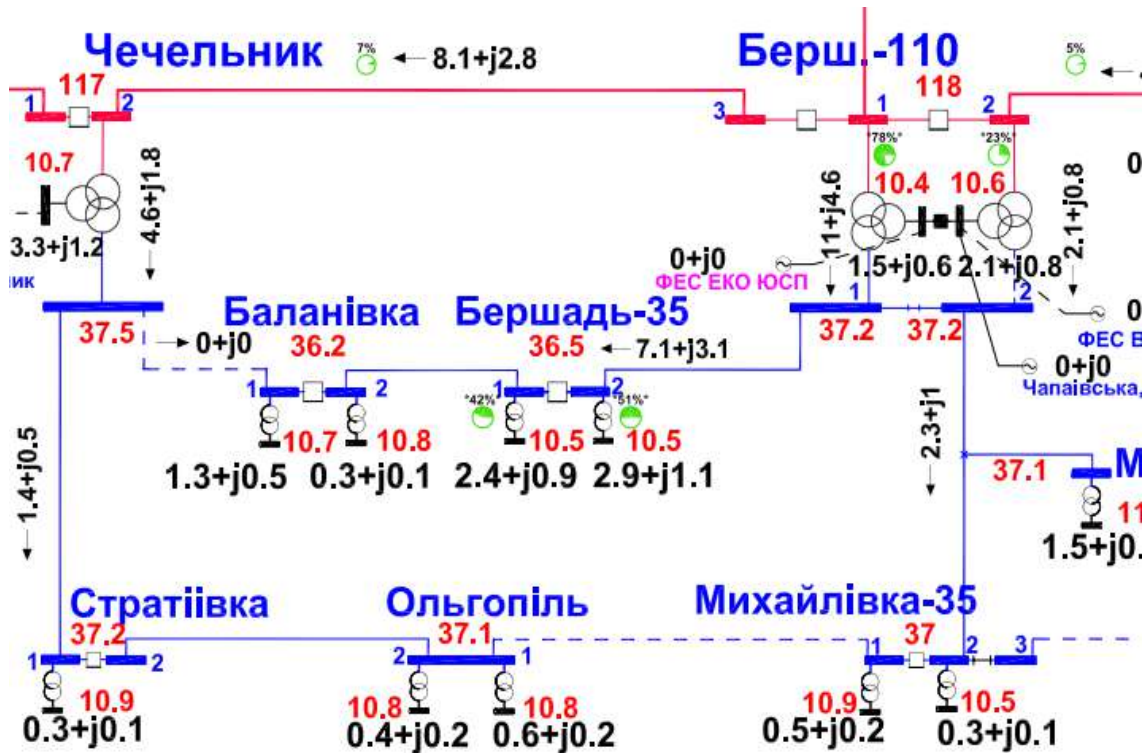


Рисунок 1 – Фрагмент системи поточкорозподілу системи АТ «Вінницяобленерго»

Звернемо увагу на ПС «Бершадь-35», де згідно даних поточкорозподілу трансформатор:

- Т-1 споживає $2,4+j0,9$ (МВт+МВАр)
- Т-2 споживає $2,9+j1,1$ (МВт+МВАр)

А тепер якщо ми поглянемо на дані з АСКОЕ по вводам 10кВ за грудень 2019р., які приведені на рис. 2-3, то можна зробити висновок, що дані реактивної потужності згідно поточкорозподілу та дані з АСКОЕ по вводам 10кВ ПС «Бершадь-35» взагалі не збігаються.

Якщо КУ для ПС «Бершадь-35» була би розрахована тільки по даним поточкорозподілу, то це призвело би до:

- великого перезамовлення в плані потужності і подальшої генерації реактивної потужності в систему 35кВ що недопустимо;
- завантаженню трансформатору генеруємою реактивною потужністю;
- марнотрацтва коштів Замовника.

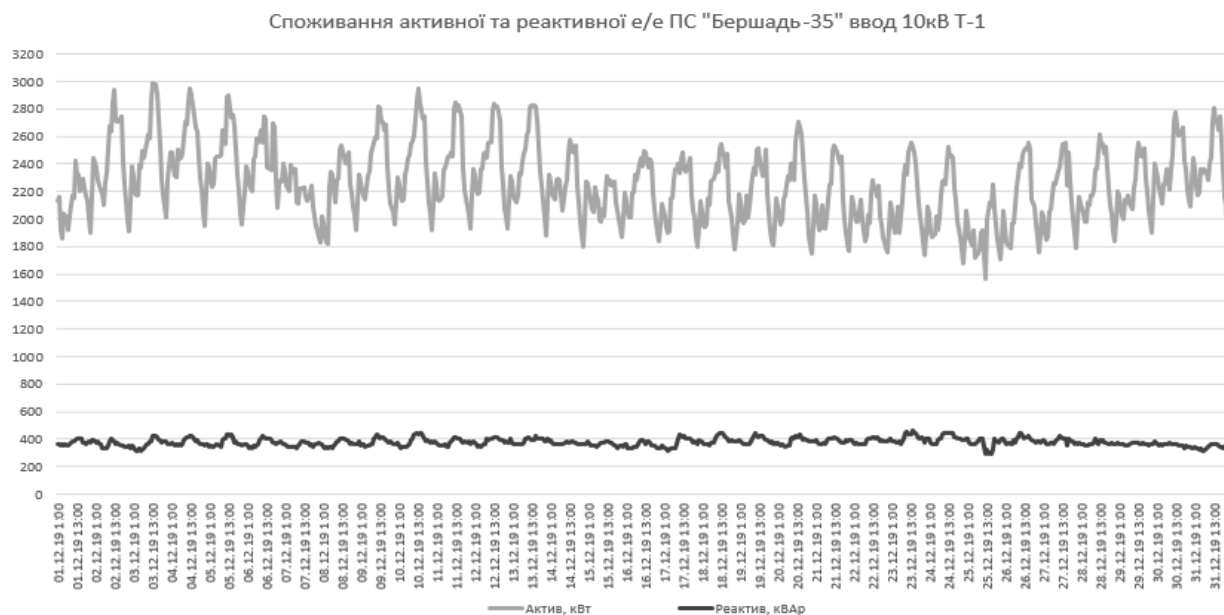


Рисунок 2 – Дані споживання е/е по вводу 10кВ Т-1 ПС «Бершадь-35» за грудень 2019р.

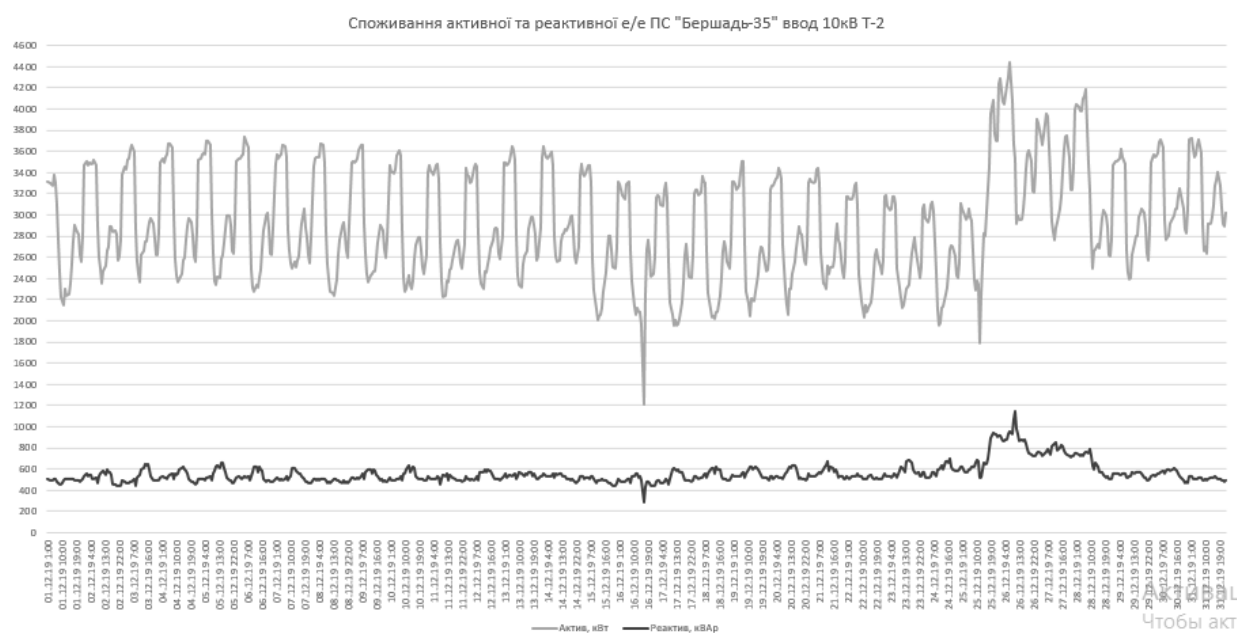


Рисунок 3 – Дані споживання е/е по вводу 10кВ Т-2 ПС «Бершадь-35» за грудень 2019р.

Для правильного розрахунку потужності КУ необхідно опиратися на наступну інформацію:

- 1) Данні погодинного споживання активної та реактивної е/е;
- 2) Данні помісячного споживання активної та реактивної е/е;

- 3) В разі відсутності реактивного обліку на ПС (зустрічається дуже часто) опиратися на данні активного навантаження та на $\cos \phi$ живлячої лінії, або виконати виміри активної та реактивної e/e спеціальними багатофункціональними приладами.

Система керування КУ (автоматична або нерегульована) обирається для кожної ПС окреме в залежності від графіку споживання e/e .

Після визначення потужності КУ, обов'язковим пунктом є проведення вимірів показників якості e/e (ПЯЕ) на даній ПС. Це потрібно для:

- вибору номінальної напруги конденсаторних батарей з урахуванням діючої напруги на вводі ПС.
- вибору технічних характеристик конденсаторних батарей, щодо впливу на них вищих гармонік.

Якщо знехтувати вимірами ПЯЕ, це може призвести до виходу з ладу конденсаторної батареї по причині несумісності технічних параметрів КУ з параметрами мережі ПС.

Висновки.

Було освітлено лише основні та самі важливі особливості впровадження КУ на ПС Обленерго України. Вказано, як правильно та з якими даними працювати для вибору потужності КУ, а також послідовність впровадження на ПС виходячи з практичного досвіду.

Хочеться наголосити що, ще дуже багато нюансів залишаються поза даною статтею.

УДК 621.31

СИСТЕМА ІНДИВІДУАЛЬНИХ СОНЯЧНИХ СТАНЦІЙ ЯК МАНЕВРУЮЧА ОДИНИЦЯ. ПОШУК ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ

Данильченко Д.О., Потривай А.Е.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Сучасні реалії енергетики України диктують необхідність корінних змін у підході до альтернативної енергетики, адже встановлена система лише зашкоджує нормальному функціонуванню електроенергетичної системи України. Поточний проект «Ethereal village» спрямований не тільки на створення комфорт-

них умов для користувачів будинку, але й для рішення ряду проблем електроенергетики. Однією з них є безграмотне використання ресурсів ВДЕ.

Простим і дієвим рішенням даної проблеми є автоматичні керування й обмін інформацією між генеруючими одиницями, реорганізація об'ємів виробництва між змінами (більші об'єми на нічну зміну та менші в пікові години). Саме перший варіант планується реалізувати в «Ethereal village».

Оскільки кожен будинок в котеджевому селищі обладнаний сонячними батареями і мають накопичувальну систему в вигляді одного великого акумуляторного блоку, «Ethereal village» може стати одним з маневруючих одиниць в електроенергетичній системі. За автономне маневрування буде відповідати нейромережа, що аналізує вхідні данні з усіх сонячних модулів, електроенергетичної системи та метеорологічні данні. Функціями керуючої ланки є прогнозування генерації та споживання електроенергії котеджного селища та, в залежності від потреб ЕЕС, компенсація.

Реалізація функції прогнозування можлива через два відомих типи нейромереж: персептрон та дерево прийняття рішень. Багатошаровий персептрон – нейронна мережа, що складається з шарів, кожен з яких складається з елементів – нейронів. Елементи можуть бути трьох типів: сенсорні, асоціативні й реагуючі. Багатошаровим він називається через те, що містить в собі декілька шарів, що навчаються (А шари).

Дерево прийняття рішень – засіб підтримки рішень, що використовується в статистиці й аналізі даних для моделей програмування. Основною його ціллю є створення моделі, що прогнозує результат цільової змінної, за допомогою вхідних змінних. Після машинного навчання scikit-learn було для аналізу ефективності було запущено генератор випадкових подій і перевірено роботу обох систем. Дерево прийняття рішень виявилось ефективнішим (коефіцієнт детермінації 0,92) за персептрон (коефіцієнт детермінації 0,57) через його низьку стійкість до «непередбачуваних шумів». Пояснюється це тим, що персептрон є більш уразливим до даних, які сильно відмінні від загальної вибірки.

На основі проведеного дослідження можна зробити висновки, що система прогнозування на основі дерева прийняття рішень, є досить надійною і здатною достатньо точно визначити коротко- і середньострокову генерацію й надає можливість перетворити систему з індивідуальних сонячних станцій в «Ethereal village» в повноцінну маневруючу одиницю.

УДК 621.31

РОЗМЕЖУВАННЯ ЗОН ВПЛИВУ БЛИСКАВОК НА ПОВІТРЯНІ ЛІНІЇ**Данильченко Д.О., Слєпченко О.С.***Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Гроза – атмосферне явище, пов'язане з електричними розрядами в купчасто-дошових хмарах. Супроводжується блискавкою та громом. Гроза відноситься до одних з найнебезпечніших для людини природних явищ, але не тільки для життя, але і для функціонування.

Як раніше було написано, що гроза супроводжується блискавкою, а блискавка це електричний розряд між хмарами або між хмарою та землею. У процесі утворення опадів у хмарі відбувається електризація крапель або льодяних частинок. Унаслідок сильних висхідних потоків повітря в хмарі утворюються відокремлені області, заряджені різнойменними зарядами. Коли напруженість електричного поля у хмарі або між нижньою зарядженою областю і землею досягає пробійного значення, виникає блискавка. Так як блискавка це електричний розряд, то він може мати вплив на електроенергетичні об'єкти, наприклад на повітряні лінії електропередачі. Внаслідок дії грози на повітряні лінії може виникнути перенапруга.

Грозові перенапруги, що виникають в результаті удару блискавки безпосередньо в лінію або в результаті наведення напруги на дротах при ударі поблизу. При цьому на дротах відносно землі виникає висока напруга, під дією якої в обидва боки від місця удару уздовж лінії поширюються електромагнітні імпульси. Час наростання таких імпульсів від нуля до максимуму амплітуди (сотні тисяч вольт) на відміну від комутаційних може досягати мікросекунди, що робить їх дуже небезпечними для обладнання і людей, які працюють на лінії.

Для сучасних будівель у великих містах, які останнім часом буквально напхані чутливою апаратурою, джерелом грозових перенапруг може стати не тільки живильна мережа, а й похмуре небо в грозовий сезон. З цих причин все більшої популярності починають набувати системи блискавкозахисту, які захищають людей, обладнання та інформацію.

Функціонально система блискавкозахисту ділиться на:

- зовнішню, яка складається з блискавкоприймачів, струмовідводів і заземлюючих електродів. У разі удару зовнішній блискавкозахист «вловлює» блис-

кавку і відводить її в землю, тим самим виключаючи ймовірність контакту будь-якої частини будівлі з каналом блискавки.

- внутрішню – служить для усунення перенапруг і складається зі спеціальних обмежувачів перенапруг, встановлених як на живильну, так і на телекомунікаційну лінії.

Існує таке поняття, як зони впливу блискавки. За міжнародними стандартами прийнято розрізняти п'ять зон впливу блискавки:

- зона 0а – враховується прямий удар блискавки з повним магнітним полем.

- зона 0в – не враховується прямий удар блискавки, але враховується індукований або частковий струм блискавки і повне магнітне поле.

- зона 1 – захист від прямого удару блискавки, але враховується індукований або частковий струм блискавки і ослаблене повне магнітне поле.

- зона 2 – захист від прямого удару блискавки, але враховується індукований або обмежений струм блискавки і ослаблене магнітне поле.

- зона 3 – захист від прямого удару блискавки, але враховуються індуковані блискавкою струми і ще більш ослаблене магнітне поле.

УДК 620.92

ТРИГЕНЕРАЦІЯ ЯК ЗАСІБ БАЛАНСУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ПРИСАДИБНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Діордієв О.О.¹, Довгалюк О.М.², Жарков А.В.³

¹ Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного, Україна, м. Мелітополь

² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, м. Харків

³ ТОВ "ЮБС - Холод", Україна, м. Харків

На території Європи сонячна енергетика (СЕ) є надзвичайно швидкими напрямком в області відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [1]. Німеччина є незмінним лідером з розвитку СЕ в Європі, як по наземним сонячним електростанціям (СЕС), так і за індивідуальними установкам, переважно даховими СЕС [2], і в цьому сегменті «більш звичними» стануть когенераційні (комбіновані) і, зокрема, тригенераційні сонячні електростанції (ТГСЕС) [3] та ТГСЕС з накопичу-

вачами енергії [3, 4]. Розміщення СЕС на дахах і фасадах - один з механізмів наближення об'єктів розподіленої генерації (ОРГ) до споживача [1, 2]. В даний час в Німеччині встановлено близько 1,5 млн. дахових сонячних систем, більшість з яких належать фізичним особам [1, 2]. СЕ розвивається в напрямках генерування електрики і тепла [1, 3, 4]. Взимку більше половини енергоспоживання Великобританії витрачається на обігрів житла (18 ± 3 °C), саме в таких випадках енергію вигідно накопичувати у вигляді низькопотенційної теплоти [1]. Незважаючи на існуючі проблеми в економіці, Україна є безумовним лідером серед країн пострадянського простору в розвитку ВДЕ в цілому, і СЕ зокрема [1, 2].

Метою роботи є аналіз функціонування приватних СЕС щодо їх інтеграції в локальну електросистему (ЛЕС) з розподіленою генерацією (РГ), обґрунтування тригенераційної технології, розробка ТГСЕС з гібридними фотоелектричними модулями (ГФЕМ) і тепловими акумуляторами (ТА) [3,4].

У будь-якій ЛЕС з ОРГ доцільно використовувати накопичувачі енергії [4]. Це дозволить вирівняти добовий графік навантажень (ДГН) в різні періоди добового і сезонного попиту на електроенергію та створити Smart Grid систему [2].

Стрімкий попит населення нашої країни на «сонячну» енергію пояснюється прийнятим в 2015 році Законом України, який встановив «зелений» тариф на електроенергію, вироблену приватними СЕС потужністю до 30 кВт, з прив'язкою до курсу євро. Стимулом до переходу на «чисту» енергію є не тільки бажання сімей стати більш незалежними, але і можливість заробити на продажі надлишку електроенергії в мережу за «зеленим» тарифом, який на сьогоднішній день становить 18 євроцентів за кВт·год [1, 2].

Середньомісячна кількість сумарної енергії, що вироблена СЕ і надходить на територію України, знаходиться приблизно в межах 1000-1400 кВт·год/м². Дана сонячна активність порівнянна з умовами Німеччини, де приватних геліоустановок налічується в 1400 разів більше, ніж в Україні [1, 2]. З 6,5 млн. приватних домогосподарств України, завдяки закону про «зелений» тариф, на 1.10.2020 р. в країні вже 27623 сімей використовують сонячні панелі (рис. 1).

Загальна потужність присадибних СЕС в Україні складає 712 МВт, на що приватними домовласниками інвестовано близько 560 млн. євро власних коштів. Тільки у III кв. 2020 р. було уведено 53 МВт (+8%), а кількість власників збільшилася майже на 2 тис.

ДГН приватних СЕС добре корелюють з ДГН переробних підприємств міста, і можуть створювати спільні ЛЕСРГ, які благотворно впливають на ОЕС України [2]. Вони не тільки знижують навантаження на центральну генерацію, що сприяє вирівнюванню ДГН енергосистеми, а й знижують втрати в лінії електропередачі за рахунок вироблення електроенергії в місцях її споживання. Саме РГ більш корисна для стабільності ОЕС, ніж концентрація гігантських СЕС і ВЕС на півдні України, і зокрема в Запорізькій області, які є найбільшими в Єв-

ропі: Запорізька АЕС, Ботієвська ВЕС, Токмацька СЕС потужністю 50 МВт та дві промислових СЕС, загальною потужністю близько 50 МВт, в Мелітополі. Така гігантomanія ВДЕ створює проблеми в балансуванні потужності ОЕС України.



Рисунок 1 – Динаміка збільшення кількості присадибних СЕС на 1.10.2020 р.

Щодо водяного електроопалення приватного будинку, то найбільш ефективним на сьогоднішній день є поєднання електродкотла і водяного ТА в підвальному приміщенні, когенераційної СЕС з гібридним ФЕМ на даху, договору з енергопостачальником на пільговий тариф на опалювальний сезон і дифтарифного електролічильника [1]. Запропонована схема електроопалення дає суттєву економію коштів домовласникам, позитивно впливає на ДГН ОЕС України, зменшує втрати електроенергії в ЛЕСРГ.

Використання ТА з ТАМ на базі мірабіліту [4] створює можливість підтримки в присадибних весняних неопалюваних теплицях температурного режиму, оптимального для вирощування рослин, оберігаючи їх від перегріву в денні години і від заморозків вночі.

Присадибні СЕС з тригенераційними ФЕМ циліндричної форми [3], слід розглянути як об'єкт інформаційного моделювання Smart Microgrid [2], і розробити систему автоматичного управління (САУ) для двох режимів: 1 - «зима» і 2 - «літо». Особливості роботи такої САУ полягають в наступному:

1) взимку, в опалювальний період, САУ забезпечує роботу ФЕМ з максимальною віддачею теплоти, в межах добової потреби, і максимальну генерацію електроенергії в світлий час доби;

2) влітку САУ забезпечує роботу ФЕМ з максимальним електричним ККД, тобто підтримує температуру 25 °С, а надлишок теплоти перетворює в холод, для роботи кондиціонерів та для охолодження технологічних приміщень та процесів від перегріву, зокрема комор, присадибних теплиць тощо.

В обох режимах, і взимку, і влітку, САУ не повинна відпускати електроенергію в енергосистему при піку навантаження ОЕС України, використовуючи для балансування ТА або електричні акумулятори, зокрема і електромобілів [5], знижуючи пікове навантаження в ОЕС України, і зменшуючи втрати електроенергії в мережі; в перспективі вони можуть створити локальну мережу станцій для зарядки електромобілів [5], кількість яких у світі стрімко зростає. Наприклад, Індія планує перейти на електромобілі до 2030 року, а Китай, Великобританія і Франція - до 2040 року [1]. Для покриття потреб такого навантаження подібні СЕС невеликої потужності [3]. Для забезпечення потреб з електроживлення кондиціонерів та інших електроприймачів невеликої потужності для побутових та комунальних споживачів слід також встановлювати СЕС на дахах готелів, офісів та ін. установ.

Масове використання приватних СЕС, в числі інших ВДЕ, знижує викиди в атмосферу парникових газів від спалювання традиційних енергоносіїв. Цим досягається зниження темпу глобального потепління нашої планети, яке є головним екологічним питанням нашого часу.

Список використаних джерел:

1. Yudaev I.V. Private Solar Power Plants of Ukraine of Small Capacity: Features of Exploitation and Operating Experience / I.V. Yudaev, Yu.V. Daus, A.V. Zharkov, V.Ya. Zharkov // Applied Solar Energy. – 2020. – Vol. 56. – № 1. – PP. 54-62.
2. Halko S.V. Technologies and means of transformation of renewable energy sources for private households: monograph / S.V. Halko, V.Ya. Zharkov, A.V. Zharkov. – Melitopol: Lux, 2019. – 215 p.
3. Діордієв О.О. Автономна сонячна тригенераційна енергоустановка/ О.О. Діордієв, О.М. Довгалюк, А.В. Жарков // Збірник наукових праць II Всеукраїнської науково-технічної конференції «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2018)». – Харків: «Друкарня Мадрид», 2018. – С.48-59.
4. Галько С.В. Застосування сучасного теплоакумуючого матеріалу для стабілізації температури в технологічних процесах приватного домогосподарства / С.В. Галько, О.М. Довгалюк, А.В. Жарков, В.О. Хромишев // Збірник наукових праць III Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2019)». – Харків: «Друкарня Мадрид», 2019. – С.63-64.
5. Галько С.В. Про перспективу використання приватних сонячних електростанцій для зарядки екомобілів в Україні / С.В. Галько, О.М. Довгалюк, А.В. Жарков, В.Я. Жарков // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології». – Харків: ХНАДУ, 2018. – С. 54-56.

УДК 621.315.1

АНАЛІЗ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОДІВ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Довгалюк О.М.¹, Дьяков Є.Д.², Сиромятнікова Т.В.²

¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків

² Харківський національний університет міського господарства імені
О.М. Бекетова, Україна, м. Харків

Повітряні лінії електропередачі (ПЛ) є одним з основних структурних елементів в системах передачі та розподілу електричної енергії, від надійної роботи яких залежить надійність всієї системи електропостачання. Одночасно з цим, ПЛ є тим елементом, на режими роботи якого впливає значна кількість різних факторів, під впливом яких в процесі експлуатації ПЛ виникають різного роду механічні коливання проводів, які в ряді випадків супроводжуються руйнуванням ліній. Отже дослідження механічних характеристик проводів ПЛ є важливим і актуальним завданням для забезпечення надійності роботи електричних мереж.

Основним зовнішнім чинником, який викликає коливання проводів повітряних ліній електропередачі (ПЛ), є вплив вітру. Найбільш поширеними видами коливань проводів, що виникають під впливом тільки вітру, є вібрація, яку називають еоловою, коливання проводів розщеплених фаз внаслідок впливу аеродинамічного сліду і субколивання.

Вібрації, що викликаються вітром, відбуваються в основному у вертикальній площині і утворюють на довжині прольоту стоячі хвилі з частотою коливань від 3 до 150 Гц з довжиною напівхвилі від 1 м до 30 м. Ця вібрація є результатом впливу на провід поперечно спрямованого аеродинамічного потоку зі швидкістю від 0,6 до 7 м/с, що створює за проводом вихрові рухи повітря, які періодично виникають і зриваються. Виникаючи за проводом, вихори несуться повітряними потоками, сприяючи утворенню наступних вихорів з протилежним напрямком обертання.

Під впливом вихорів на провід починають впливати періодичні імпульси сили. При збігу частоти таких динамічних імпульсів з однією з власних частот пружної системи, яку представляє собою натягнутий в прольоті провід, виникає його вібрація, амплітуда коливань якої поступово зростає. Розвиток коливань і зростання їх інтенсивності триває до тих пір, поки не настає стан балансу між

енергією вітру, яка сприймається у вигляді аеродинамічних імпульсів, і втратами на розсіювання енергії проводом, який коливається.

При певних атмосферних умовах на проводах ПЛ утворюється ожеледь, що призводить до спотворення циліндричної поверхні проводу. Під впливом вітру на таких ПЛ можуть виникати механічні коливання, з частотою 0,2 – 2 Гц, амплітуда яких досягає стріли провисання проводу. Такі коливання отримали назву «танець проводів». Це призводить до утворення стоячих хвиль з однією або декількома півхвилями в прольоті. Механічні навантаження, що виникають під час танцю проводів впливають на проводи, опори і сполучну арматуру та приводять до скорочення їх терміну служби.

Виникати подібні механічні коливання проводів можуть і за відсутності ожеледі і вітрових навантажень, наприклад, коли вітер спрямований під гострим кутом до ПЛ або при сильних зливових дощах [1]. Характерною особливістю даних коливань є залежність їх частоти від температури і виникнення резонансу, коли коливання температури відбувається з подвійною частотою коливань системи. Згодом дані коливання отримали назву терморезонансні. Дослідження терморезонансних моделей показали, що основний внесок енергії в коливальний процес вносить нагрів проводу струмом навантаження і подальший конвективний теплообмін з навколишнім середовищем. Виникненню терморезонансних коливань сприяють також сторонні висхідні теплові потоки [2].

Особливим типом фізичних коливань є коливання температури, які називаються температурними або термічними осциляціями. Викликати термічні осциляції можуть періодичні процеси різної фізичної природи – теплові, механічні, електричні, магнітні, оптичні, акустичні та ін. Незалежно від причини виникнення, термічні осциляції, в свою чергу, викликають різні періодичні зміни розмірів і форми проводів ПЛ, що призводить до зміни положення проводів в просторі, тобто механічні вібрації. Такі комбіновані коливання відносяться термомеханічних. Комбіновані електротермічні коливання можуть виникати в проводах ПЛ при проходженні по ним електричного струму.

Вивчення особливостей температурних осциляцій і їх ролі у виникненні коливань іншої фізичної природи, а також зворотний вплив цих коливань на інтенсивність періодичних змін температури дозволили зробити висновок, що такого роду взаємодії, незважаючи на відмінності фізичних механізмів, відрізняються двостороннім або багатостороннім взаємним впливом. Особливий інтерес представляють процеси параметричної взаємодії, які викликають виникнення в системі комбінованих автоколивань.

Таким чином, дослідження механічних характеристик проводів ПЛ дозволить розробити відповідні заходи для захисту від негативного впливу факторів, що призводять до механічних коливань проводів, впровадження яких забезпечить підвищення надійності роботи електричних мереж.

Список літератури:

1. Яковлев Л. В. Пляска проводов на воздушных линиях электропередачи и способы борьбы с нею. - М.: НТФ "Энергопрогресс", 2002. - 96 с.
2. Вермель А.С. Терморезонансные колебания упругих систем с распределёнными параметрами. - Харьков.: ХПИ. Сб. Математические методы анализа динамических систем. – 1979. - С. 54-60.

УДК 621.311

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Довгалюк О.М., Стріляний І.Ю.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Згідно з прогнозами МЕА ключову роль у глобальних потужностях ВДЕ у майбутньому гратиме сонячна енергетика. Про це свідчить також величина інвестицій в геліоенергетику у загальній структурі інвестицій світовими енергетичними компаніями, яка досліджена у [1] і представлена на рис. 1.

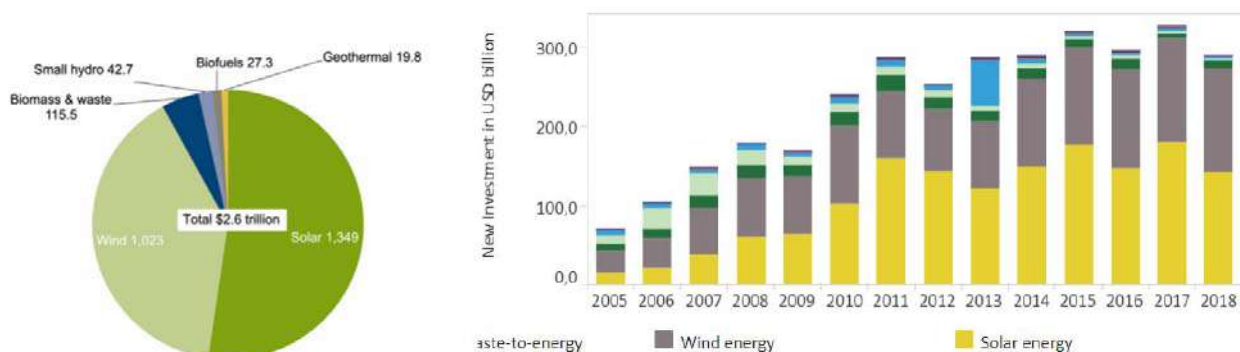


Рисунок 1 – Інвестиції у світі в розвиток ВДЕ:

а) загальні протягом 2010-2019 рр.; б) по роках з урахуванням структури

На світовому ринку сонячної енергетики стійке зростання генерації спостерігається вже понад 10 років. Протягом останніх років по всьому світі було встановлено понад 181 ГВт ВДЕ, а загальна встановлена потужність їх зросла більше ніж на 8%. І більшість з них приходить на сонячну енергетику [2]. За-

гальна потужність геліосистем перевищує 3% від загальносвітового вироблення енергії, у той же час цей показник для найбільш передових держав коливається в діапазоні 20-50%. Провідними державами в розвитку геліоенергетики на сьогоднішній день є США, КНР, Індія, значних результатів досягли також країни Латинської Америки, Єгипет, Іспанія і Голландія, які перевищили показники з генерації від сонячних електростанцій межу в 1 ГВт на рік.

Серед основних проблем, які визначені МЕА щодо розширення впровадження ВДЕ, слід відмітити політичну й нормативну невизначеність, високі інвестиційні ризики й системну інтеграцію вітрової та сонячної енергетики [1].

З урахуванням поточного стану розвитку сонячної енергетики, до перспектив розвитку цієї галузі у світі слід віднести наступні:

- нарощування темпів будівництва промислових та приватних сонячних електростанцій (СЕС), збільшення встановленої потужності СЕС;
- вдосконалення необхідної законодавчої бази щодо функціонування об'єктів сонячної енергетики;
- збільшення кількості та потужності системою накопичення електроенергії (СНЕ), що використовуються при роботі СЕС;
- вдосконалення технологій виробництва електричної енергії об'єктами сонячної енергетики;
- зниження вартості сонячних панелей та інших складових установок сонячної енергетики, зниження терміну окупності для об'єктів сонячної енергетики.

Таким чином, враховуючі основні тенденції розвитку геліоенергетики в світі і можливість використання інноваційних світових технологій, головним трендом розвитку сонячної енергетики є стрімкий її розвиток майбутньому.

Підключення СЕС до електроенергетичних систем (ЕЕС) відбувається через локальні електричні мережі, які є складовою частиною розподільних електричних мереж (РЕМ). Видача потужності СЕС є нестабільною, оскільки залежить від природних умов. Вони постачають електроенергію найближчим споживачам, а в разі надлишків енергії можуть її передавати в мережі централізованого електропостачання. Отже, розподільні мережі енергопостачальних компаній мають забезпечувати перетікання електроенергії від розподільних підстанцій до споживачів по РЕМ, а також від джерел розподіленої генерації через підстанції ЕЕС по живильним електричним мережам.

Збільшення частки СЕС в структурі генеруючих потужностей енергосистеми призводить до можливості частих змін величини генерованої активної потужності в значному діапазоні впродовж доби, що може позначитись на роботі як інших електростанцій енергосистеми, так і споживачів. Для якісного забезпечення балансів потужності в таких умовах енергосистема має вносити корективи до алгоритмів управління режимами роботи, які враховують вплив імовірного характеру генерації СЕС на збалансованість роботи ЕЕС.

Застосування СНЕ дає змогу використовувати СЕС при роботі ЕЕС як біль керовані джерела енергії, які здатні приймати участь у забезпеченні балансування потужності в пікових та напівпікових зонах графіку навантаження енергосистеми. Ця особливість також має враховуватись при плануванні режимів ЕЕС та формуванні алгоритмів забезпечення поточних режимів енергосистеми.

Таким чином, розвиток сонячної енергетики потребує коректування підходу до забезпечення режимів роботи сучасних енергосистем, які функціонують в умовах енергоринку.

Список використаних джерел:

1. IRENA. Global renewable energy investment trends [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Finance-and-Investment/Investment-Trends>.
2. REN21, Renewables 2019, Global Status Report, 2019. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf.

УДК 621.31:330.131.7

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ОБ'ЄКТІВ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ

Дишлевський А.В., Куліш Л.О., Трунова І.М.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства ім.
Петра Василенка, Україна, м. Харків*

Енергетична безпека залежить, насамперед, від технічного стану мереж електропостачання. Пропонується вдосконалення методики обґрунтування реконструкції розподільних мереж шляхом використання ризик-орієнтованого підходу. Сучасні технології керування ризиками базуються на інженерних розрахунках із застосуванням компетенцій в фінансових знаннях та знаннях стандартів менеджменту якості. Аналіз показав, що в обґрунтуванні реконструкції об'єктів розподільних мереж не визначаються пріоритетні об'єкти, в розрахунках не використовується прогнозна кількість відмов об'єктів.

Метою роботи є вдосконалення методики обґрунтування реконструкції розподільних мереж з розробкою блок-схеми алгоритму розрахунків для визначення пріоритетності об'єктів реконструкції. Для вирішення поставлених мети та задачі використовувалися методи аналізу нормативних та звітних докумен-

тів операторів систем розподілу та математичного моделювання тривалості відновлювальних робіт після відмови об'єктів розподільних мереж.

Приведені результати аналізу наслідків відмов обраних для прикладу повітряних ліній електропередачі щодо тривалості ремонтів. Доведено, що в умовах неповноти фінансування інвестиційних програм визначення пріоритетних об'єктів реконструкції є впливовим фактором на ефективність інвестицій. Розроблена блок-схема алгоритму розрахунків для використання в комп'ютерних програмах визначення пріоритетності реконструкції об'єктів розподільних мереж після визначення об'єктів з критичними наслідками відмови (загрози життю та здоров'ю людей, екологічних ризиків). Пропонується використання кількісної оцінки технічного стану об'єктів розподільних мереж, нормативів щодо трудомісткості робіт та кількості обслуговуючого персоналу в алгоритмі визначення пріоритетності реконструкції повітряних ліній електропередачі та трансформаторних підстанцій.

Зроблено висновок, що в умовах неповноти фінансування інвестиційних програм, запропоновані методика та блок-схема алгоритму визначення пріоритетних об'єктів реконструкції розподільних мереж може бути корисною для забезпечення виконання найбільш ефективних робіт з підвищення якості електропостачання.

УДК 004.942

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ

Дудніков С.М., Єгоров О.Б., Мороз О.М., Попадченко С.А., Савченко О.А.

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, Україна, м. Харків

Потужності сонячної енергетики в Україні зросли за останні 3 роки більш ніж у 7 разів. Подібна тенденція спостерігається в багатьох країнах світу, що пояснюється екологічністю сонячних електростанцій. Більш того, розвиток технологій сонячної енергетики триває, тому надійність елементної бази зростає, а ціна навпаки знижується. Однак для реалізації фотоелектричної системи істотним обмеженням є невизначеність потужності сонячного випромінювання. Це впливає на стабільність роботи енергосистем.

Прогнозування сонячної енергії відіграє ключову роль у плануванні роботи парку сонячних фотоелектричних установок. Сонячна енергія залежить від

сонячної радіації і погодних параметрів, таких як температура навколишнього середовища, швидкість вітру, хмарність. Задля досягнення високого рівня проникнення в мережу електроенергії, виробленої сонячними електростанціями, необхідно мати надійний метод її прогнозування.

Методи прогнозування генерації сонячних електростанцій можна поділити на два наступні умовні класи – моделі ясного неба [1] та моделі персистентності [2].

Прикладом моделей першого класу є, наприклад, моделі, що базуються на поліноміальній регресії. При цьому прогнозування передбачає використання попередніх значень освітленості, які можуть бути використані для коригування прогнозу ясного неба. Так, наприклад, модель ясного неба може використовувати функцію залежності інтенсивності сонячного випромінювання від косинуса сонячного зенітного кута $\cos\theta$, яка являє собою поліном третього ступеня

$$I = c_3 \cos^3 \theta + c_2 \cos^2 \theta + c_1 \cos \theta + c_0, \quad (1)$$

де c_0, c_1, c_2, c_3 – коефіцієнти полінома.

Недоліком моделей ясного неба є низька точність прогнозування на великих часових періодах.

Моделі персистентності [2] часто описуються через відношення виміряної освітленості до освітленості ясного неба

$$\hat{k}(t + \Delta t) = k^*(t) = \frac{I(t)}{I_{\text{ясн.неба}}(t)}. \quad (2)$$

Практичні підходи, які реалізують згадані методи прогнозування, можна поділити на наступні категорії – це підходи, засновані на часових рядах, чисельні методи з корекцією на основі статистичного виводу і методи м'яких обчислень [2, 3].

Перший з підходів базується на часових рядах величин сонячної енергії і параметрах погодних умов [2]. Для довгострокового прогнозування використовуються методи, засновані на часових рядах погодних параметрів, або даних про продуктивність сонячних електростанцій. Дані типового метеорологічного року (ТМР), які описують типові місяці синтетичного року, корисні тільки для прогнозування середньомісячної або навіть добової продуктивності фотоелектричних станцій. Шкала часу, менша, ніж день, вимагає знання хмарного покриття і його очікуваних миттєвих змін. Авторегресійні моделі, моделі ковзаючого середнього часто використовуються для опису лінійних взаємозв'язків між запізнюючими змінними і служать засобами лінійного прогнозування.

Чисельні методи з корекцією на основі статистичного виводу [2] - це комбіновані чисельні методи, що передбачають постобробку для об'єктивної

інтерпретації результатів чисельної моделі. Постобробка визначає статистичний зв'язок між спостережуваними погодними елементами і змінними, прогнозованими чисельною моделлю в деякий проекційний момент часу.

Методи м'яких обчислень характеризуються великою різноманітністю. До них зокрема відносяться моделі штучних нейронних мереж [3], або гібридні моделі (наприклад моделі, що поєднують вейвлет-декомпозицію, генетичні алгоритми з нейронними мережами).

Таким чином, аналіз показує, що моделі ясного неба дають досить точний прогноз генерації сонячних електростанцій, але в досить маленькому часовому горизонті – до 30 хвилин. Точність прогнозу на більший час різко знижується у зв'язку зі складністю прогнозу розвитку хмарного поля, а також зміни геометрії хмар. Значну перспективу в довгостроковому прогнозуванні мають чисельні методи з корекцією на основі статистичного виводу та просторово-часовою інтерполяцією і згладжуванням. При цьому точність прогнозування суттєво залежить від якості та адекватності вхідних даних, які використовуються в моделі.

Список використаних джерел:

1. Chauvin R., Nou J., Thil S., and Grieu S. Modelling the clear-sky intensity distribution using a sky imager. Solar Energy, vol. 119, pp. 1–17, 2015.
2. Kleissl J. Solar Resource Assessment and Forecasting, Elsevier, 2013
3. Wang S, Zhang N, Zhao Y, Zhan J. Photovoltaic system power forecasting based on combined grey model and BP neural network. 2011 international conference on electrical and control engineering, ICECE 2011- proceedings; 2011. p. 4623-4626.

УДК 681.5.08

ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГЕНЕРАТОРОМ НАДКОРОТКИХ ІМПУЛЬСІВ

Зайцев Р.В., Кіріченко М.В., Дроздов А.М., Зайцева Л.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

На теперішній час задача створення генераторів наносекундних імпульсів залишається вкрай вузькоспеціалізованою, однак досить актуальною. Основним напрямом використання таких генераторів є дослідження пов'язані зі створенням елементів і приладів захисту від електромагнітних імпульсів (ЕМІ) [1, 2].

Найбільш поширеним варіантом генератору наносекундних імпульсів є генератор заснований на кабельній зарядовій лінії [3]. Хвильові процеси в лінії-

10 - 13 листопада 2020 р.



Україна, Харків, НТУ «ХПІ»

ях з розподіленими параметрами описуються «телеграфними» рівняннями, що зв'язують напругу і струм в лінії. У містах з'єднання ліній з комутаторами, навантаженням і т.д., коли порушується однорідність ліній, можуть виникати відображення хвиль. Можна розрахувати напругу і струм в довільних точках будь-якого генератора, використовуючи поняття коефіцієнтів відображення і заломлення хвиль, а також закони Кірхгофа і правило Петерсена.

Для підключення до коаксіальної лінії з хвильовим опором 50 Ом методом пайки плівкові зразки розроблених раніше елементів захисту на основі телуриду кадмію [2] розміщувалися в модифікованих корпусах СВЧ-діодів типу Д403Б. Схематичне зображення зібраного корпусу з тонкоплівкових шаром наведено на рис. 1, а. Для цих корпусів була використана специфічна конструкція притисного протиелектрода, який виготовлявся з молібдену [2], що призвело до необхідності модернізації блоку керування вимірювального генератора імпульсів з метою створення імпульсів необхідної форми (рис. 1, б).

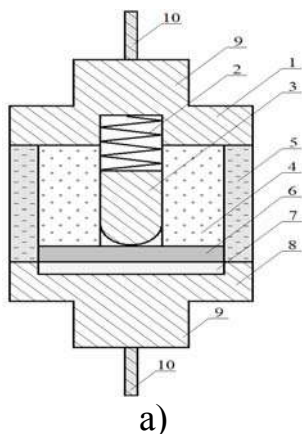


Рисунок 1 – Загальний вигляд корпусу елемента захисту з плівковим шаром телуриду кадмію (а) та експериментальний стенд для проведення досліджень (б):

1-вивід з внутрішнім отвором, 2-пружина, 3-протиелектрод, 4-фторопластова вставка, 5-краміческа трубка, 6-шар CdTe, 7-основа, 8-внутрішній торець вивода, вивід, 9-технологічна частина вивода, 10- зона пайки

Зазначений блок керування дозволяє спростити для користувача використання зарядової лінії для проведення високовольтних досліджень та забезпечити відповідну техніку безпеки.

З використанням розробленого блоку експериментально було підтверджено, що якщо опір навантаження не узгоджується з лінійним імпедансом хвилі ($R_0 \neq Z_0$), то на навантаженні спостерігається ступінчастий імпульс з тривалістю кроків t_i (рис. 2) [4].

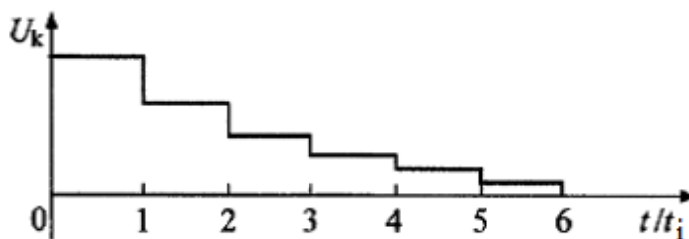


Рисунок 2 – Імпульс при неузгодженому навантаженні

У тому випадку, коли в якості навантаження використовується стандартизований опір з номінальним значенням 50 Ом, який у нашому випадку дорівнює опору Z_0 , конструкція розробленого пристрою дозволяє отримати один імпульс прямокутної форми. Приклад імпульсу наведено на рис. 3 [5]. Осцилограф для запису такого одиночного імпульсу працює в режимі очікування.



Рисунок 3 – Приклад одиночного імпульсу генератора наносекундних імпульсів з модернізованим блоком керування

Список використаних джерел:

1. Ghosh C.N. EMP weapons / C.N. Ghosh // Strategic Analysis, 2008 - Vol. 24. - No. 7. - P. 1333-1350.
2. Khrypunov M.G. Amplitude-time characteristics of switching in thin films of cadmium telluride / M.G. Khrypunov, R.V. Zaitsev, D.A. Kudii, A.L. Khrypunova // Journal of nano- and electronic physics. – 2018. – Vol. 10. – No 1. – P. 01016-1 – 01016-5.
3. Дьяконов В.П. Генерация и генераторы сигналов / В.П. Дьяконов // М.: ДМК Пресс, 2009. - 384 с.
4. Kirichenko M.V. Design of electronic devices stress testing system with charging line based impulse generator / M.V. Kirichenko, A.N. Drozdov, R.V. Zaitsev, G.S. Khrypunov, A.A. Drozdova, L.V. Zaitseva // 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Proceedings. – Kharkiv: NTU"KhPI", 2020 – P. 38-42.
5. Дроздов А.М. Система керування генератора наносекундних імпульсів / А.М. Дроздов, Р.В. Зайцев, М.В. Кіріченко, Г.С. Хрипунов // III Всеукраїнська науково-технічна конференція «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем» 12-15 листопада 2019 р., Тези доповідей. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019 р. – С. 93.

УДК 620.424.1; 620.98

НОВІТНІ ПЛІВКОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ДЕФЕКТІВ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Зайцева Л.В., Хрипунов Г.С., Зайцев Р.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Необхідність спрощення технології контролю макродефектів конструктивних елементів енергетичних систем в умовах промислового виробництва зумовило подальший розвиток широко запроваджених акустичних методів [1]. Їх основу складають п'єзоелектричні прилади, що реалізують акустичний метод з використанням спеціальних рідин для забезпечення необхідного акустичного контакту. Значний досвід практичного використання цього методу визначив області, в яких він не є ефективним. Так неможливо використовувати рідину для акустичного контролю виробів із забрудненою поверхнею, уражених корозією, або з покриттями (фарба, полімерні плівки й інші ізоляційні покриття), гарячих і холодних виробів. Таким чином для потреб практичної дефектоскопії необхідно створити прилади, які дозволять проводити безрідинний акустичний контроль.

З практики використання класичних ємнісних перетворювачів для дефектоскопії ємнісним методом витікають наступні ключові вимоги для збільшення чутливості та ефективності ємнісних перетворювачів, котрі полягають у наступному: зменшення товщини діелектричного прошарку та збільшення величини діелектричної проникності прошарку.

З точки зору виконання вимог, досить актуальним виявляється можливість використання у якості діелектричного прошарку та основи для ємнісних перетворювачів поліамідної плівки завтовшки від 15 до 125 мкм, що у 10 разів менше за товщини класичних діелектричних прошарків [2]. При створенні ємнісного перетворювача зі структурою $Al/ITO/поліімід/Al_2O_3$ було використано поліімід марки Upilex-S товщиною 15 мкм, поверхню якого було заздалегідь очищено. З однієї із сторін поліімиду методом нереактивного магнетронного розпилення на постійному струмі було отримано шар ІТО, на поверхні шару ІТО було створено методом термічного резистивного розпилення струмопровідні доріжки із алюмінію. З іншої сторони плівки поліімиду в аналогічних до шару ІТО технологічних умовах було отримано шар Al_2O_3 . Схематичне зображення перерізу такого приладу наведено на рис. 1,а. За наведеною технологією було створено дослідний зразок тонкоплів-

кового ємнісного перетворювача для акустичного контролю металевих виробів, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 1,б.

Для підтвердження можливості збільшення чутливості методу за рахунок використання ємнісного перетворювача на основі структури Al/ITO/поліімід/ Al_2O_3 у порівняння з класичними перетворювачами було проведено дослідження серії зразків із алюмінію на частоті коливань 2,5 МГц. Отримані осцилограми прийнятих сигналів для обох типів перетворювачів при однаковій величині збуджуючого сигналу наведені на рис. 2.

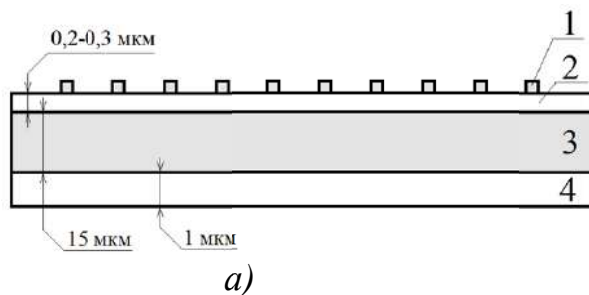


Рисунок 1 – Схематичне зображення перерізу (а) та зовнішній вигляд (б) запропонованого тонкоплівкового ємнісного перетворювача: 1 – алюмінієві струмопровідні доріжки; 2 – шар ITO завтовшки 0,2-0,3 мкм; 3 – поліімідна плівка завтовшки 15 мкм; 4 – шар Al_2O_3 завтовшки 1 мкм

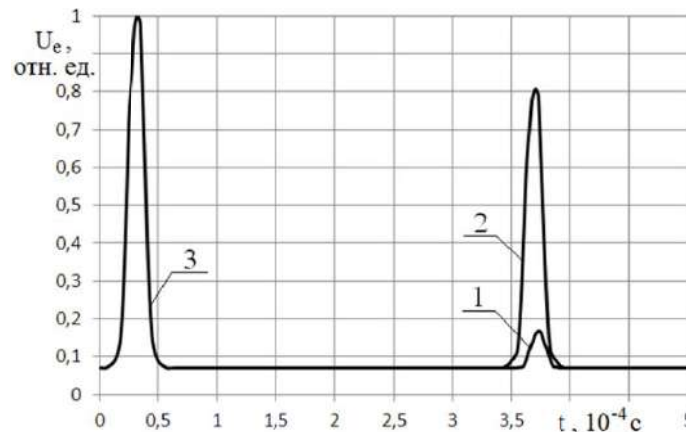


Рисунок 2 – Нормалізовані осцилограми прийнятих сигналів від класичного ємнісного перетворювача (1) та запропонованого тонкоплівкового на основі структури Al/ITO/поліімід/ Al_2O_3 (2) у порівнянні з однаковим збуджуючим сигналом (3)

Як видно з рис. 2, величина прийнятого сигналу у разі використання тонкоплівкового перетворювача зростає у 7,6 рази у порівнянні з класичним перетворювачем, що добре корелює з проведеними вимірами діелектричної проникності діелектричних шарів та з урахуванням зменшення товщини діелектричного прошарку. Таким чином, експериментально підтверджується зростання чут-

ливості ємнісного методу у разі використання тонкоплівкових ємнісних перетворювачів на основі структури Al/ITO/поліімід/Al₂O₃.

Список використаних джерел:

1. Горкунов Б.М. Разработка физических основ емкостного акустического метода дефектоскопии металлов / Б.М. Горкунов, И.В. Тюпа, Л.В. Зайцева, Г.С. Хрипунов, Р.В. Зайцев, А.Л. Хрипунова // Журнал нано- та електронної фізики. – 2015. – Т. 7. - № 1. – С. 01038-1 – 01038-5.
2. Зайцева Л.В. Дослідження структури ємнісних перетворювачів на основі тонкоплівкової структури Al/ITO/поліімід/Al₂O₃ / Л.В. Зайцева, Г.С. Хрипунов, Р.В. Зайцев, Б.М. Горкунов, А.Л. Хрипунова // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. – 2015. – Т.12. – № 2. – С. 42 – 47.

УДК 621.31

ОЦІНКА ПОХИБКИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ В ЗАДАЧІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНКИ ВПЛИВУ ДЖЕРЕЛ СПОТВОРЕННЯ НАПРУГ

Калюжний Д.М.

*Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Основним джерелом інструментальної похибки методів ідентифікації й оцінки впливу джерел спотворення напруги, орієнтованих на розподілені вимірювання, є погрішність синхронізації вимірювальних засобів, які розташовуються в різних точках загального приєднання систем електропостачання.

У загальному виді кожний з вимірюваних векторів параметрів режиму роботи мережі з урахуванням похибки синхронізації може бути представлений у наступному вигляді:

$$\underline{F}_v \approx F_v \cdot e^{j(\varphi_v - \delta_v)}, \quad (1)$$

де v – порядковий номер гармоніки; F_v – діюче значення параметра за v -ою гармонікою; φ_v – початкова фаза параметра за v -ою гармонікою; δ_v – похибка

синхронізації векторних вимірювань за v -ою гармонікою, виражена через фазовий кут:

$$\delta_v = \frac{\Delta t_v \cdot v \cdot 360}{T_1}, \quad (2)$$

де Δt_v – погрішність синхронізації векторних вимірювань за v -ою гармонікою, яка виражена в с; T_1 – період основної частоти.

Абсолютна похибка визначення векторних параметрів $\underline{F}_v$, обумовлена погрішністю синхронізації δ_v , складе:

$$\Delta \underline{F}_v = \underline{F}_v - \underline{F}_v^{\approx}, \quad (3)$$

де $\underline{F}_v$ – точне значення параметра за v -ою гармонікою:

$$\underline{F}_v = F_v \cdot e^{j\varphi_v}. \quad (4)$$

З урахуванням формул Ейлера й Тейлора абсолютна похибка $\Delta \underline{F}_v$ може бути виражена в такий спосіб:

$$\Delta \underline{F}_v \cong j \cdot \delta_v \cdot \underline{F}_v. \quad (5)$$

Згідно з вираженням (5) похибка визначення параметрів режиму роботи мережі в синхронізованому просторі прямо пропорційна погрішності синхронізації δ_v . Так, наприклад, для досягнення точності визначення $\underline{F}_v^{\approx}$ з 5% похибкою необхідно синхронізувати векторні вимірювання параметрів режиму роботи мережі з наступними параметрами. Для 1-ой гармоніки: $\Delta t_1 = 2,8 \cdot 10^{-6}$ с. Для 40-ой гармоніки: $\Delta t_{40} = 6,9 \cdot 10^{-8}$ с. Вищенаведену точність синхронізованих вимірювань представляється можливим досягти тільки за допомогою атомних годинників реального часу, які використовуються в супутникових системах глобального позиціонування.

УДК 621.3

МЕТЕОЕНЕРГЕТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯК ЗАСІБ АДАПТАЦІЇ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ В ОБ'ЄДНАНІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

Качанов Є.І., Чернюк А.М.

Українська інженерно-педагогічна академія, Україна, м. Харків

Основною з сучасних тенденцій розвитку енергетичних систем є їх так звана декарбонізація як відмова від використання в якості первинного енергоресурсу вуглеводородів (вугілля, газ, нафта) та їх похідних. Це пов'язане зі зменшенням обсягу промислово засвоєних родовищ вуглеводородів та значною шкодою навколишньому середовищу від їх використання. Таким чином енергетики в усьому світі шукають шляхи альтернативного енергозабезпечення, що обумовлює стрімкий розвиток екологічно чистої альтернативної енергетики. Проте на цьому шляху виникають значні труднощі, які пов'язані зокрема з проблемами адаптації альтернативних джерел живлення до об'єднаних енергетичних систем.

Дотримання балансу виробленої та спожитої електричної енергії є обов'язковою умовою надійної та коректної роботи систем електропостачання та забезпечення нормованих показників якості електричної енергії. Забезпечення необхідного регулювання рівня генерації електроенергії базується на тому, що джерело живлення цілком прогнозовано та керовано, чого неможливо сказати про прогнозування рівня генерації альтернативними джерелами живлення, які значною мірою залежать від метеорологічних умов і погодних факторів невизначеності.

Для побудови надійних систем енергозабезпечення з переважним використанням альтернативних відновлювальних джерел живлення слід розробити відповідний алгоритм метеоенергетичного прогнозування та управління енергосистемами з врахування можливих факторів невизначеності.

Основою метеоенергетичного прогнозування повинна стати інформаційна, обчислювальна та аналітична система, яка б забезпечила формування прогнозних показників генерації «зеленої» енергії в реальному часі та наперед.

Це дозволить зробити генерацію енергії альтернативними джерелами більш передбачуваною, а отже шляхом застосування засобів регулювання підтримувати необхідні баланси виробленої та спожитої електроенергії та забезпечувати необхідну її якість у споживача.

Список використаних джерел:

1. Кудря С.О. Потенціал розвитку нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії. Модуль 23- К.: ЮНІДО, 2015. – С.19.
2. Дослідження, визначення та обґрунтування по видам джерел базових прогнозних показників до проекту Програми розвитку відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива. // Звіт про виконання науково-дослідної роботи ІВЕ НАНУ. Реєстр. № 0110U006388. Київ. 2010. – 214 с.

УДК 621.3

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЖИВЛЕННЯ

Кирисов І.Г., Черевик Ю.О., Чернюк А.М.

Українська інженерно-педагогічна академія, Україна, м. Харків

Адаптація альтернативних джерел живлення в енергетичні мережі пов'язана із високою долею невизначеності прогнозних показників генерації електричної енергії. Це призводить до погіршення показників якості електричної енергії в мережі внаслідок порушення балансів генерованої та споживаної енергії. Тому визначено один зі шляхів вирішення цієї проблеми за допомогою вдосконалення систем управління процесом виробітки, розподілу та споживання електричної енергії.

Розвиток інтегрованих «інтелектуальних» мереж вимагає розроблення нової динамічної архітектури оперативно-диспетчерського керування енергетичними мережами в режимі реального часу та дієвих систем регулювання енергопотоків. З метою підвищення керованості енергосистем, підвищення пропускної спроможності електропередавання та зменшення втрат електроенергії під час транспортування в електричних мережах у розвинених країнах ведуться інтенсивні роботи зі створення та впровадження пристроїв гнучкого управління перетіканнями реактивної та активної потужності та регулюванням напруги на високовольтних лініях змінного струму (FACTS) із застосуванням статичних компенсаторів, статичних синхронних поздовжніх компенсаторів та інших пристроїв [1-2]. Основними перевагами впровадження технологій FACTS у електроенергетику є: підвищення економічної ефективності; збільшення пропускної спроможності існуючих мереж; поліпшення статичної та динамічної стійкості;

демпфірування низькочастотних коливань потужності; ефективне регулювання рівня напруги, управління потоками активної і реактивної потужностей згідно з транзакціями енергоринку та програмами експорту-імпорту електроенергії; підвищення надійності та зниження втрат електроенергії [3].

Ці методи управління та технології дозволять адаптувати альтернативні джерела живлення до енергетичних систем зі збереженням необхідної надійності електропостачання та дотриманням нормованих показників якості електричної енергії.

Список використаних джерел:

1. Gonen, T. Electric power distribution system engineering / T. Gonen // Second Edition, CRC Press. - 2007. – P. 856.
2. Pepermans, G. Distributed generation: definition, benefits and issues / G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, W. D'haeseleer // Energy Policy. - 2005. - No. 33. - P. 787-798.
3. Зарубіжний досвід підвищення ефективності передавання та розподілу електроенергії, оптимізації втрат електроенергії в електромережах всіх рівнів напруги. Підготовлено відділом інформаційно-аналітичного забезпечення зарубіжною інформацією ВП НТЦЕ ДП «НЕК «Укренерго». – Київ, 2018. – С. 84.

УДК 621.316

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НЕСИНУСОЇДАЛЬНИХ СПОТВОРЕНЬ НАПРУГИ ЗАСОБАМИ ВАЙВЛЕТ АНАЛІЗУ

Коломієць В.О., Мірошник О.О.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, Україна, м. Харків*

Постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні десятиліття для аналізу і опису динаміки складних нелінійних процесів в електроенергетиці все частіше знаходить застосування математичний апарат Вайвлет перетворення. Вайвлети застосовуються в якості ієрархічного базису для аналізу збурень в широких діапазонах частот в умовах нестаціонарних досліджуванних процесів. Аналіз літератури показує, що інструмент Вайвлет перетворення залучається для дослідження перехідних процесів в електроенергетичних системах, розробці алгоритмів релейного захисту, діагностики Електроустаткування, прогнозування навантаження, електричних вимірах і т. д. Вайвлет перетворення на відміну від перетворення Фур'є забезпечує двовимірну інтерпретацію

10 - 13 листопада 2020 р.



Україна, Харків, НТУ «ХП»

досліджуваної функції струму (напруги, потужності) перш за все в фізичному просторі (миттєве значення величини, час) і в частотному просторі (амплітуда, частота). Таким чином, Вайвлети можуть бути успішно застосовані для аналізу несинусоїдальних нестационарних режимів електроенергетичних систем.

Мета досліджень. Частотний аналіз параметрів нормального, аварійного та після аварійного режиму електроенергетичних систем і мереж 0,4-110 кВ на основі Вайвлет перетворення.

Основні матеріали досліджень. Вибір типу Вайвлета є визначальним фактором, оскільки це впливає на процедуру розкладання, відновлення (реконструкції) і, головним чином, на значення енергії спектрів, використовуваних при вирішенні широкого кола завдань електроенергетики.

Для розробки критерію вибору оптимального типу Вайвлета для аналізу несинусоїдальних режимів в електроенергетичній системі було проаналізовано найбільш часто вживаних Вайвлет функцій (в тому числі представлених в програмі MATLAB).

Проведені дослідження показали, що для визначення діючих значень несинусоїдальних величин при розрахунку режимів роботи електроенергетичної системи найбільш оптимальні результати показують Вайвлети сімейства Добеши високих порядків.

Для аналізу несинусоїдальних режимів електричних мереж необхідно вибрати частоту дискретизації і схему Вайвлет розкладу таким чином, щоб відбулося поєднання смуги пропускання фільтра Вайвлет функції і ширини гармонійної групи, певної по ДСТУ 30804.4.7-2013 (рис. 1). Для гармонійної групи h повинно бути забезпечено перекриття смугою пропускання фільтра нижніх частот Вайвлет функції. Гармонійну групу $h + 1$ повинна перекривати смуга пропускання верхніх частот. В цьому випадку частотна локалізація вузла Вайвлет розкладу $a_{j,k}$ буде відповідати ширині гармонійної групи h , вузол $a_{j,k} + 1$ буде характеризувати гармонійну групу $h + 1$. Вайвлет коефіцієнти, що відповідають за локалізацію інших гармонійних груп.

Висновки. Дана методика розрахунку діючих значень струмів (напруг) по Вайвлет коефіцієнтів може бути використана для розрахунку втрат в струмоведучих частинах від вищих гармонік і інтергармонік. Вайвлет перетворення в даній методиці дозволяє визначити амплітуду, частоту і час (тривалість) присутності гармонік в сигналі струму. Дана інформація буде корисна при оцінці техніко-економічного ефекту від впровадження фільтро-компенсуючих пристроїв для придушення гармонік і скорочення втрат.



Рисунок 1 - Поєднання частотної локалізації Вайвлета і гармонійних груп по ДСТУ 30804.4.30-2013

Список використаних джерел:

1. Дьяконов, В. П. MATLAB і SIMULINK для радіоінженерів / В. П. Дьяконов. - М.: ДМК Пресс, 2011. - 976 с.
2. Єршов, С В. Моделювання параметрів фільтрів вищих гармонік в середовищі MATLAB / С. В. Єршов, В. Ю. – 2014. – № 8. – С. 25-31.
3. Зацепина, В. И. Wavelet-разложение высокочастотных сигналов для детализации негативных возмущений / В. И. Зацепина [и др.] // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2017. – № 2 (48). – С. 26-33.
4. Исследование высших гармоник тока, генерируемых энергосберегающими источниками света / Г. Я. Вагин [и др.] // Промышленная энергетика. – 2014. – № 6. – С. 51-55.

УДК 621.311.1

ФЕРОРЕЗОНАНСНІ ЯВИЩА В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З СОНЯЧНИМИ ТА ВІТРОВИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ

Кузнецов В.Г., Мельничук В.А., Тугай І.Ю.

*Інститут електродинаміки Національної академії наук України, Україна,
м. Київ*

З впровадженням в Україні заходів, передбачених Директивою Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії та згідно Енергетичної стратегії на період до 2035 року відбувається зростання будівництва сонячних та вітрових електричних станцій. Розвиток відновлюваної енергетики є одним з важливих інструментів гарантування енергетичної безпеки держави.

Як відомо, ферорезонансні явища є причиною значної кількості аварій, приводять до ушкодження обладнання, вимагають великих втрат часу і засобів на ліквідацію наслідків аварій [1]. Слід відзначити, що збільшення в електричних мережах таких об'єктів відновлювальної енергетики, як сонячні та вітрові електричні станції зумовлює зростання ймовірності виникнення та розвитку нетипових ферорезонансних процесів [2, 3].

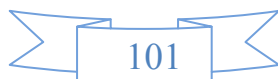
За допомогою пакету Simulink у середовищі математичної системи MATLAB було виконано моделювання електромагнітних процесів з метою виявлення характерних особливостей виникнення явища ферорезонансу в електричних мережах при підключенні сонячних та вітрових електростанцій. Для аналізу ферорезонансних кіл були розроблені математичні моделі мережі зв'язку сонячної електростанції з енергосистемою та вітрової електростанції з енергосистемою. Отримано параметри елементів ферорезонансних схем, в яких можлива поява квазістаціонарних та перехідних ферорезонансних процесів [4].

З метою вирішення задачі запобігання ферорезонансним явищам в електричних мережах при підключенні сонячних або вітрових електростанцій показано, що за допомогою корекції параметрів елементів ферорезонансного кола можна попередити появу необхідних умов початку ферорезонансних коливань. Також запропоновано заходи по придушенню ферорезонансного процесу, який вже виник.

Список використаних джерел:

1. Ferracci P. Ferroresonance // Cahier technique. Schneider Electric. – Paris, 1998. – No. 190. – P. 1–28.
2. Кузнецов В. Г., Тугай І. Ю., Нікішкін Д. А. Дослідження ферорезонансних процесів в мережах з відновлювальними джерелами енергії // Вісник Харківського національного технічного

10 - 13 листопада 2020 р.



Україна, Харків, НТУ «ХП»

університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2019. – Вип. 203. – С. 51–52.

3. Karaagac U., Mahseredjian J., Cai L. Ferroresonance conditions in wind parks // Electric power systems research. – 2016. – Vol. 138. – P. 41–49.

4. Tugai I. Investigation of ferroresonance in electrical networks at open-phase operating conditions // Computational Problems of Electrical Engineering. – 2015. – Volume 5, Number 1. – P. 61–64.

УДК 621.31

ПРОГНОЗУВАННЯ, ДІАГНОСТУВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІЙСЬКОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Кулагін Д.О., Чернецький Б.С.

Національний університет «Запорізька політехніка», Україна, м. Запоріжжя

В роботі вперше була побудована принципова схема військової дизельної електростанції для виділення основних критеріїв якості її функціонування.

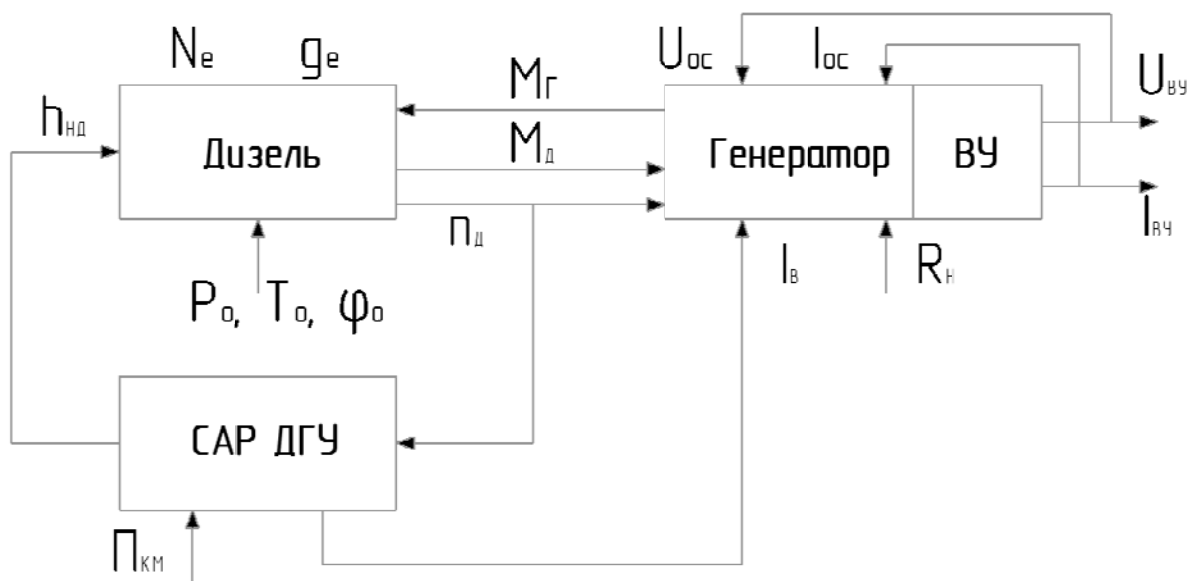


Рисунок 1 – Принципова схема військової дизельної електростанції

Завдяки розробленій загальній діагностичній моделі станів електротехнічних систем та розробленій діагностичній моделі станів силових блоків вдалось отримати точки для зняття інформації про стан електротехнічної системи та ви-

значити мінімальну кількість необхідних параметрів, для коректної оцінки стану електротехнічної мережі.

Після побудови характеристики синтезованого регулятора та відомого регулятора струму при реакції на одиничний сигнал завдання, вдалося довести, що відомий регулятор скоріше виходить на необхідний рівень сигналу завдання бо має в собі коефіцієнти перерегулювання на рівні близько 5%, які відсутні у синтезованому регуляторі.

Після побудови характеристики перехідних процесів рис.2 видно, що регулятор, синтезований методом підпорядкованого регулювання при аналогічній зміні опору статорного кола асинхронного двигуна в 1,47 рази від номінального значення показує нестабільні перехідні характеристики: при зменшенні опору статорного кола з'являється перерегулювання на рівні 44%, а при збільшенні опору статорного кола значно зменшується швидкодія регулятора. Це доводить нестабільність роботи регуляторів, синтезованих методом підпорядкованого регулювання при варіації параметрів об'єкта регулювання.

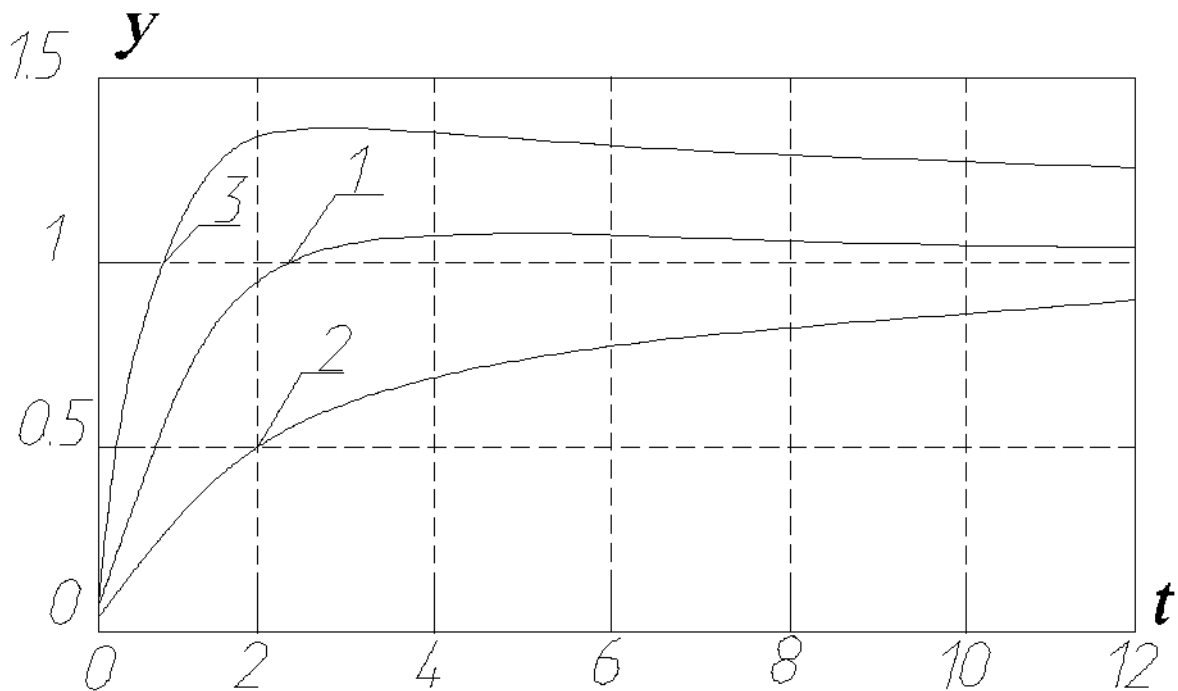


Рисунок 2 – Характеристики відомого регулятора струму при номінальному значенні опору статорного кола (1), при збільшенні в 1,47 рази від номінального значення (2) та зменшенні в 1,47 рази опору статорного кола від номінального (3)

УДК 620.92

МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ КОТЕДЖНОГО ПОСЕЛЕННЯ

Кулапін О.В., Махотіло К.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Екологічні та комерційні переваги разом з державною підтримкою обумовлюють широку інтеграцію відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в енергосистемі. Але крім переваг, масове розгортання ВДЕ створює додаткові проблеми для балансування і стабільності роботи енергосистеми. Вони можуть бути вирішені шляхом створення віртуальних електростанцій (ВрЕС) на ВДЕ [1]. Географічно розподілені ВДЕ та інші енергоресурси (акумуляторні системи зберігання енергії, дахові фотоелектричні системи, малі гідроелектростанції, електромобілі, самі промислові та комерційні споживачі) можуть бути об'єднані для спільної генерації та надання допоміжних послуг. Вони включають в себе планування і повторну диспетчеризацію, управління напругою, частотою, реактивною потужністю, балансування споживання та генерації. Поєднуючи розподілені енергоресурси в межах ВрЕС, енергосистема отримує інструмент, який дозволяє активно включати споживачів-просьюмерів в надання додаткових послуг операторам системи передачі та розподільчої системи.

ВрЕС, як інфраструктура інформаційно-комунікаційних технологій, може бути реалізована у автономному або хмарному вигляді. Конкретні цілі функціонування ВрЕС залежать від ринкового середовища, де головною метою є об'єднання розподілених енергоресурсів для моніторингу, прогнозування та управління виробництвом та споживанням енергії. В цій роботі прикладом такого розподіленого енергоресурсу є смарт мережа (СМ), що поєднує споживачів-просьюмерів, які мешкають в одному котеджному селищі та мають власні дахові фотоелектричні системи з акумуляторами [2]. Для моделювання та оцінки ефективності різних алгоритмів управління роботою такої СМ в межах ВрЕС необхідно мати моделі графіків навантаження, наближених до реальності.

Як тестові об'єкти дослідження в роботі розглянуто два типи сім'ї: одна складається з двох дорослих працюючих людей, інша з двох працюючих дорослих і двох дітей підліткового віку. Склад побутового обладнання сімей відповідає сучасним уявленням о комфорті. Прийнято, що будинки обладнані газовою системою опалення та гарячого водопостачання.

На рис. 1 показаний приклад добового профілю навантаження сім'ї першого типу (крива 1), що використовувався для моделювання в роботі [2]. Цю модель навантаження побудовано за типовими графіками усередненого навантаження великої групи побутових споживачів. Його недоліком є занадто великий рівень усереднення, що приховує спорадичний характер споживання у побуті.

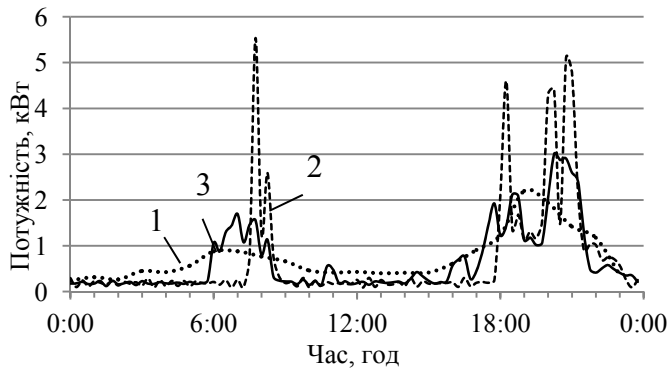


Рисунок 1 – Типи графіків навантаження:
1 – типовий; 2 – згенерований LPG; 3 – усереднений

В роботі [3] запропоновано новий метод моделювання навантаження в домашньому господарстві, побудований на аналізі і статистичному врахуванні поведінки мешканців. На його базі створено генератор профілів навантаження LPG. Крива 2 на рис. 1 показує приклад однієї можливої реалізації моделі LPG для тієї ж тестової сім'ї.

Як видно, згенерований профіль навантаження дуже детально відображає побутове споживання, наприклад, має круті піки від приготування їжі або включення надпотужних побутових приладів. Але недоліком графіків, згенерованих LPG, є їх абсолютна унікальність. При кожному виклику процедури генерації отримується новий графік з непередбачуваними випадковими змінами. Для розробки алгоритмів керування СМ така модель графіку навантаження не підходить.

В роботі запропоновано використати результати роботи моделі [3] для отримання більш репрезентативних усереднених графіків навантаження тестових сімей. Для цього усереднено від 15 до 30 окремих реалізацій випадкових графіків навантаження, згенерованими LPG для кожного типу сім'ї. Такі усереднені графіки побудовано окремо для робочих і вихідних днів в кожному періоді року, що відповідає тривалості світлового дня, яка не змінюється більш ніж на 15 хвилин.

Крива 3 на рис. 1 представляє приклад отриманого усередненого графіка добового навантаження для першого типу сім'ї. Як видно, його перевагою у порівнянні з кривою 1 є більш детальне відображення складу побутового обладнання сім'ї, різко змінного характеру побутового споживання, зокрема наявність багатьох піків навантаження. У порівнянні з випадковою кривою 2, усереднений графік дозволяє повторне відтворення, згладжує піки навантаження, пов'язані з випадковим одночасним використанням побутового обладнання, але зберігає їх часовий діапазон.

Таким чином, запропонований підхід до моделювання навантаження споживачів-просьюмерів відповідає вимогам задачі керування СМ.

Список використаних джерел:

1. Кулапін О. В., Підходи до визначення та стан розвитку концепцій інтелектуальних енергосистем і віртуальних електростанцій/ О. В. Кулапін, К. В. Махотіло // Вісник Національного технічного університету «ХПІ», Серія: Енергетика надійність та енергоефективність, № 29 (1354) 2019. - С. 91-96.
2. Кулапін О. В., Моделювання смарт-мережі споживачів-просьюмерів з фотоелектричними системами / О. В. Кулапін, К. В. Махотіло // Вісник Національного технічного університету «ХПІ», № 14 (1339), 2019. – С. 61-66.
3. Pflugradt, N.; Platzer, B. Behavior based load profile generator for domestic hot water and electricity use // Innstock 12th International Conference on Energy Storage, Lleida, 2012.

УДК 621.314.212

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ ВИСОКОВОЛЬТНОГО МАСЛОНАПОВНЕНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ РОЗЧИНЕНИХ В МАСЛІ ГАЗІВ

Кулик О.С., Шутенко О.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Часткові розряди (ЧР) – це розряди в повітряних або газових порожнинах, що утворилися внаслідок неповного просочення або зволоження ізоляції. Залежно від інтенсивності ЧР в деяких стандартах розрізняють ЧР з низькою і високою щільністю енергії. Вважається, що ЧР з низькою щільністю енергії не залишають слідів або не призводять до пробоя твердої ізоляції. У більшості відомих стандартах для розпізнавання ЧР регламентовані наступні значення відношень газів: $\text{CH}_4/\text{H}_2 < 0,1$ і $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6 < 0,2$. Відношення $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$ не є характерним для ЧР з низькою щільністю енергії. Згідно методу ключового газу в обладнанні з ЧР міститься близько 85% H_2 , 13% CH_4 , та приблизно 1% C_2H_6 і C_2H_4 , а C_2H_2 , як правило, відсутній. Однак, наведені в [1, 2] результати досліджень показують, що при розвитку ЧР в обладнанні і значення відношень газів, і їх вміст не завжди збігаються з регламентованими значеннями. Як приклад, в даній роботі наведені результати комплексного аналізу вмісту газів для 139 одиниць маслonaповненого обладнання, в якому були виявлені ЧР з урахуванням відсоткового вмісту газів, що дозволило виявити 4 групи даних, що істотно

відрізняються за складом газів (табл. 1). Після чого для кожної групи були розраховані значення відношень характерних газів, які наведені в табл. 2.

Таблиця 1 – Відсотковий вміст газів в маслonaповненому обладнанні з ЧР

№	Тип дефекту, обсяг вибірки	Вміст газів, %				
		H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
1	Часткові розряди, N=78.	85-95	1-9	0-3,5	0-1,8	0-1,5
2	Часткові розряди, N=39.	65-90	8-31	0,3-6,8	0-3,6	0-3,4
3	Часткові розряди, N=17.	0-7	83-98	0,05-16	0,01-2,7	0-2,2
4	Часткові розряди, N=5.	27-45	3-15	49-62	0,01-0,9	0-1,8

Таблиця 2 – Значення відношень газів для маслonaповненого обладнання з частковими розрядами

№	Значення відношень газів					
	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₆ /CH ₄	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	C ₂ H ₂ /CH ₄	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₆	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄
1	0,018-0,098	0,03-0,56	0,464-0,84	0,001-0,211	0,009-0,55	0,014-0,095
2	0,102-0,46	0,03-0,51	0,003-0,72	0,001-0,338	0,005-0,667	0,433-0,923
3	13,2-20	0,01-0,19	0,57-1,3	0,001-0,022	0,01-2,25	0,33-2,6
4	0,2-0,48	3,9-7,6	0,001-0,003	—	—	—

Далі були побудовані графічні області і номограми для кожної групи дефектів, які наведені на рис. 1 (пунктирними лініями виділені верхня та нижня межі області, а суцільною – центр графічної області, що відповідає номограмі дефекту). Як видно з рисунка, із 4 отриманих номограм тільки одна (№1) регламентується національним стандартом для розпізнавання часткових розрядів.

Аналізуючи результати, наведені в табл. 1 і 2 можна побачити, що найбільшу відповідність загальноприйнятим уявленням про газовміст обладнання має група №1. Однак як видно з табл. 1, в обладнанні з частковими розрядами може спостерігатися дещо більший вміст C₂H₄ і C₂H₂, ніж регламентовано методом ключового газу. При цьому, як видно з табл. 2, значення відношення C₂H₄/C₂H₆, отримані для обладнання з ЧР перевищує 0,2. Важливо, що з 78 одиниць МНО, значення концентрацій C₂H₄ і C₂H₆, що перевищують межу появи газів в маслі, виявлені тільки для 6 одиниць обладнання. І у всіх 6 випадках значення відношення C₂H₄/C₂H₆ перевищувало 0,2. Для решти 72 одиниць обладнання значення концентрацій C₂H₄ та/або C₂H₆ не перевищували межу появи газів в маслі і значення відношень для цього МНО не розраховувалися. Газовміст масел в обладнанні, за результатами АРГ якого сформована група №2, близький до вмісту газів обладнання з групи № 1, але через більш високий вміст CH₄ значення відношення CH₄/H₂ перевищувало 0,1, що не відповідає частковим розрядам. Остання обставина істотно ускладнює розпізнавання таких дефектів з використанням значень відношень газів. У пробах масла з обладнання з групи №3 газом з мак-

симальним вмістом є CH_4 а в обладнанні з групи №4 – C_2H_6 . Тобто газу, характерні для дефектів термічного типу, що також ускладнює процес ідентифікації даних дефектів. В якості ілюстрації на рис. 2 наведено результати діагностики аналізованого обладнання з використанням прямокутника Дорненбурга, двох видів трикутника Дюваля (класичного трикутника №1 і трикутника №4 для діагностики низькотемпературних дефектів) і квадрата ETRA.

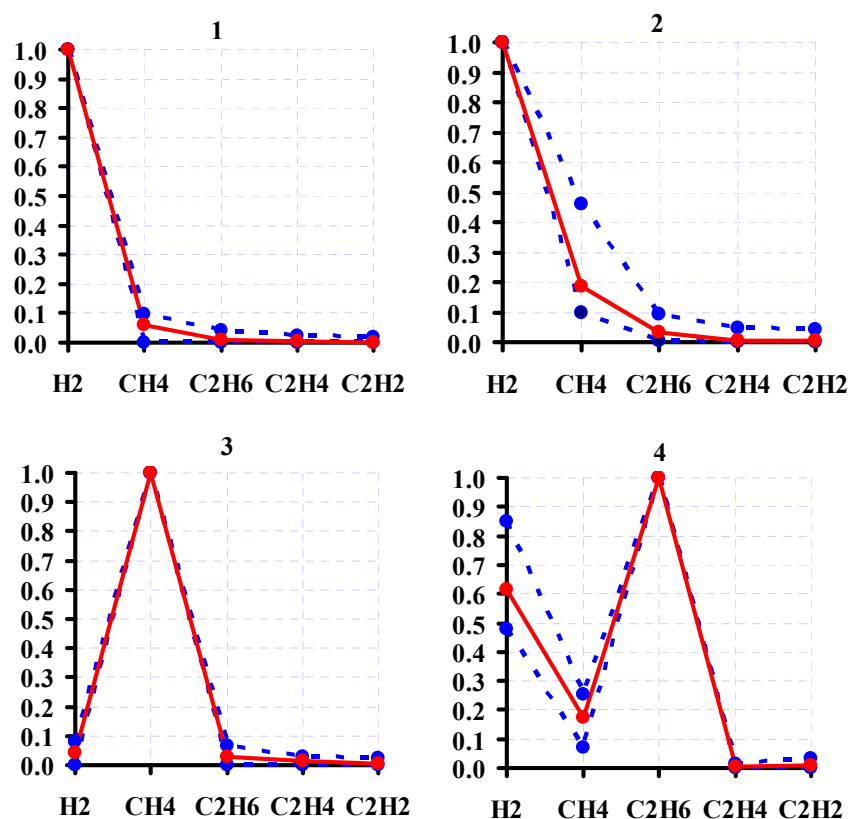


Рисунок 1 – Графічні області та номограми дефектів, побудовані за результатами АРГ маслонаповненого обладнання з частковими розрядами

Аналізуючи результати, наведені на рис. 2, легко побачити, що найгірші результати діагностики забезпечує використання прямокутника Дорненбурга. Використання даного методу не дозволило встановити діагноз в 95% всіх випадків, що загрожує пропуском дефекту. При використанні квадрата ETRA стосовно аналізованих результатів АРГ, правильний діагноз був поставлений тільки для 24% аналізованих даних, в половині всіх випадків був поставлений помилковий діагноз, а для 26% даних була зафіксована відмова від розпізнавання.

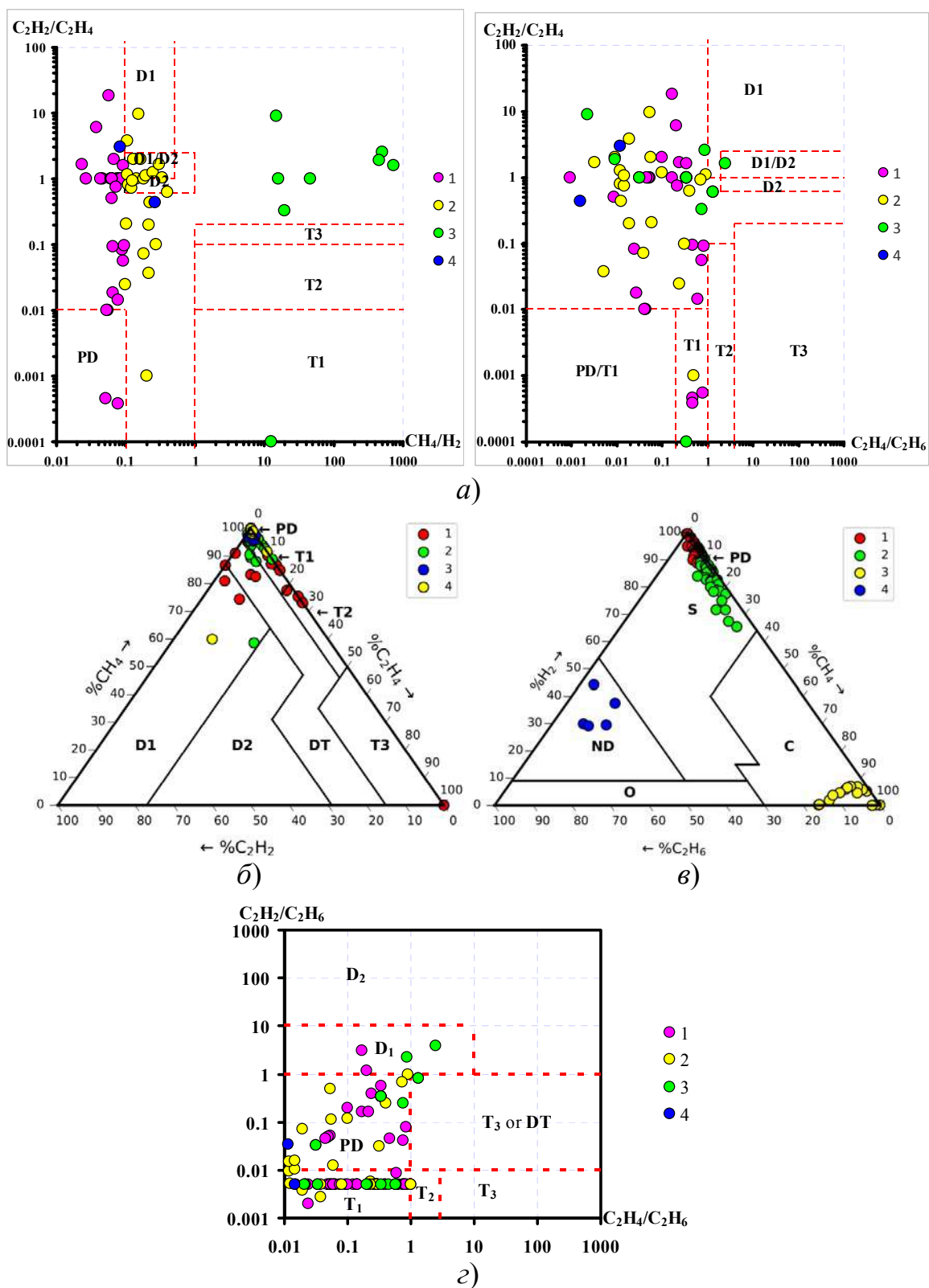


Рисунок 2 – Результати діагностики обладнання з ЧР з використанням прямокутника Дорненбурга (а); трикутника Дюваля №1(б), трикутника Дюваля №4 (в) і квадрата ETRA (г)

При використанні класичного трикутника Дюваля діагноз «ЧР» був поставлений для 55% аналізованих даних, а для решти – помилковий діагноз. У той же час використання трикутника Дюваля №4 дозволило встановити правильний діагноз лише в 33%. При цьому як видно з рис. 2 в для обладнання з групи №4 було встановлено відмову від розпізнавання.

Наведені результати показують, що при розвитку часткових розрядів в ізоляції високовольтного маслonaповненого обладнання газом з максимальним вмістом може бути не тільки водень, але й метан з етаном. Тобто ті гази, які згідно існуючих уявлень є характерними для дефектів термічного типу. Більш того, значення відношень характерних газів можуть виходити за діапазон значень, що регламентуються міжнародними і національними стандартами для розпізнавання часткових розрядів, що ускладнює постановку правильного діагнозу. Виконаний аналіз показав, що використання графічних методів розпізнавання також не завжди дозволяє встановити правильний діагноз. Найбільше число правильних діагнозів було отримано з використанням класичного трикутника Дюваля (№1). Наведені в роботі значення відношень газів, їх відсотковий вміст, а також побудовані області дефектів дозволяють істотно підвищити достовірність розпізнавання часткових розрядів з низькою щільністю енергії, що в свою чергу значно підвищує експлуатаційну надійність маслonaповненого обладнання.

Список використаних джерел:

1. Шутенко О.В. Анализ содержания газов в маслonaполненном оборудовании с дефектами электрического типа. /О.В. Шутенко // PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE – Кишинев. – 2018 – №3 (38). – С 1–16. DOI:10.5281/zenodo.2222331
2. Oleg Shutenko, Ivan Yakovenko. Analysis of Gas Content in High Voltage Equipment With Partial Discharges / 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), September 10-14, 2018, Kharkiv, Ukraine pp. 347–352; DOI: 10.1109/IEPS.2018.8559534
3. Oleg Shutenko, Oleksii Kulyk Analysis of Gas Content in Oil-Filled Equipment with Low Energy Density Discharges // International Journal on Electrical Engineering and Informatics - Volume 12, Number 2, June 2020.– P. 258-277. DOI: 10.15676/ijeei.2020.12.2.6
4. Kulyk O. S.; Shutenko, O. V. Analysis of Gas Content in Oil-Filled Equipment with Spark Discharges and Discharges with High Energy Density // Transactions on Electrical and Electronic Materials. – 2019. –Volume 20, Issue 5, pp 437–447. DOI 10.1007/s42341-019-00124-8
5. O. Shutenko, I. Jakovenko Fault Diagnosis of Power Transformer Using Method of Graphic Images / 2017 IEEE INTERNATIONAL YOUNG SCIENTISTS FORUM ON APPLIED PHYSICS AND ENGINEERING (YSF-2017), October 17-20, 2017, Lviv, Ukraine pp. 66–69; DOI: 10.1109/YSF.2017.8126594

УДК 621.315.3

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ AL-ZR СПЛАВА ДЛЯ ВЛЗ**Ломов С.Г.***Національний технічний університет «Харьковский политехнический институт», Украина, г. Харьков*

Важнейшим инновационным шагом в совершенствовании воздушных линий электропередачи в настоящее время стало внедрение проводов выполненных из алюминий-циркониевых сплавов, основные физические и эксплуатационные параметры которых представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 –. Физические параметры материалов для проводов линий электропередачи

Марка сплава (металла)	Обозначение сплава по МЭК 62004	Уд. сопротив- ление постоянному току при 20 °С	Макс. темпе- ратура при эксплуа- тации в течении 40 лет	Минимальная прочность на разрыв
		10 ⁻⁸ Омм	°С	Н/мм ²
Алюминий АТ	-	2,877	90	170
АВЕ	-	3,1 – 3,4	90	не менее 295
TAL	AT1	2,873	150	159 – 169
KTAL	AT2	3,135	150	225 – 248
ZTAL	AT3	2,873	210	159 – 176
XTAL	AT4	2,973	230	159 - 169

Рабочая плотность тока для традиционно применяющихся в Украине стале-алюминиевых проводов (АС, АСКС, АСКП, АСК) ограничивается тем, что нормативно допускаемая максимальная температура нагрева алюминиевых ТПЖ не должна превышать 90⁰С. Для этих проводов при температуре больше 100⁰С начинается в ТПЖ рекристаллизация алюминия и провода заметно уменьшают свою механическую прочность, то есть уменьшают свою эксплуатационную надежность из-за вероятности провисания вплоть до обрыва.

Одним из важнейших направлений совершенствования любых линий электропередачи было и остается увеличение пропускной способности проводов по активному току.

Какова перспективность применения Al-Zr сплава для изготовления защищенных проводов и самонесущих изолированных проводов (Межгосударственный стандарт ГОСТ 31946-2012-3.1, 3.2), применяемых при строительстве защищенных воздушных линий электропередачи. Автору не известны примеры применения в мировой практике Al-Zr сплава для изолированных проводов.

Впервые предлагается [1] конструкция провода типа СИПЗ для ВЛЗ 20 – 35 кВ с жилой, которая изготовлена из Al-Zr сплава типа ZTAL. Изоляция этого провода изготовлена из керамообразующей силиконовой резины марки «Elastosil R502/75» с применением силиконового клея марки «Elastosil 43» для гидрофобизации провода и увеличения адгезии силиконовой изоляции к ТПЖ провода.

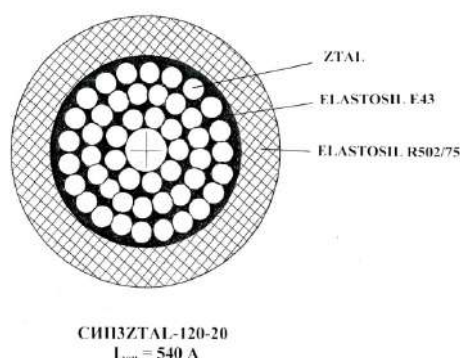
Таблица 2 – Пропускная способность проводов по активному току для ВЛ и ВЛЗ

Марка провода	$t_{\text{ж}}$	$I_{\text{доп}}, \text{А}$			Стоимость проводов в ценах 2015 г.
		$\alpha=8$	$\alpha=10$	$\alpha=12$	
	$^{\circ}\text{C}$	Вт/м ² К	Вт/м ² К	Вт/м ² К	€/км
Неизолированные воздушные линии электропередачи (ВЛ)					
АС-120/19 ($d_{\text{ж}} = 15,2 \text{ мм}$)	90	370	397	423	1300
АС-240/39 ($d_{\text{ж}} = 21,6 \text{ мм}$)	90	622	669	712	2700
АС-300/66 ($d_{\text{ж}} = 24,6 \text{ мм}$)	90	738	793	844	4000
НАWK477ACCR470-T16($d_{\text{ж}}=21,6 \text{ мм}$)	210	1139	1196	1251	40000
GTACSR217/49 ($d_{\text{ж}} = 20,3 \text{ мм}$)	150	827	877	924	20000
Защищенные воздушные линии электропередачи (ВЛЗ)					
СИПЗ-120-20 ($d_{\text{ж}} = 13 \text{ мм}$)	90	339	362	383	2200
СИПЗZTAL-120-20 ($d_{\text{ж}}= 13 \text{ мм}$)	180	520	542	561	-
СИП7-120-110 ($d_{\text{ж}} = 13 \text{ мм}$)	90	365	383	392	нет данных
СИП2-3х120+1х95 ($d_{\text{ж}} = 13 \text{ мм}$)	90	263	288	309	7000
СИП2-3х120+1х95 (отд. фаза в возд.)	90	332	355	376	нет поставок

В табл. 3 приведены результаты расчета экономической эффективности ВЛ и ВЛЗ с разными типами проводов. Расчет проведен для одноцепной трехфазной линии 20 кВ длиной 10 км, для районов с максимальной климатической напряженностью (по ветровой нагрузке и по ледообразованию), на бетонных опорах типа СВ105-1 и с арматурой фирмы «Niled».

Таблиця 3 – Сравнительная экономическая эффективность ВЛ и ВЛЗ с Al-Zr сплавом

Марка провода	$I_{\text{доп}}$	Максимальная активная мощность линии	Стоимость проводов для ВЛ или ВЛЗ	Стоимость в целом ВЛ или ВЛЗ	Годовая стоимость передачи электроэнергии
	А	МВт	млн. грн.	млн. грн.	млн. грн.
АС-120/19	397	7,94	1,3	6,4	12,52
СИПЗ-120-20	362	7,24	2,4	7,5	11,41
СИПЗТАЛ-120-20	542	10,84	7,8	12,9	17,09



Список литературы:

1. Ломов С.Г. Защищенный изолированный провод для защищенной линии передачи электрической энергии. Патент Украины на полезную модель. №129051, 2018, Бюл.20.

УДК 621.311

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ ШЛЯХОМ КОМПЕНСАЦІЇ ВИЩИХ ГАРМОНІК

Лук'яненко С.С., Щербак І.Є.

*Харківський національний університет міського господарства імені
О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Джерелами вищих гармонік є елементи та обладнання з нелінійною вольт-амперною характеристикою, які є причиною виникнення гармонічних спотворень напруг та струмів в електричних мережах.

10 - 13 листопада 2020 р.

Україна, Харків, НТУ «ХП»

Гармонійні струми, що протікають в електричній мережі створюють падіння напруг на повних опорах електричної мережі та створюють додаткові втрати в лініях та трансформаторах, що не віднесені до жодних загальноприйнятих груп втрат. Найбільший коефіцієнт має гармоніка 3-го порядку. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання регламентуються ГОСТ 13109-97 та ДСТУ:EN 50160-2014.

Одним із показників, за яким оцінюють гармонічні спотворення струму та напруги є коефіцієнт амплітуди (крест-фактор) – відношення пікового значення струму чи напруги до їхнього діючого значення:

$$k_a = \frac{I_m}{I_{rms}}, k_a = \frac{U_m}{U_{rms}},$$

де I_m , U_m – пікове значення струму, напруги; I_{rms} , U_{rms} – діюче значення струму, напруги.

У випадку споживання струмів нелінійними навантаженнями коефіцієнт амплітуди значно перевищує своє значення ($k_a = \sqrt{2}$ за сигналу синусоїдальної форми) та може досягати значень 1,5-2 та в критичних випадках сягати значення 5. Суттєве підвищення значення коефіцієнту амплітуди є індикатором наявності значних надструмів, що є причиною хибних відключень за їх виявлення пристроями захисту.

Максимальні спотворення спричинені гармонічними сигналами спостерігаються при розташуванні джерел гармонічних напруг на шинах живильної мережі та на навантаженні. Такі заходи як установка загороджувальних фільтрів лише на стороні живильної мережі або лише з боку споживача є недоцільними. Рівень зниження навантажувальних втрат в кабельній лінії несуттєвий та не є економічним фактором реалізації подібних заходів.

Установка пасивного фільтру на стороні 10 кВ та активного фільтру на стороні 0,4 кВ дозволяють симетрувати напругу мережі та зменшити до нуля струм нейтралі, а також подавити гармоніки струму, що сприяє підвищенню коефіцієнту потужності. Зазначене призводить до зниження навантажувальних втрат потужності в кабельних лініях та, відповідно, підвищує пропускну здатність мереж.

Втрати, що виникають в результаті наявності гармонічних спотворень за струмом та напругою є складовою понаднормативних втрат, що виникають в міських розподільних мережах.

УДК 681.5

РОЗРАХУНОК ЗАЗЕМЛЮЮЧОГО ПРИСТРОЮ ПІДСТАНЦІЇ 110 КВ ПІВНІЧНОЇ УКРАЇНИ З ВРАХУВАННЯМ ПРИРОДНИХ ЗАЗЕМЛЮВАЧІВ

Марченко В.С., Федосєєнко О.М.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

В роботі виконано розрахунок заземлюючого пристрою (ЗП) підстанції 110 кВ Північної України на основі удосконаленого алгоритму розрахунку. В алгоритмі розрахунку складних нееквіпотенційних ЗП електроустановок нові положення, в порівнянні з відомими рішеннями, складаються в урахуванні провідності природних зосереджених заземлювачів. Для цього вказані об'ємні заземлювачі замінюються сукупністю вертикальних і горизонтальних електродів. Ці елементи поряд з штучними лінійними заземлювачами беруть участь в струмозподілі ЗП. В алгоритмі розрахунку складних нееквіпотенційних ЗП електроустановок також забезпечено врахування величин взаємних і власних опорів горизонтальних електродів, що необхідно в разі їх розташування в нижньому шарі двошарової структури землі.

При аналізі нееквіпотенційного заземлювача система лінійних алгебраїчних рівнянь, яка визначає струмозподіл між елементами ЗП в матричній формі має вигляд (1).

$$AI_0 = U, \quad (1)$$

де A – матриця взаємних і власних опорів елементів; I_0 – матриця-стовпець комплексних значень струмів, що виходять з елементів складного заземлювача в землю; U – матриця-стовпець комплексних значень напруги елементів (для горизонтальних елементів беруть середнє із значень напруги на початку і кінці елемента, а для вертикальних елементів – напруга вузлової точки, з якою вони з'єднані).

З іншого боку рівняння (2) виражає зв'язок значень напруги елементів ЗП із величинами задаючих струмів і з параметрами складного нелінійного електричного кола.

$$YU_{yz} = I_{zd}, \quad (2)$$

де Y – квадратна матриця повної провідності ланцюгів; U_{yz} – матриця-стовпець вузлових напруг; I_{zd} – матриця стовпець заданих струмів.

10 - 13 листопада 2020 р.



Україна, Харків, НТУ «ХПІ»

Розрахунок складного електричного кола, яке заміщує багатoelementний ЗП, зводиться до спільного вирішення двох матричних рівнянь (1) і (2). Результатом рішення ЗП є отримання вхідного опору. Визначення напруги дотику здійснюється в заданих точках на поверхні землі.

Використання запропонованого алгоритму розрахунку в електричних мережах дозволяє визначити значення розподілу потенціалів при короткому замиканні (КЗ) на підстанції з урахуванням впливу провідності природних зосереджених заземлювачів.

Було виконано дослідження ЗП підстанції 110/6 кВ Північного регіону України. Визначення розрахункових значень напруги дотику і розподілу потенціалів при КЗ на території підстанції 110 кВ проводилося з використанням програми «Ground», яка реалізує запропонований алгоритм та містить блок врахування впливу об'ємних заземлювачів.

Розрахунки було проведено для однофазного КЗ на території відкритої розподільної установки для різних аварійних режимів в усіх можливих точках виникнення КЗ на обладнанні підстанції. Відповідно до випробувань було прийнято, що питомий опір ґрунту складає – для верхнього шару на глибині до 1,97 м – 33 Ом·м, а для нижнього шару на глибині від 1,97 м – 4,6 Ом·м.

Напругу дотику було визначено в 35 точках на території підстанції як максимальну різницю потенціалів між значенням потенціалу на обладнанні та значенням потенціалу на поверхні землі на відстані 0,8 м від обладнання.

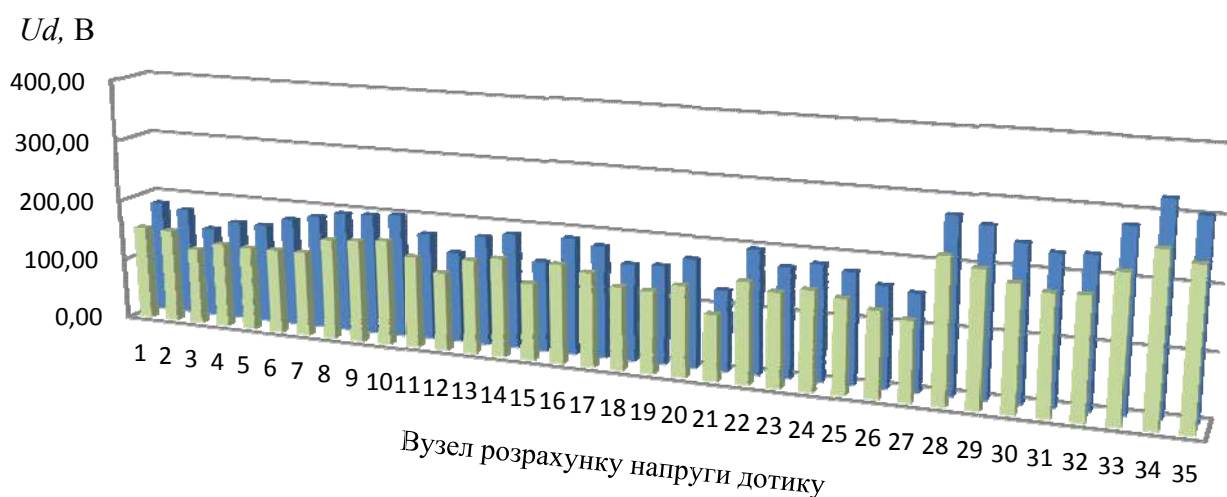


Рисунок 1 – Визначення розрахункових значень напруги дотику при КЗ в точці №1 на території підстанції 110 кВ: — з врахування природних заземлювачів, — без врахування природних заземлювачів

Удосконалений алгоритм розрахунку складних нееквіпотенційних ЗП електроустановок з урахуванням об'ємних зосереджених заземлювачів дозволив визначити розрахункові значення напруги дотику і розподілу потенціалів при КЗ на території підстанції 110 кВ. Завдяки цьому скориговані таким чином напруги дотику дали більш точну інформацію про величини нормованих параметрів по ЗП діючих електроустановок.

УДК 621.316

РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РЕЖИМУ ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ В ПРОГРАМІ DIGSILENT POWERFACTORY

Мірошник О.О., Пазій В.Г., Серeda А.І.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. П. Василенко, Україна, м. Харків*

Одним з найпоширеніших видів пошкоджень у розподільних мережах напругою 6-35 кВ є однофазне замикання на землю (ОЗЗ). Частка даного виду пошкоджень становить близько 90% від загальної кількості пошкоджень [1]. Крім того, при значних струмах, ОЗЗ може перерости в багатofазне коротке замикання. Одним зі способів підвищення надійності експлуатації розподільних мереж напругою 6 - 35 кВ є заземлення нейтралі через дугогасний реактор, головною перевагою якого в експлуатації є тривала робота з ОЗЗ без відключення споживачів.

Складність реалізації даного режиму роботи нейтралі обумовлена тим, що ємнісний струм змінюється в залежності від конфігурації мережі, резонанс можна підтримувати тільки автоматично, застосовуючи плавно регульовані дугогасильні реактори і автоматичну систему управління. На практиці зустрічається неправильне використання компенсації ємнісних струмів тому, не виконуються вказівки і рекомендації по компенсації ємнісних струмів, викладені в [2]. Тим самим переваги компенсації зводяться нанівець. Це дає привід деяким фахівцям робити висновки про недоліки компенсації і навіть про її шкідливість (великий рівень дугових перенапруг і можливість переходу ОЗЗ в міжфазні замикання при значному розлагодженні).

Метою дослідження є розробка імітаційної моделі розподільної мережі в режимі однофазного замикання на землю і розрахунок її основних параметрів.

Аналіз та експериментальна перевірка подібних систем є дуже витратною і трудомісткою роботою. У цьому випадку, щоб не проводити настільки дорогі

процедури, проблему можна вирішити шляхом заміни пристрою на віртуальну комп'ютерну модель.

Оцінити різні системи керування можливо використовуючи імітаційне моделювання. Моделювання розподільної мережі з компенсованою нейтраллю дозволяє вивчити перехідні процеси, що виникають при різних режимах роботи і зробити аналіз впливу характеру перехідних процесів на працездатність систем автоматичного підстроювання.

В якості середовища моделювання був використана програма розрахунку PowerFactory, яка розроблена компанією DIgSILENT. В середовищі PowerFactory була реалізована схема заміщення розподільної мережі при ОЗЗ [3].

DIgSILENT PowerFactory є інженерним інструментом для аналізу промислових, передавальних і комерційних електричних систем. Вона була розроблена як вдосконалена інтегрована і інтерактивна система програмного забезпечення, призначена для електричних систем і аналізу систем управління для досягнення основних завдань планування і оптимізації режимів. Точність і достовірність результатів отриманих за допомогою цього програмного забезпечення були підтверджені безліччю впроваджень виконаних електроенергетичними організаціями.

В ході досліджень було розглянуто конкретний приклад обчислення параметрів при використанні імітаційної моделі. Для цього в програмі DIgSILENT PowerFactory створено модель мережі та визначено параметри схеми заміщення. Для знаходження параметрів схеми заміщення було взято 5 повітряних (АС 70/11; АС 95/16; АС 120/19; АС 150/19; АС 185/24) і 5 кабельних (ПвВ 70/11; ПвВ 95/16; ПвВ 120/19; ПвВ 150/19; ПвВ 185/24) ліній електропередавання напругою 35 кВ і довжиною від 10 до 100 км [4]. Отримані результати наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри ліній в імітаційній моделі

Переріз проводу, мм ²		70	95	120	150	185
Повітряна лінія	L Гн	0,0138	0,0134	0,0132	0,0129	0,0129
	C, мкФ/км	0,049	0,05	0,05	0,051	0,051
Кабельна лінія	L Гн	0,00436	0,00443	0,00424	0,00404	0,00389
	C, мкФ/км	4,567	5,231	5,644	5,822	6,377

Висновки. За допомогою такої імітаційної моделі можна здійснювати розрахунки з високою точністю, а також при малій затраті часу. Використання програмного комплексу DIgSILENT PowerFactory, в порівнянні з іншими спеціалізованими прикладними пакетами, має ряд переваг: орієнтованість на електричні розрахунки, наявність вбудованих функцій і алгоритмів розрахунку та відповідність їх прийнятим стандартам та можливість вибору стандарту та ме-

тодики розрахунку, що дає змогу зменшити час розрахунку та забезпечити високу достовірність.

Список використаних джерел:

1. Пазій В.Г. Підвищення ефективності експлуатації електричних ліній 6-35 кВ за рахунок моніторингу аварійних ситуацій / Пазій В.Г., Черемісін М.М., Мірошник О.О. // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Харків : ХНТУСГ, 2018.
2. Крючков І. П., Неклепаев Б. Н., Старшинов В. А. та ін Розрахунок коротких замикань і вибір електрообладнання: навч. посібник для студ. Вища. учеб. закладів. - М.: Видавничий центр «Академія», 2006. - 416 с.
3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затв. Наказ Міністерства палива та енергетики 25.07.2006 №258.
4. ГКД 34.20.172-95. Типова інструкція з компенсації ємнісного струму замикання на землю в електричних мережах 6 - 35 кВ. – К.: НДІ Енергетики, 1998.

УДК 621.316

АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ ЧИЛЛЕР – ФАНКОЙЛ

Мірошник О.О., Тоберт М.Ю.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, Україна, м. Харків*

Постановка задачі, аналіз останніх досліджень та публікацій. Пошук надійної системи автоматизації для забезпечення нормальної роботи холодильної установки, при проектуванні промислових холодильників та їх експлуатації.

Мета досліджень. Аналіз нового холодильного обладнання під час його монтажу та безпосередньої роботи під час експлуатації.

Основні матеріали досліджень. Автоматичне регулювання чиллера дозволяє забезпечити точність підтримання заданих параметрів. В результаті підтримування оптимального режиму експлуатації холодильного обладнання скорочуються експлуатаційні витрати і збільшується термін роботи холодильного обладнання.

В залежності від виконання функцій розрізняють прилади автоматичного контролю, управління, регулювання та сигналізації.

Прилади автоматичного контролю вимірюють температуру, тиск, витрати холодильного агента і холодоносія, а іноді і записують їх чисельні значення.

Прилади автоматичного управління включають або виключають установку або окремі її елементи.

Прилади автоматичного регулювання призначені для підтримування заданих параметрів роботи холодильної установки.

Прилади автоматичної сигналізації оповіщають про змінення режиму.

Чиллер, в якому є необхідність регулювання певних параметрів, називають об'єктом регулювання. Під дією зовнішніх теплопритоків параметр, який регулюється (температура, тиск та ін.) відхиляється від заданої величини. Величину відхилення параметра від свого початкового значення називають неузгодження.

Висновки. Без приладів автоматичного контролю, управління, регулювання та сигналізації неможлива нормальна робота холодильної установки та її безпосередня автоматизація.

Список літератури

1. ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування". Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2013.
2. Калитенко С. Фреонові чилери зовнішнього встановлення для СКП // Журнал «М+Т», № 2-3, 2011.
3. Краснов Ю.С. Системы вентиляции и кондиционирования. – Москва, «Термокул», 2004 – 373 с.

УДК 621.315

ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ УШКОДЖЕННЯ ПРИ ЗАМИКАННЯХ НА ЗЕМЛЮ НА КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЯХ 6-10 КВ

Перепечений В.О.

*Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

У системах міського й промислового електропостачання через обмеженість території й вимог безпеки розподіл електроенергії здійснюється кабельними лініями (КЛ) електропередавання. Через електричні кабельні мережі середньої напруги 6-35 кВ розподіляється біля половини виробленої в країні електроенергії.

Аварії в розподільних кабельних мережах 6-10 кВ, складає близько 70% всіх порушень електропостачання промислових і побутових споживачів, як правило, супроводжуються значним економічним збитком.

Однією з головних причин аварій є моральне й фізичне зношування електроустаткування. Відзначається, що 80 % основних фондів в енергетиці виробили свій ресурс. Кабельні мережі 6-10 кВ складаються приблизно на 90 % з кабелів з паперово-просоченою ізоляцією (ППІ). Моральне й фізичне зношування КЛ 6-10 кВ у системах електропостачання становить 95%.

Аналіз статистики відмов КЛ різних напруг і ступеня їх впливу на виникаючі збитки, показав, що найбільші збитки виникають при відмовах КЛ 6-10 кВ, на які доводиться більше 70% всіх порушень електропостачання споживачів. Тому підвищення рівня експлуатаційної надійності розподільних кабельних мереж 6-10 кВ є одним із важливіших факторів підвищення надійності електропостачання споживачів.

Однофазні замикання на землю (ОЗЗ) є переважним видом ушкоджень у кабельних мережах 6-10 кВ. Значна частина ОЗЗ у кабельних мережах 6-10 кВ, у початковій стадії розвитку ушкодження ізоляції в КЛ і електричних машинах, має дуговий переривчастий характер. Найнебезпечнішим різновидом дугових переривчастих ОЗЗ є дугові перемежовані замикання (ДПОЗЗ), що характеризуються невеликими інтервалами часу Δt між гасінням й повторним запалюванням заземлюючої дуги від 10-20 мс [1] до ~50-70 мс і супроводжуються небезпечними перенапругами на неушкоджених фазах всієї електрично зв'язаної мережі. Виникнення дугових переривчастих ОЗЗ, що супроводжуються небезпечними перенапругами, можливо також і в компенсованих мережах при більших розналаштуваннях компенсації [2]. Перенапруги, що виникають при ДПОЗЗ, часто спричиняють переходи останніх у подвійні й багатомісні замикання на землю й багатofазні короткі замикання (КЗ) у місці ушкодження і є однією з основних причин аварій у кабельних мережах 6-10 кВ, що приводять до значного економічного збитку для споживачів. Швидке визначення ушкодженої КЛ при стійких ОЗЗ (УОЗЗ) і ДПОЗЗ і місця ушкодження є головними умовами як найшвидшої ліквідації ушкодження й відновлення нормального режиму роботи електричної мережі.

Більша частина ОЗЗ у розглянутих мережах має короткий тимчасовий характер, що самоусувається. Відомо, однак, що пробої в елементах із твердою або комбінованою ізоляцією не є минуцями й, виникнув, згодом неухильно розвиваються до повного пробоя (стійкого або перемежованого ОЗЗ або міжфазного КЗ). Тому селективну фіксацію короточасних, що самоусуваються, ОЗЗ (КрОЗЗ) у кабелях і електричних машинах можна використовувати з метою діагностики стану ізоляції елементів мережі й запобігання аварійного відключення

приєднань релейним захистом від КЗ. Фіксацією КрОЗЗ у кабельних мережах 6-10 кВ і використанням інформації про них, для проведення високовольтних випробувань ушкодженого елемента мережі, можна запобігти до 50% раптових відключень КЛ і більше 30% раптових відключень електродвигунів. Як правило, для визначення місця короткочасного пробоя ізоляції потрібне проведення високовольтних випробувань ушкодженого елемента або ділянки мережі.

Тому використання інформації про КрОЗЗ із метою діагностування стану ізоляції КЛ можливо за умови, що визначено не тільки ушкодженого приєднання, але й місця або зони пробоя ізоляції.

Таким чином, визначення місця або зони пробоя ізоляції при всіх різновидах ОЗЗ на КЛ 6-10 кВ, що перебувають під робочою напругою, є актуальним завданням, рішення якого дозволяє не тільки скоротити витрати часу на ліквідацію ушкодження й відновлення нормального режиму роботи мережі, але й, значно знизити ймовірність переходу ушкодження в КЗ, що відключається штатною дією релейного захисту, і зменшити число короткочасних порушень електропостачання (КПЕ) споживачів. Слід зазначити, що вдосконалення існуючих і створення нових промислових технологій приводить до збільшення їх чутливості до КПЕ.

Вирішення завдання дистанційного визначення місця ОЗЗ у розподільних кабельних мережах 6-10 кВ є однією з важливих завдань, пов'язаних з реалізацією концепції створення інтелектуальних активно-адаптивних електричних мереж, що мають нові властивості, такими, як самодіагностика, самовідновлення, здатність виявляти "слабкі" ділянки мережі й змінювати режим її роботи для запобігання виникнення технологічних порушень і інші.

Список використаних джерел:

1. Peters I.E. Voltage Induced by Arcing Ground / I.E. Peters, J. Slepian. - Tr.AIEE. - 1923. - P. 478
2. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов / Ф.А. Лихачев. - М.: Энергия. - 1971. - 152 с.

УДК 621.315.615.22

ОЦІНКА ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСФОРМАТОРНИХ МАСЕЛ В СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ З РІЗНИМИ УМОВАМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Пономаренко С.Г., Шутенко О.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Одним із шляхів удосконалення діагностики стану трансформаторних масел є використання методів статистичних рішень. Однак використання таких методів принципово неможливе без наявності інформації про закони розподілу показників масел. У зв'язку з відсутністю даної інформації в роботі наводяться результати аналізу законів розподілу вмісту в маслі органічних кислот в маслі трансформаторів з різними умовами експлуатації.

В якості вихідних даних аналізувалися результати періодичних випробувань вмісту в маслі органічних кислот по 231 трансформатору напругою 110 кВ і номінальною потужністю від 6,3 до 63 МВА, які експлуатуються в 6 регіонах України. Для зниження неоднорідності результатів періодичних випробувань був використаний алгоритм статистичної обробки, заснований на перевірці трьох статистичних гіпотез: про рівність математичних очікувань, про рівність дисперсій і подібність законів розподілу [1]. Як показано в [2-4], використання даного алгоритму стосовно діагностичних ознак різної фізичної природи дає позитивні результати. За результатами проведеного тестування були сформовані 5 статистично однорідних масивів для аналізованого показника. Обсяг вибірових значень N , значення вибіркового середнього M_x , вибіркової дисперсії D_x , а також коефіцієнтів асиметрії j_a і ексцесу j_e для отриманих масивів наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Статистичні характеристики однорідних масивів вмісту в маслі органічних кислот

Масив	N	M_x	D_x	j_a	j_e
М1	217	0,015311	0,000087	0,587	2,472
М2	198	0,027227	0,000083	0,252	2,966
М3	361	0,045917	0,000500	0,807	3,988
М4	333	0,064655	0,001557	0,690	2,978
М5	52	0,145615	0,005323	0,290	2,261

Як видно з таблиці, вибіркові середні значення вмісту в маслі органічних кислот істотно відрізняються, що свідчать про різні умови експлуатації силових трансформаторів, за результатами випробувань яких були сформовані дані масиви.

Для оцінки законів розподілу вмісту в маслі органічних кислот була використана програма "ZR", яка дозволяє перевірити відповідність емпіричних даних 11 відомим законам розподілу. За результатами аналізу встановлено, що розподіл вмісту в маслі органічних кислот для всіх 5 масивів може бути описано розподілом Вейбула. Слід зазначити, що в процесі аналізу для окремих масивів даних, гіпотеза про відповідність теоретичного закону розподілу емпіричним даним не відкидалася і для деяких інших законів. Наприклад, для відносно симетричних розподілів було встановлено відповідність вихідних даних нормальному і логістичному законам. А для несиметричних розподілів з математичним очікуванням в області низьких значень показника встановлено відповідність логарифмічному нормальному закону, закону Релея і гамма розподілам. Однак з усіх проаналізованих розподілів, відповідність емпіричних даних теоретичному закону встановлено тільки для розподілу Вейбула. Значення параметрів закону розподілу Вейбула а також розрахункові і критичні значення (при $\alpha=0,05$) критеріїв Пірсона і Колмогорова-Смирнова наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Значення параметрів закону розподілу Вейбула а також розрахункові і критичні значення (при $\alpha=0,05$) критеріїв Пірсона і Колмогорова-Смирнова

Масив	Параметри закону розподілу		Значення критерію Пірсона			Значення критерію Колмогорова-Смирнова	
	α	β	f	$\chi^2_{\text{розр.}}$	$\chi^2_{\text{крит.}}$	$\lambda_{\text{розр.}}$	$\lambda_{\text{крит.}}$
M1	0,017173	1,682338	6	10,467	12,600	0,711	1,360
M2	0,030317	3,279426	5	3,594	11,100	0,344	1,360
M3	0,051864	2,153784	4	6,074	9,490	0,545	1,360
M4	0,072510	1,679283	6	10,960	12,600	0,760	1,360
M5	0,164469	2,051452	3	2,202	7,820	0,312	1,360

На рисунку 1 (а) наведені залежності вмісту в маслі органічних кислот від тривалості експлуатації для 5 отриманих масивів, а на рисунку 1 (б) – теоретичні щільності розподілу Вейбула. Як видно з рисунків, незважаючи на приблизно однаковий термін експлуатації трансформаторів, швидкість окислювальних реакцій масел для різних масивів істотно відрізняється. Це свідчить

про істотний вплив завантаження трансформаторів на інтенсивність окислення масел. Даний вплив відбивається і на параметрах законів розподілу (рис. 1 (б)). Як видно з рисунку, в міру зростання значення коефіцієнтів завантаження трансформаторів від масиву М1 до М5 має місце зміщення математичних очікувань законів розподілу в область більш високих значень показника.

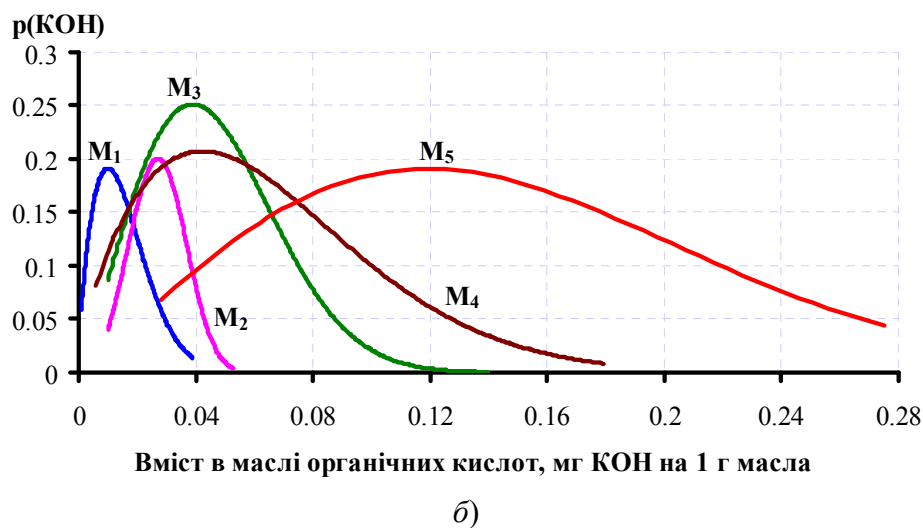
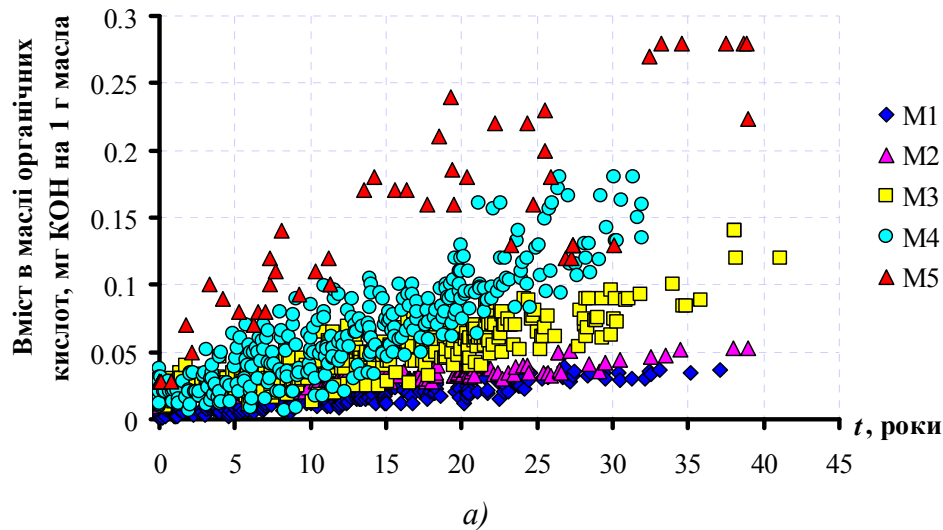


Рисунок 1 – Залежності вмісту в маслі органічних кислот від тривалості експлуатації (а) і теоретичні щільності розподілу Вейбула для 5 аналізованих масивів (б)

Список використаних джерел:

1. Шутенко О.В., Баклай Д.Н. Особенности статистической обработки результатов эксплуатационных испытаний при исследовании законов распределения результатов хроматографического анализа растворенных в масле газов // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – №60(1033). – С. 136-150.

2. Шутенко О.В., Баклай Д.Н. Аналіз законів розподілу концентрацій газів, розчинених в маслі високовольтних трансформаторів негерметичного виконання // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – №24(067). – С. 102-117.
3. Шутенко О.В. Анализ законов распределения скоростей нарастания газов в высоковольтных трансформаторах негерметичного исполнения // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Серія: Техніка та електрофізика високих напруг – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 15 (1237). – С. 103-110.
4. Shutenko Oleg, Zagaynova Alexandra, Serdyukova Galina Analysis of distribution laws of insulation indicators of high-voltage oil-filled bushings of hermetic and non-hermetic execution // Technology audit and production reserves. – 2018. – Vol. 4. – №. 1 (42). – pp 30-39; DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.140873>
5. Шутенко О.В., Баклай Д.Н. Планирование экспериментальных исследований в электроэнергетике. Методы обработки экспериментальных данных [Учеб. пособие для вузов] / О.В.Шутенко, Д.Н. Баклай – Харьков.: НТУ «ХПИ», 2013. – 268 с.

УДК 621.311

ДО ПИТАННЯ РЕЖИМУ НЕЙТРАЛІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ 20 КВ

Плохих Д.В., Щербак І.Є.

*Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Мережі 20 кВ виконують з низькоомним резистивним заземленням нейтралі, що дозволяє вирішити проблему перенапруг при однофазному замиканні на землю та реалізувати швидке селективне відключення пошкодженого приєднання.

Ввімкнення кабеля 20 кВ з боку шин 20 кВ підстанції призводить до виникнення перенапруг на віддаленому кінці кабельної лінії 20 кВ. Перенапруги виникають за рахунок зарядної ємності кабельної лінії та є гармонічними коливаннями, частота яких визначається довжиною кабельної лінії та попередньо включеним опором джерела. Амплітуда, коливань, що виникають визначається довжиною комутованої лінії. Перехідний процес загасає протягом 3 – 5 періодів високочастотних коливань.

Застосовуються підключення резистора до нейтралі за схемами спеціального трансформатора заземлення нейтралі 20/0,4 кВ або фільтра нульової послідовності за схемою Z_0 , що передбачають поділ шин 220 та 20 кВ за нульовою послідовністю та загальне зниження кратності перенапруг.

При проектуванні центрів живлення з низькоомним резистивним заземленням нейтралі опір заземлюючого пристрою електроустановок необхідно ро-

зраховувати базуючись на допустимих нормах напруги дотику за однофазного замикання та умов забезпечення чутливості ненаправлених струмових захистів від однофазного короткого замикання.

Вибір параметрів резисторів в мережі 20 кВ за умовами електробезпеки суттєво залежать від опору заземлюючого пристрою на ТП 20 кВ. Опори заземлюючих пристроїв в мережі 20 кВ оцінюються за відношенням

$$R_3 = \frac{U_{\text{дот}}}{I_R}, \quad (1)$$

де R_3 – опір заземлюючого пристрою; $U_{\text{дот}}$ – гранично припустима напруга дотику; I_R – номінальний струм резистору.

За перевірки умов електробезпеки в мережі 20 кВ необхідно враховувати додатковий (мідні екрани кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену) металевий зв'язок всіх ТП (РП) з заземлюючими пристроями ЦЖ 110/20 кВ.

За відсутності шунтуючих зв'язків необхідне значення еквівалентного опору заземлення досягається застосуванням глибинних заземлювачів. Зниження струму замикання в мережі з резистором до 40 – 600 А забезпечує електробезпеку за еквівалентного опору заземлюючих пристроїв на ЦЖ, РП, ТП у межах 0,1 – 0,2 Ом.

Задача електробезпеки в мережі 20 кВ з низькоомним резистором за $I_R = 400\text{--}600$ А вирішується за рахунок природного паралельного з'єднання головних контурів заземлення з двох боків мідних екранів кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену з погоним опором 0,17–0,37 Ом/км на одну ланцюг.

Вартість кабельної продукції в структурі загальних витрат відносно невисока. До того ж, за однакового перерізу жили вартість кабеля 10 і 20 кВ не суттєво відрізняється.

Розрахунковою умовою для мережі 20 кВ є трьохфазне КЗ за якого в екранах кабелів наводиться струм, більший, ніж у нормальному режимі. Максимальне значення трьохфазного струму КЗ на стороні 20 кВ живильних центрів 110 – 220/20 кВ не перевищує 14 кА.

Для оцінки термічної стійкості кабелів в мережі 10 кВ розрахунковий струм КЗ на порядок більший, ніж в мережі 20 кВ. В мережі 10 кВ порівняно із мережею 20 кВ вищі вимоги до перерізів екранів кабелів через різний режим заземлення нейтралей.

В електричній мережі 20 кВ (мережі з низькоомним резистивним заземленням нейтралей) значення коефіцієнта втрат потужності невелике та їм можна знехтувати при обґрунтуванні та виборі параметрів кабельних ліній. Екрани

слід заземлювати з одного боку. Якщо напруга на розімкненому боці екрану перевищує допустиме значення, то його слід заземлити з обох боків.

На підстанціях 20/0,4 кВ, як правило, встановлюють моноблоки по типу RM-6. Один моноблок звичайно складається з чотирьох комірок: три вимикача навантаження для двох відходящих ліній та секційної перемички і один вимикач для трансформатора 20/0,4 кВ.

Сухі трансформатори 20/0,4 кВ забезпечують протипожежні вимоги підстанцій, вбудовані в будівлі.

Використання в мережах 20 кВ сучасних КРУ та кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену позначається на підвищенні надійності елементів електричних мереж.

Автоматизований ввід резерву передбачено на РП 20 кВ та на стороні 0,4 кВ ТП 20/0,4 кВ.

УДК 621.315.2

ЗАВАДОСТІЙКА КАБЕЛЬНА ІНФРАСТРУКТУРА ЦИФРОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

Пушкарь О.А.

ТОВ «Київський кабельний завод «АЛАЙ», Україна, м. Київ

Ідея застосування цифрових технологій в системах збору та обробки інформації, управління і автоматизації в електроенергетиці з'явилися ще 15 років тому, але їх стрімкий розвиток почалося тільки недавно. Стрімкий ріст цифрових технологій спонукав виробників кабельної продукції впровадити нові високі технології та види кабелів, зокрема, на основі витих пар з відповідним комплексом параметрів передачі.

Так, зараз розробляється загальна концепція програмно-апаратного комплексу для успішного розвитку автоматизації процесів передачі, перетворення і розподілу електричної енергії в масштабах Єдиної національної електричної мережі. Кабелі на основі витих пар є невід'ємним елементом такого комплексу, що повинні забезпечити високі вимоги до завадостійкості при передачі сигналів в умовах працюючого електроенергетичного обладнання, яке є джерелом сильних електромагнітних завад. Екрановані рішення на основі витих пар є більш

привабливими з точки зору забезпечення завадостійкості при передачі широко-смугових цифрових сигналів в системах цифрового управління технологічними процесами.

На рисунку 1 наведено результати вимірювань завадостійкості, що визначається параметром перехідного загасання на ближньому кінці NEXT, 4-парних кабелів категорії 5е однакової довжини 100 м без екрану (рисунок 1,а) та в загальному екрані (рисунок 1,б). Наявність екрану забезпечує більш високу завадостійкість витих пар в області діапазону частот більше 1 МГц, що важливо для цифрових технологій при передачі цифрових сигналів в спектрі частот до 125 МГц.

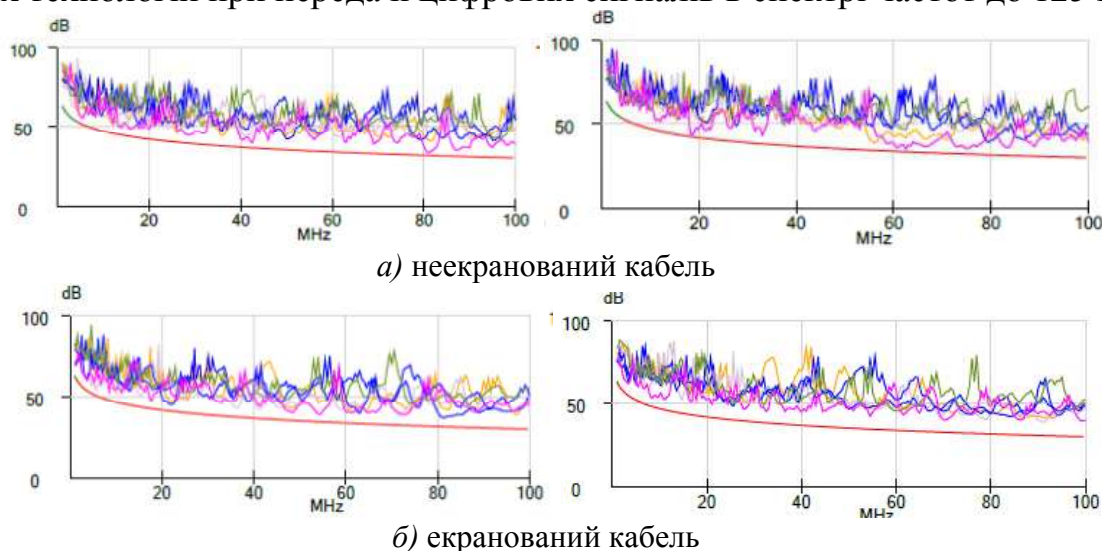


Рисунок 1 – Завадостійкість кабелів на основі витих пар

УДК 621.31

АНАЛІЗ СЕРЕДНЬОЇ ТРИВАЛОСТІ ДОВГИХ ПЕРЕРВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В СИСТЕМІ

Трунова І.М., Фенченко С.В.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, Україна, м. Харків*

Надійність електропостачання є складовою енергетичної безпеки країни. Для оцінки результатів та напрямків подальшої діяльності основним показником, за яким порівнюють надійність електропостачання в нашій країні з надійністю електропостачання в країнах Європейського Союзу є SAIDI. Пропонується актуальна на сьогодні порівняльна діаграма показників SAIDI країн Європи

10 - 13 листопада 2020 р.

та України, так як аналогічна діаграма з останнього Звіту про результати діяльності НКРЕКП у 2019 році (рис. 1) має ряд неточностей.

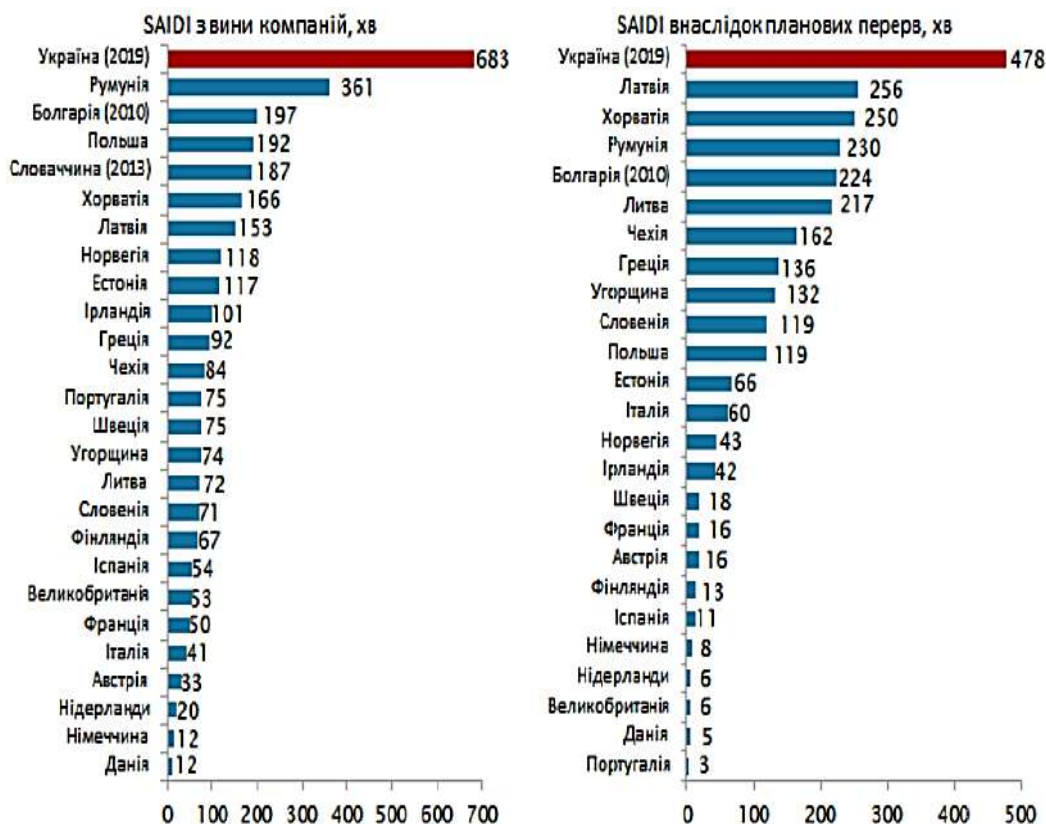


Рисунок 1 – Порівняльні діаграми за показником SAIDI для країн Європи (2016 р.) та України (2019 р.) у Звіті про результати діяльності НКРЕКП у 2019 році

Наприклад, для Болгарії наведені дані за 2010 рік, для Словаччини за 2013 рік, а для інших європейських країн за 2016 рік. Однак, якщо подивитися останній (липень 2018 року) порівняльний звіт Ради органів регулювання енергетики Європейського Союзу з безперервності постачання електроенергії та газу (BR 6.1 CEER), то там є відповідні дані (для Болгарії та для Словаччини) за 2016 рік. Крім того, аналізуючи ці дані по усім країнам, можна дійти висновку, що вони відрізняються від тих, що приведені у звіті НКРЕКП для інших країн за 2016 рік. Наприклад, для планових відключень Латвії у 2016 році у звіті НКРЕКП вказані 256 хвилин, в той час, як в у звіті CEER вказані 156 хвилин тощо. Використовуючи дані останнього звіту CEER з безперервності постачання електроенергії та газу (BR 6.1 CEER), отримуємо нові порівняльні діаграми, де Україна хоча і залишилася з найгіршими показниками, але діаграми точніше відображають ситуацію з надійністю електропостачання в цілому (рис. 2). Середня тривалість довгих перерв електропостачання в системі в Україні з вини

компаній більша в 1,84 порівняно з найближчою за цим показником європейською країною (Румунією), а внаслідок планових відключень – порівняно з Хорватією в 2,15 рази.

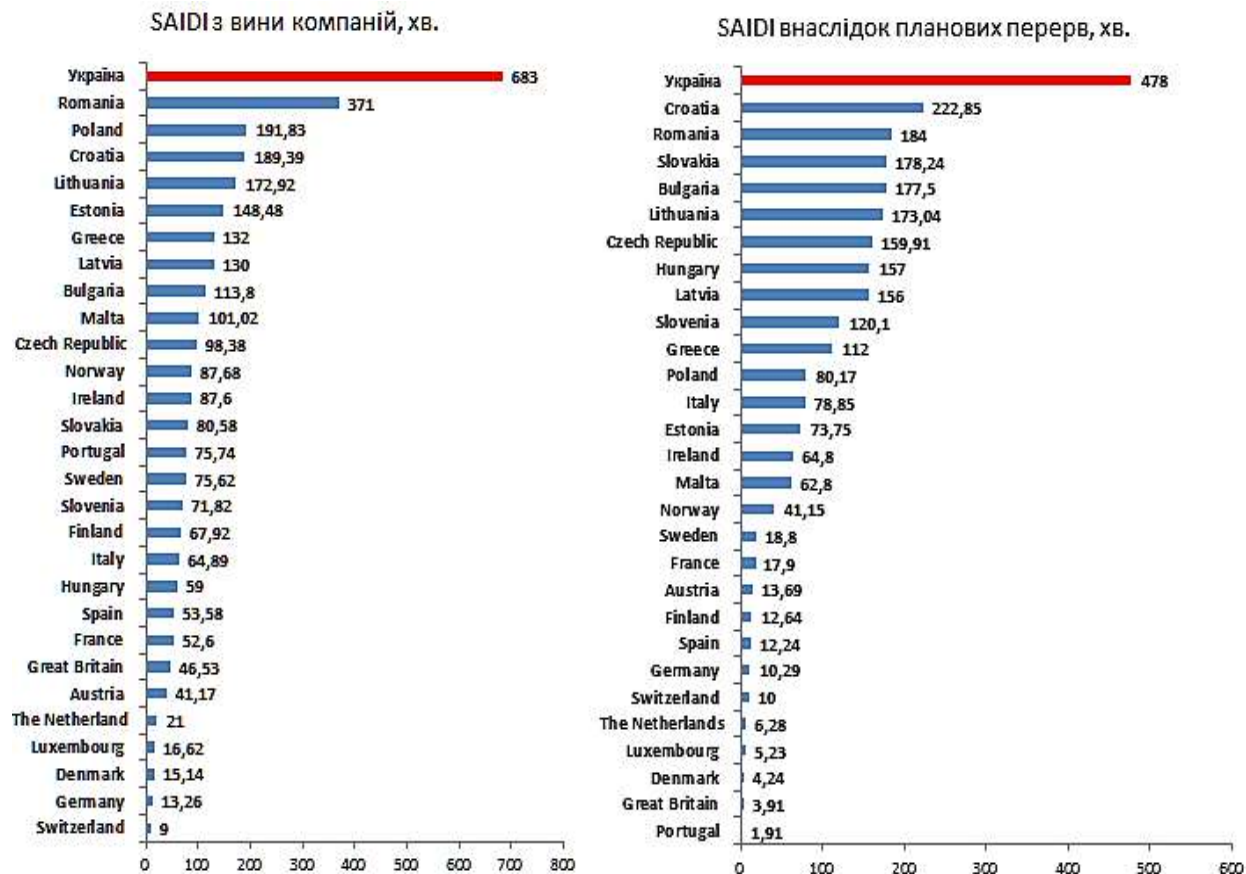


Рисунок 2 - Порівняльна діаграма за показником SAIDI для країн Європи

Аналізуючи дані, що приведені на рисунку 2, зрозуміло, що надійність електропостачання в Україні значно нижча, ніж у країнах Європи. При цьому, перевищення більші для планових відключень, що потребує додаткового аналізу причин, серед яких можуть бути наступні: технічний стан мереж електропостачання в Україні такий, що потребує значно більшого часу для проведення планових ремонтних робіт. До причин такої ситуації можна віднести і відтік кваліфікованих кадрів, які мають виконувати цю роботу; не досить сучасне технічне оснащення ремонтних робіт; низький рівень комп'ютеризації в організації технічної експлуатації тощо. Також запропонована діаграма дає можливість визначати для аналізу позитивні практики, коли результатом є зниження SAIDI (наприклад, у Латвії значно покращилася позиція щодо SAIDI на обох діаграмах).

УДК 621.311

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Тугай Ю.І., Нікішин Д.А.

*Інститут електродинаміки Національної академії наук України,
Україна, м. Київ*

Електрична енергія є товаром і використовується у всіх сферах життєдіяльності людини, а також безпосередньо бере участь при створенні інших видів продукції, впливаючи на їхню якість. Поняття ЯЕ відрізняється від поняття якості інших видів продукції, оскільки якість електроенергії на місці виробництва не гарантує її якості на місці споживання. Тому необхідним є системний аналіз ЯЕ, з урахуванням ієрархії електричних мереж.

При системному аналізі ЯЕ одна і та ж інформація, що використовується в одній задачі може бути повною та достовірною, тобто достатньою, в іншій неповною, нечіткою, а в третій неповною і (або) недостовірною, тобто невизначеною. Наприклад, при визначенні ЯЕ на даний момент часу (час контрольних вимірювань) інформація достатня, для ретроспективного аналізу вона неповна, для прогнозування - невизначена.

Електричні величини, на яких базуються показники якості електричної енергії, вимірюються в метричних шкалах, і при їх поданні використовуються такі терміни як стандартна невизначеність і розширена невизначеність [1]. Перша складова невизначеності викликана недосконалістю корекції систематичних ефектів. Друга складова – це складова, що викликана випадковими ефектами при вимірюванні. Третя складова невизначеності викликана недосконалістю самої концепції показника ЯЕ. Четверта складова невизначеності – інструментальна невизначеність виникає від неідеальності засобів вимірювання, що використовуються. Всі складові невизначеності, способи їх розрахунку і об'єднання при системному аналізі мають бути подаються у вигляді бюджету невизначеності.

При зростанні невизначеності інформації в якості науково обґрунтованого підходу оцінки ЯЕ доцільно використовувати теорію нечітких множин [2]. Як показує досвід при цьому можна виконувати побудову статистичних моделей з нечіткими коефіцієнтами методом множинного регресійного аналізу.

Список використаних джерел:

1. Ціделко В.Д., Яремчук Н.А. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання результату вимірювання – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2002 р. – 176 с.
2. Кузнецов В.Г., Тимчук С.А., Тугай Ю.И., Черемисин Н.М. Методика оценки качества электроэнергии в нечеткой форме // Энергетика та комп'ютерно -інтегровані технології в АПК. – 2014. – № 1. – С. 18–21.

УДК 621.316

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ПРАКТИК ІТІЛ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ В ОБ'ЄДНАНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ ТА НА ШЛЯХУ ЇХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Хломко С.О.

ТОВ «Мережаенергобуд», Україна, м. Київ

Як технічна так і організаційна частина Об'єднаної енергетичної системи України (далі – ОЕС) стала «надбанням» вітчизняного спадку. Вітчизняна економічна модель управління базувалась на довгостроковому плануванні, як продукт екстраполяції історично сформованих тенденцій та політичного керівництва «тільки вперед» (п'ятирічки - одна, друга..., десята а в кінці «повний» Комунізм).

Стратегічне управління на відміну від довгострокового планування, в загальному розумінні відрізняється в наповненні: Стратегія – це якісні орієнтири організації що дозволять виконувати свою місію протягом тривалого часу, а довгострокове планування – це розпорядження наявними ресурсами, здійснюється на аналізі кількісних показників (планування є складовою Стратегічного управління, а не навпаки).

Ще потрібно зауважити про існування такого потужного фактору, як Ринкова економіка на відміну від Планової економіки де все існувало під наглядом однієї руки (Держава=Виробник=Споживач), у випадку Ринкової економіки - Споживач є визначальним орієнтиром якому Держава допомагає, а Виробник задовольняє потреби. Це працює за умови верховенства закону для всіх без виключень.

Отже проаналізувавши «сузір'я» так званих «енергетичних стратегій», так званих «програм розвитку» та інших нормативних документів ми населення, що платить податки та Держава Україна не має Стратегії розвитку Енерге-

тичного ринку в цілому та окремо Об'єднаної енергетичної системи всі 29 років незалежності.

Метою доповіді вбачаю в постановці орієнтирів чому потрібна Стратегічне планування відповідно до міжнародно визнаних стандартів (на прикладі ІТІЛ досвіду), досвід, що може бути застосований при написанні Стратегії ОЕС та які напрацювання визначенні для базових точок вводу при моделюванні Стратегії ОЕС.

УДК 620.424.1; 620.98

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕМИКАННЯ В ТОНКИХ ПЛІВКАХ ТЕЛУРИДУ КАДМІЮ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАХИСТУ ВІД ЕМІ

Хрипунов М.Г., Кудій Д.А., Зайцев Р.В., Дроздова Г.А.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Для забезпечення захисту електричних ланцюгів застосовуються елементи захисту радіоелектронної апаратури (РЕА) від імпульсних перенапруг. Найважливішою властивістю елементів захисту: газових розрядників, напівпровідникових стабілітронів, варисторів і обмежувальних діодів – є їх здатність за короткий час τ_{sw} (час перемикання або час спрацьовування) знижувати свій опір R_c від $5 \cdot 10^4 - 10^{10}$ Ом до значення, істотно нижче величини вхідного опору елемента РЕА, при перевищенні напруги U_i в ланцюзі величину порогової напруги U_t , яку називають порогом перемикання або порогом спрацьовування [1]. Якщо такі елементи захисту підключити паралельно до пристрою, що захищається, то при $U_i > U_t$ за час τ_s знижується амплітудне значення напруги на пристрої до величини U_t (стабілітрони, варистори, обмежувальні діоди) або до величини істотно нижче U_t (газові розрядники). Найбільшого поширення набули обмежувальні кремнієві діоди, так як вони мають високу швидкодію (τ_s на рівні 1 нс). Однак вони можуть шунтувати обмежену кількість енергії і мають міжелектродну ємність на рівні 20 пФ, що обмежує їх застосування для захисту НВЧ РЕА.

Тому для створення елементів захисту для СВЧ РЕА в даній роботі проводилися дослідження амплітудно-часових характеристик перемикання в тонких плівках телуриду кадмію.

За експериментальними осцилограмами були досліджені амплітудно-часові характеристики процесу перемикання в отриманих тонких плівках телуриду кадмію. Якісний вид типової осцилограми експериментальної епюри напруги на плі-

вкових зразках наведено на рис. 1 (крива 1). На цьому рисунку також наведено якісний вигляд типової осцилограми імпульсів напруги, що діють на зразок.

Визначенню характеристик процесу перемикання передувало визначення порогу спрацьовування, яке проводилося шляхом подачі на зразки прямокутного імпульсу. Цей імпульс мав мінімально необхідну для першого спрацьовування амплітуду. Потім подавалося кілька вимірювальних імпульсів з мінімально необхідною для чергових спрацьовувань амплітудою яка ототожнювалася з величиною порогового напруги U_t . У таблиці 1 наведені напруги порогів спрацьовування U_t , максимальні при цьому напруги на зразках U_s , максимальна залишкова напруга на зразках $U_{\max}$, мінімальна залишкова напруга на зразках $U_{\min}$, час перемикання в низькоомний стан τ_s . У таблиці 1 також наведені значення електроопору зразків постійному струму R_e після 20 кратного імпульсного впливу з амплітудою U_i . Було встановлено, що величини амплітудно-часових характеристик не залежать від полярності дії на плівкові зразки імпульсів струмів.

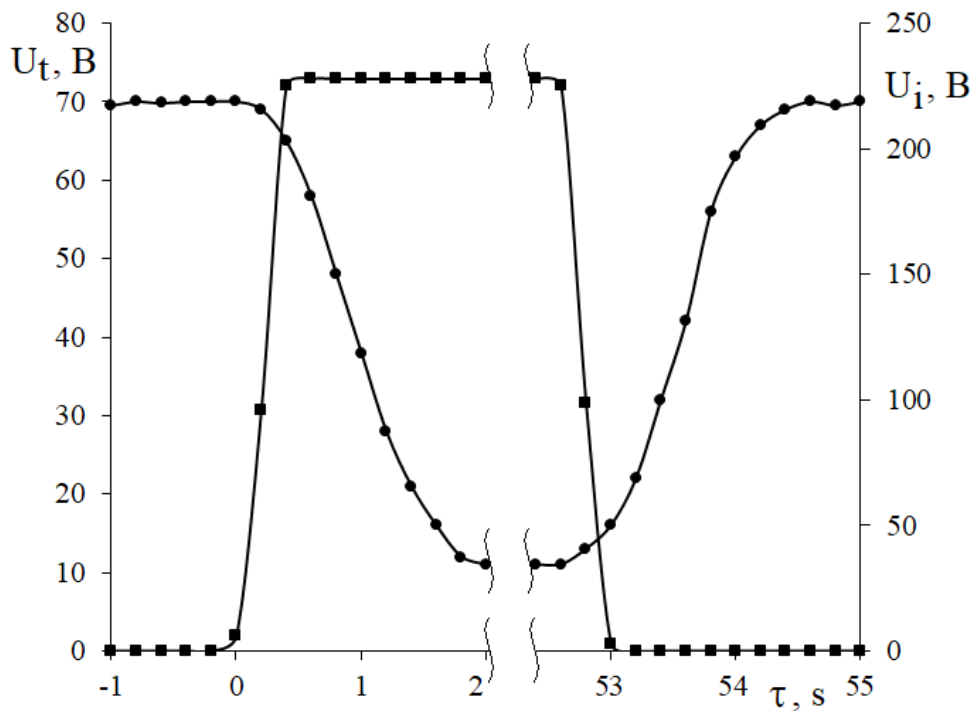


Рисунок 1 – Типова осцилограма експериментальної епюри напруги на плівкових зразках телуриду кадмію

Таблиця 1 - Результати досліджень амплітудно-часових характеристик перемикання тонкоплівкових зразків телуриду кадмію і електроопору цих зразків постійному струму після серії імпульсних впливів

$d, \text{ мкм}$	$U_t, \text{ В}$	$U_s/U_i, \text{ В}$	$(U_{\max}-U_{\min})/U_i, \text{ В}$	$\tau_s, \text{ нс}$	$R_e, \text{ Ом}$
3	75	42/285	(20-10)/285	<2	$1.7 \cdot 10^5$
3	75	38/271	(20-10)/271	<2	$2.0 \cdot 10^5$
4	70	40/214	(13-5)/214	<2	$1.3 \cdot 10^6$
4	70	50/211	(12-5)/211	2	$7.7 \cdot 10^6$
6	70	52/216	(15-7)/216	2	$5.6 \cdot 10^6$
6	75	51/225	(15-7)/225	2	$5.6 \cdot 10^6$
7	80	55/240	(20-10)/240	<2	$1.5 \cdot 10^6$
7	70	53/219	(20-10)/219	2	$1.7 \cdot 10^6$
8	105	120/316	(40-20)/316	2	$2.3 \cdot 10^6$

Експериментально було встановлено, що шари телуриду кадмію товщиною від 3 до 7 мкм можуть бути використані для створення елементів захисту надвисокочастотної радіоелектронної апаратури, оскільки зразки, що представляють розміщені в корпусі СВЧ діодів плівкові шари телуриду кадмію, при подачі на них електричних імпульсів тривалістю 1 мкс мали час перемикання на рівні 2 нс і мали ємність не більше 2 пФ. При цьому величина залишкової напруги могла бути знижена до 5 В, а величина напруги спрацьовування може регулюватися товщиною базового шару.

Список використаних джерел:

1. Pergament A. Electrical Switching in Thin Film Structures Based on Transition Metal Oxides / A. Pergament, G. Stefanovich, V. Malinenko, A. Velichko // Advances in Condensed Matter Physics. - 2015. – Vol. 2015. - Article ID 654840.

УДК 621.315

ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМКИ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗМІННИМ СТРУМОМ

Черкашина В.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Напрямки технічних рішень передачі електроенергії можливо умовно розділити на дві групи [1]:

- перша група – «традиційні» («старі») рішення передачі електроенергії;
- друга група – інноваційні («нові») рішення передачі електроенергії.

Цей розподіл умовний тому, що у розвинених країнах деякі технічні рішення, які належать до «нових» застосовуються уже багато років в той час, як в інших країнах вони відносно нові. Класифікація інноваційних технічних рішень передачі електроенергії змінним струмом наведено на рис. 1.



Рисунок 1 – Інноваційні рішення передачі електроенергії змінним струмом

Повітряні лінії електропередачі (ПЛ) розділяють на дві категорії.

До першої категорії належать ПЛ, у яких реактивні параметри змінюються за рахунок зміни геометричного розташування фаз та їх складових. У цьому випадку мова йде про статичну оптимізацію режимних властивостей лінії. У результаті збільшується передана натуральна потужність та зменшується напруженість електричного поля під лінією. Характерним прикладом цієї категорії є ПЛ зі зближеними розщепленими фазами, їх ще називають «компактними». Дані ПЛ виконуються на опорах охоплюючого типу, де суміщені відповідні фази двох ланцюгів і не розділені стійками опор.

Покращення технічних рішень для передачі електроенергії можливо й за рахунок застосування спеціальних проводів. Така постановка завдання приваблива як з технічної, так і з економічної точки зору [2].

На сьогодні, висуваються наступні вимоги до інноваційних проводів: максимально висока електропровідність; максимально висока механічна міцність; невелика погонна маса; стійкість до високих температур; малі температурні подовження; стійкість до старіння і вітрових впливів. Умови виконання вищеописаних вимог є конкуруючими. Наприклад, найкраща міцність забезпечується сталлю, а найкраща електропровідність і мала маса алюмінієм. Для отримання необхідної температурної стійкості розглядалося застосування дисперсійно-твердіючих матеріалів, цирконієвих сплавів, композитних та інших матеріалів, а також отриманням і впровадженням волокон оксиду алюмінію. На світовому ринку у сфері виробництва класичних і спеціальних марок проводів виступають кілька десятків компаній. На сьогоднішній день актуальні постачальники вже визначилися: Nexans, Бельгія; Lumpi-Berndorf, Австрія; J-Power Systems, Японія; 3М, США.

До другої категорії належать ПЛ, у яких змінюються режимні параметри за допомогою керування балансом реактивної потужності в лінії, тобто співвідношенням між генерацією лінією реактивної потужності та втратами реактивної потужності. Останнім часом з'явився термін «керовані самокомпенсуючі повітряні лінії» (КСПЛ). В якості компенсуючих пристроїв використовуються керовані шунтуючі реактори (КШР), які споживають реактивну потужність в залежності від рівня напруги. Тиристорні компенсатори (СТК), які працюють як у режимі споживання, так і в режимі генерації реактивної потужності. Використання названих пристроїв надає ПЛ можливість динамічної оптимізації режимних властивостей лінії.

Кабельні лінії електропередачі (КЛ) у зарубіжній практиці умовно розподіляють на: з форсованим (примусовим) охолодженням; газоізолюючі лінії, де в якості ізолюючого матеріалу використовують чистий елегаз під тиском [2].

Висновок. Впровадження технічних заходів щодо розроблення нових та вдосконалення існуючих ліній електропередачі на державному рівні дозволить покращити техніко-економічний стан електричних систем та мереж.

Список використаних джерел:

1. Базюк Т.М., Блінов І.В., Буткевич О.Ф., Гончаренко І.С., Денисюк С.П., Жуйков В.Я., Кириленко О.В., Лук'яненко Л.М., Миколаєць Д.А., Осипенко К.С., Павловський В.В., Рибіна О.Б., Стелюк А.О., Танкевич С.Є., Трач І.В. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими: монографія / за заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка. К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.
2. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2016. 44 p.

УДК 004.891.3

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОШУКУ РІШЕНЬ В ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМАХ,
ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ
ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ**

Швець С.І., Шутенко О.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

У сучасних умовах функціонування електроенергетичних систем (ЕЕС) спостерігається стійка тенденція використання систем штучного інтелекту для вирішення завдань проектування, управління, діагностики та експлуатації ЕЕС. Це обумовлено, в першу чергу, структурною перебудовою ЕЕС, створенням і впровадженням енергоринку, а також тотальним впровадженням інформаційних технологій і сучасних мікропроцесорних пристроїв, призначених для збору інформації про об'єкт, а також для контролю і управління цими об'єктами.

При вирішенні завдання діагностики електрообладнання важливим є використання критеріїв і правил, що дозволяють отримувати висновки для різних ситуацій на основі єдиної системи оцінок. З іншого боку унікальний досвід фахівців часто виявляється більш ефективним, ніж правила, викладені в міжнародних, національних і відомчих стандартах з діагностики обладнання. Важливим і актуальним завданням є розробка таких систем, які могли б не тільки зберігати

ти знання, а й отримувати нові на основі накопиченого досвіду (як це робить людина).

Експертні системи і системи штучного інтелекту відрізняються від систем обробки даних тим, що в них в основному використовуються символічний (а не числовий) спосіб подання, символічний висновок і евристичний пошук рішення (а не виконання відомого алгоритму). У той же час виконаний в [1] Аналіз експертних систем, які використовуються як в Україні так і за її межами показав, що в більшості з відомих систем (ІАС Альбатрос, Діагностика +, і т.д.) прийняття рішення про стан обладнання здійснюється на підставі заздалегідь закладеного алгоритму. Тобто. фактично існуючі системи є не експертними, а інформаційно-аналітичними системами. У більшості з цих систем методи пошуку рішень засновані на критеріях і нормах регламентованих в національних або міжнародних стандартах з діагностики конкретного обладнання. У той же час у багатьох системах, крім норм, закладених стандартами з діагностики широко використовуються і авторські методи діагностики [2, 3].

В основі більшості використовуваних авторських методів лежать основні положення теорії розпізнавання образів. Ряд завдань технічної діагностики можна вирішити використовуючи статистичні методи розпізнавання. Перевага статистичних методів розпізнавання полягає в можливості одночасного обліку інформаційних ознак різної фізичної природи, які характеризуються умовними ймовірностями їх кількісного прояву при різних станах системи. При цьому допускається перетин функцій щільності розподілу діагностичних ознак для об'єктів з різним діагнозом, що адекватно відображає реальні фізичні процеси в ізоляції обладнання. Використання статистичних методів дозволяє як визначати граничні значення діагностичних ознак, що використовуються для діагностики стану обладнання (метод мінімального числа помилкових рішень, метод мінімального ризику, метод мінімакса, метод Неймана-Пірсона), а й розпізнавати стан обладнання на основі відомих розподілів діагностичних ознак (відношення правдоподібності) [4].

При використанні детерміністського підходу області діагнозів зазвичай вважаються "непересічними", тобто ймовірність одного діагнозу (в область якого потрапляє точка) дорівнює одиниці, ймовірність інших дорівнює нулю. При використанні детерміністських методів основний акцент спрямований на поділ в просторі ознак і на розпізнавання стану системи по діагностичному відстані.

Особливо слід відзначити алгоритми розпізнавання, засновані на використанні апарату нечіткої логіки і нейронних мереж. Дані алгоритми дозволяють досить успішно розпізнавати стан обладнання в умовах апріорної невизначено-

сті, зашумленості і обмеженості вихідної діагностичної інформації [5]. Однак істотним обмеженням при використанні даних алгоритмів є необхідність наявності досить високого обсягу навчальної вибірки, яка б описувала максимально можливий набір можливих станів діагностується об'єкта.

Список використаних джерел:

1. Шутенко О. В., Баклай, Д. Н. Анализ функциональных возможностей экспертных систем, используемых для диагностики состояния высоковольтного маслонаполненного оборудования / Шутенко О. В., Баклай Д. Н. // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». –2011 – №3. –С. 179-193.
2. Шутенко О. В., Баклай Д. Н. Информационно-аналитическая система для диагностики состояния высоковольтного электроэнергетического оборудования / Шутенко О. В., Баклай Д. Н. // Енергетика та електрифікація. – Київ, 2011 – №8. – С. 32 – 41.
3. Shutenko Oleg, Kulyk Oleksii, Ponomarenko Serhii Informational and Analytical System for Diagnostics of the Electric Power Equipment Condition // 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, May 2020 .– P. 105-110, DOI: 10.1109/ESS50319.2020.9160251.
4. Бондаренко В. Е. Математические основы технической диагностики объектов электрических сетей: учеб. пособ. в двух частях, часть 1 / В. Е. Бондаренко, О. В. Шутенко, Д. Н. Баклай – Х. : НТУ «ХПИ», 2017. – 266 с.
5. Бондаренко В. Е. Математические основы технической диагностики объектов электрических сетей: учеб. пособ. в двух частях, часть 2 / В. Е. Бондаренко, О. В. Шутенко, Д. Н. Баклай – Х. : ФЛП Панов А. И., 2019 – 262 с.

УДК 620.424.1; 620.98

НАКОПИЧУВАЧ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА НАДКОРОТКИХ ІМПУЛЬСІВ

Шкода Д.С., Кіріченко М.В., Дроздов А.М., Зайцев Р.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Останнім часом все більша увага приділяється до електромагнітної стійкості, радіоелектронної апаратури (РЕА) під якою мається на увазі властивість зберігати робочі параметри під час і після дії електромагнітних імпульсів (ЕМІ) різного походження [1,2]. Під впливом ЕМІ в ланцюгах схем наводяться імпульси перенапруги, а зі зменшенням розмірів напівпровідникових приладових структур рівень енергії, достатній для їх пошкодження знижується і для інтегральних мікросхем

становить від 10^{-3} Дж до 10^{-7} Дж. В якості запобіжників зазвичай застосовуються елементи захисту РЕА від імпульсних перенапруг які підключаються паралельно до захищеного пристрою та при досягненні порогової напруги спрацьовування за короткий час здатні знижувати свій опір до значення, істотно нижчого за величину вхідного опору елемента РЕА.

Для проведення досліджень елементів захисту РЕА у попередніх роботах [3] було розроблено генератор на основі зарядової лінії з коаксіального кабелю з електронним блоком для живлення та керування, що дозволило генерувати імпульси прямокутної форми із фронтом наростання 2,5 нс та амплітудою до 200 В. Проте для зарядової лінії амплітуда імпульсу становить половину від зарядної напруги кабелю, що при заряджанні такої лінії до 400 В, обмежило амплітуду імпульсу величиною у 200 В, а тривалість імпульсів, що задається довжиною зарядової лінії із технологічних причин була обмежена до 100 нс, що загалом і не дозволило відтворити енергетичні параметри реальних ЕМІ, що справляють руйнуючий вплив на РЕА [4].

У зв'язку з цим, метою даної роботи було проведення модернізації раніше розробленого генератора наносекундних імпульсів для забезпеченні генерації імпульсів підвищеної енергії.

Вочевидь домогтися збільшення енергії генерованого ЕМІ можна або за рахунок збільшення амплітуди імпульсу, або шляхом збільшення його тривалості. Модельні розрахунки показали, що у першому варіанті необхідно підвищити амплітуду імпульсів до 1 кВ та більше, що є малоприйнятним з міркувань техніки безпеки та потребує створення коштовного високовольтного блоку живлення.

В той же час збільшення енергії імпульса шляхом збільшення його тривалості видається більш перспективним рішенням, оскільки як показує аналіз характеристик реальних прикладів ЕМІ руйнівний вплив на елементи РЕА справляють саме імпульси тривалістю у десятки мікросекунд. Для практичної реалізації такого підходу можуть бути використані промислові швидкодіючі конденсатори, тривалість розрядки котрих дозволить регулювати тривалість імпульсів. До того ж це дозволить оминати характерне для генераторів на зарядовій лінії обмеження амплітуди імпульсу половиною зарядової напруги і не тільки збільшити тривалість ЕМІ, але й їх амплітуду до 400 В, використовуючи те саме джерело постійної напруги.

Для вирішення поставленої задачі було проведено модельні розрахунки швидкості розряду конденсатору, які продемонстрували, що використовуючи поширені конденсатори ємністю 20-25 мкФ можна одержати імпульси тривалістю 50-100 мкс. При цьому використовуючи батарею конденсаторів, що

скомутовані паралельно, можна ступінчасто регулювати тривалість імпульсу, а заряджаючи конденсатори до напруги, менше максимальної можна також варіювати і амплітуду генерованих імпульсів.

Для практичної реалізації були обрані полімерні пускові конденсатори Píranil ємністю 25 мкФ та максимальною напругою 400 В які заплановано скомутовувати відповідно до розробленої принципової схеми та змонтувати у типовому пластиковому корпусі.

Конструктивно такий накопичувач енергії для генератора імпульсів буде виконано у пластиковому корпусі, для комутації між собою окремих конденсаторів буде застосовано стандартні тумблери або кнопки з фіксацією, що дозволить ступінчасто регулювати тривалість імпульсу у діапазоні 25-400 мкс в залежності від кількості задіяних конденсаторів та ступеня їх зарядки.

Амплітуда імпульсу буде задаватися зарядкою конденсаторів до напруги в діапазоні 40-400 з кроком не більше 1 В від раніше виготовленого приладу для контролю та живлення генератору ЕМІ. Комутація накопичувача енергії із джерелом постійної напруги та із комутатором, що буде запускати процес генерації ЕМІ буде реалізована типовими високовольтними коаксіальними роз'ємами. В якості комутатора заплановано використати ртутне герконове реле, що дозволить мінімізувати час наростання імпульсу, або звичайне силове електромагнітне реле.

Комбіноване використання у складі генератора ЕМІ накопичувачів енергії на основі зарядової лінії та конденсаторів дозволить за необхідності реалізовувати або імпульс прямокутної форми для дослідження часових характеристик перемикання, або досліджувати граничні характеристики елементів захисту під дією високоенергетичних імпульсів, що генеруються розрядом конденсаторів.

Список використаних джерел:

1. Ghosh C.N. EMP weapons / C.N. Ghosh // Strategic Analysis. – 2008. – Vol. 24.– №7 – С. 1333 – 1350.
2. Дьяконов В.П. Генерация и генераторы сигналов / В.П. Дьяконов // ДМК Пресс. – 2009. – С. 384.
3. Дроздов А.М. Система керування генератора наносекундних імпульсів / А.М. Дроздов, Р.В. Зайцев, М.В. Кіріченко, Г.С. Хрипунов // III Всеукраїнська науково-технічна конференція «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем» 12-15 листопада 2019 р., Тези доповідей. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019 р. – С. 93.
4. Khrypunov M.G. Amplitude-time Characteristics of Switching in Thin Films of Cadmium Telluride / M.G. Khrypunov, R.V. Zaitsev, D.A. Kudii, A.L. Khrypunova // Journal of nano- and electronic physics. – 2018. – Vol. 10. – No 1. – P. 01016-1 – 01016-5.

УДК 621.314.212

**ОСОБЛИВОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ДЕФЕКТІВ
ВИСОКОВОЛЬТНОГО МАСЛОНАПОВНЕНОГО ОБЛАДНАННЯ
З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ НОМОГРАМ****Шутенко О.В.***Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Чинним в Україні національним стандартом [1] з інтерпретації результатів аналізу розчинених в маслі газів (АРГ) для розпізнавання типу дефекту, на додаток до значень відношень газів, рекомендується до використання метод графічних образів або метод номограм. Метод був запропонований японськими дослідниками [2] на основі практичного досвіду зіставлення фактично виявлених дефектів з концентраціями газів, отриманими за допомогою АРГ. Номограми будуються за концентраціями п'яти газів: H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 . Алгоритм побудови графічного образу дефекту наступний:

1) За результатами АРГ серед усіх газів вибирають з найбільшою концентрацією.

2) Визначають величину відношення кожного газу до газу, що має найбільшу концентрацію. Відношення газу з найбільшою концентрацією приймається за 1, відношення інших газів будуть менше 1.

3) Будують графік образу дефекту, на якому по осі абсцис розміщують гази строго в наступному порядку: H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 , а по осі ординат відкладають обчислене відношення для кожного з цих газів. Отримані точки з'єднують лінією.

4) Порівнюють отриманий графік з еталонними образами і вибирають той, де досягається максимальний збіг. Цей образ і визначає вид дефекту.

Метод номограм завдяки своїй простоті і наочності набув широкого поширення. Однак істотним недоліком даного методу є обмежений обсяг еталонних номограм, що не завжди дозволяє розпізнати тип дефекту [3]. Особливо це стосується комбінованих дефектів, тобто розрядів, які супроводжуються нагрівом або нагрівів, які супроводжуються розрядами. Як показав виконаний в [4] аналіз, побудовані для комбінованих дефектів номограми представляють із себе суму номограм відповідних дефектів електричного і термічного типу. Наприклад, на рис. 1 а приведена номограма дефекту, побудована за результатами АРГ трансформатора ТРДН-25, напругою 110 кВ в якому при розтині були виявлені часткові розряди, що супроводжуються перегрівом з температурою

менше 300°C. На рис. 1 б і в наведені номограми, що відповідають частковим розрядам (рис. 1 б) і перегрівам з температурою менше 300°C (рис. 1 в). Як видно з рисунку, номограма комбінованого дефекту представляє з себе суму двох номограм, що може бути використано для визначення типу комбінованих дефектів.

Для того щоб оцінити ступінь інтенсивності розрядів для комбінованих дефектів необхідно з координат аналізованої номограми відняти координати номограми, що відповідає передбачуваному перегріву. Отримана в результаті номограма і буде характеризувати інтенсивність розрядів. В якості прикладу на рис. 2 а наведена вихідна номограма, побудована за результатами АРГ трансформатора ТДТН-31,5/110, в якому виявлені перегріви в діапазоні температур 150-300°C і розряди з високою щільністю енергії (рис. 2 а). Номограма на рис. 2 в отримана в результаті віднімання координат номограми, що відповідає перегріву в діапазоні температур 150-300°C (рис. 2 б) з координат вихідної номограми, наведеної на рис. 2 а. Як видно з рис. 2 в, отримана номограма відповідає дугового розряду, що збігається з реальним діагнозом трансформатора.

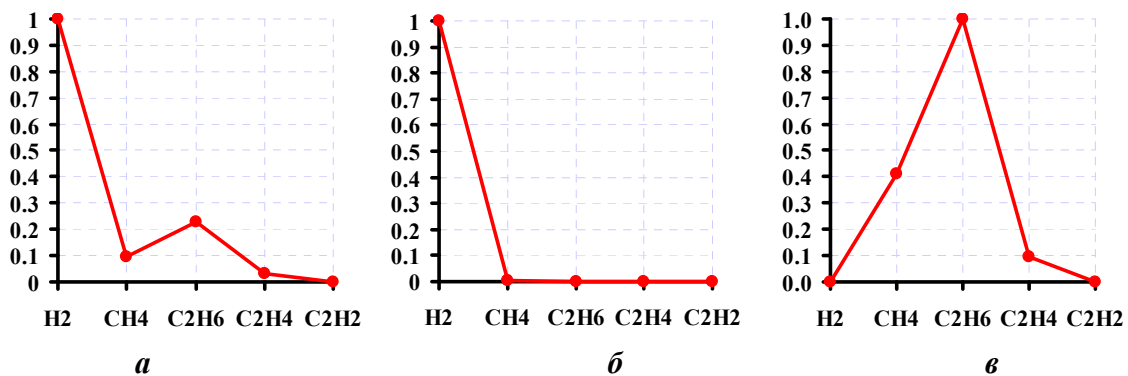


Рисунок 1 – Номограма часткових розрядів, які супроводжуються перегрівом з температурою менше 300°C (а) і вихідні номограми, що відповідають частковим розрядам (б) і перегрівам з температурою менше 300°C (в)

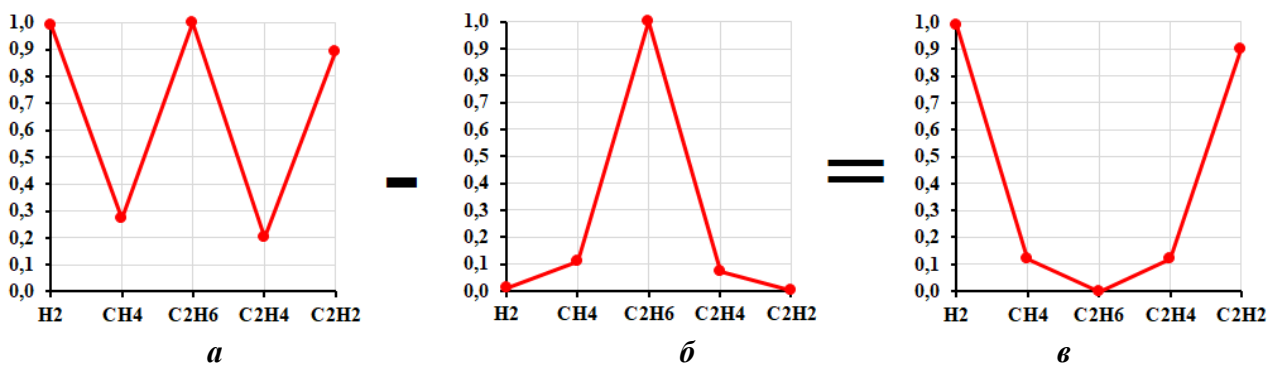


Рисунок 2 – Розпізнавання перегрівів в діапазоні температур 150-300°C, які супроводжуються дуговими розрядами

Список використаних джерел:

1. СОУ-Н ЕЕ 46.501:2006 Діагностика маслонаповненого трансформаторного обладнання за результатами хроматографічного аналізу вільних газів, відібраних із газового реле, і газів, розчинених у ізоляційному маслі.
2. T. Kawamura, N. Kawada, K. Ando, M. Yamaoka, T. Maeda, T. Takatsu, "Analyzing gases dissolved in oil and its application to maintenance of transformers", SIGRE Session. Report 12–05. Paris, 1986;
3. Шутенко О.В. Анализ графических образов, построенных по результатам ХАРГ для высоковольтных силовых трансформаторов с различными типами дефектов / О.В. Шутенко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – №31 (1253). – С. 97-121.
4. Oleg Shutenko Analysis of gas composition in oil-filled faulty equipment with acetylene as the key gas // Energetika – 2019. – Vol 65, No 1 – pp 21-38; DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v65i1.3973>

УДК 621.315.626

МЕТОД РАНЬОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВВОДІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ДИНАМІКИ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ В ЧАСІ

Шутенко О.В., Загайнова О.А.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

При діагностиці стану ізоляції високовольтного маслонаповненого обладнання важливе значення мають не тільки власні значення показників, за якими виконується оцінка стану обладнання, а й характер зміни даних показників у часі. Наприклад, в роботах [1, 2] розроблено метод раннього виявлення дефектів, що розвиваються, на основі аналізу динаміки зміни концентрацій газів у часі. При цьому даний метод дозволяє не тільки виявляти дефекти до того, як концентрації газів перевищать граничні значення, але і розпізнавати причину газовиділення.

За результатами, наведеними в [3-4], встановлено, що у високовольтних вводах з різним станом має місце не тільки відмінність в чисельному значенні показників ізоляції, що відомо і широко використовується, але і істотна відмінність в динаміці зміни показників у часі, що може бути використано для діагностики стану високовольтних вводів.

Так для справних високовольтних вводів як герметичної, так і негерметичної конструкції характерна практична відсутність значущої систематичної складової в залежностях показників від тривалості експлуатації (відсутність значущої

кореляції між показниками ізоляції і тривалістю експлуатації), практична відсутність значущої кореляції між показниками ізоляції, а також наявність значущої кореляції між показниками ізоляції вводів, встановлених на сусідніх фазах. Як приклад в табл. 1 і 2 наведені результати кореляційного аналізу для справного високовольтного вводу герметичної конструкції ГМТА-90-110/1000 встановленого на фазі А автотрансформатора АТДЦТН-200000/330/110.

Як видно з таблиць для справних вводів відсутня значуща кореляція між тривалістю експлуатації і значеннями показників ізоляції. Також відсутня значуща кореляція між значеннями показників. Слід зазначити, що в деяких справних вводах був виявлений значущий кореляційний зв'язок між значеннями C_1 і C_2 , проте значущий зв'язок між іншими показниками відсутній. Аналізуючи дані наведені в табл. 2, легко побачити, що для справних високовольтних вводів має місце наявність значущої кореляції між значеннями показників для всіх трьох фаз, виняток може становити опір вимірювального виведення.

Для несправних високовольтних вводів як герметичної, так і негерметичної конструкції характерна наявність значущої систематичної складової в залежностях показників від тривалості експлуатації (наявність значущої кореляції між показниками ізоляції і тривалістю експлуатації), наявність значущої кореляції між показниками ізоляції, а також відсутність значущої кореляції між показниками несправного введення і показниками справних вводів, встановлених на сусідніх фазах.

Таблиця 1 – Результати аналізу кореляційних зв'язків між значеннями показників ізоляції і тривалістю експлуатації, і між окремими показниками справного високовольтного вводу ГМТА-90-110/1000

Показник	Тривалість експлуатації	$\text{tg}\delta_1$	$\text{tg}\delta_2$	C_1	C_2	R
$n=10 \ r_{\text{крит}, 8, 0,95}=0,632$						
$\text{tg}\delta_1$	-0,255	1,00	-0,444	-0,132	-0,022	0,110
$\text{tg}\delta_2$	0,221	-0,444	1,00	0,145	0,104	-0,010
C_1	0,271	-0,132	0,145	1,00	0,505	0,583
C_2	0,104	-0,022	0,104	0,505	1,00	0,211
R	-0,439	0,110	-0,010	0,583	0,211	1,00

Таблиця 2 – Результати аналізу кореляційних зв'язків між значеннями показників ізоляції справного високовольтного вводу ГМТА-90-110/1000 (фаза А), і показниками справних вводів, встановлених на сусідніх фазах (В і С)

Фаза	$\text{tg}\delta_1/\text{tg}\delta_1$	$\text{tg}\delta_2/\text{tg}\delta_2$	C_1/C_1	C_2/C_2	R/R
$n=12 \ r_{\text{крит}, 10, 0,95}=0,576$					
A-B	0,870	0,929	0,740	0,686	0,519
A-C	0,781	0,963	0,892	0,897	1,000
B-C	0,968	0,968	0,871	0,755	0,519

Як приклад в табл. 3 результати аналізу кореляційних зв'язків між значеннями показників ізоляції і тривалістю експлуатації та між окремими показниками високовольтного вводу ГМТА-110/630-У1 110 кВ, встановленого на фазі А, трансформатора ТРДН-25/110. Даний ввід був відбракований за значеннями $\text{tg}\delta_2$ і 07.07.2017 року був виведений з експлуатації.

Таблиця 3 – Результати аналізу кореляційних зв'язків між значеннями показників ізоляції і тривалістю експлуатації та між окремими показниками високовольтного вводу ГМТА-110/630-У1 110 кВ

Показник	Тривалість експлуатації	$\text{tg}\delta_1$	$\text{tg}\delta_2$	C_1	C_2	R
$n=9, r_{\text{крит}, 7, 0,95}=0,666$						
$\text{tg}\delta_1$	0.693	1,00	0.875	-0.456	-0.323	-0.396
$\text{tg}\delta_2$	0.865	0.875	1,00	-0.397	-0.294	-0.561
C_1	-0,601	-0.456	-0.397	1,00	0.936	0.085
C_2	-0,534	-0.323	-0.294	0.936	1,00	-0.057
R	-0,302	-0.396	-0.561	0.085	-0.057	1,00

Як видно з таблиці, із п'яти показників значущий позитивний зв'язок з тривалістю експлуатації (наявність значущої систематичної складової) виявлено тільки для $\text{tg}\delta_1$ і $\text{tg}\delta_2$. Значущий кореляційний зв'язок має місце тільки між $\text{tg}\delta_1$ і $\text{tg}\delta_2$, а також між ємністю C_1 і ємністю C_2 .

У табл. 4 наведені результати кореляційного аналізу між показниками ізоляції несправного вводу (фаза А) і справних вводів, встановлених на фазах В і С. Передбачалося, що характер зміни показників ізоляції в часі для несправного вводу повинен істотно відрізнятися від характеру зміни в часі показників у справних вводах. Тобто значущий кореляційний зв'язок між показниками для несправного і справних вводів повинен бути відсутнім.

Таблиця 4 – Результати аналізу кореляційних зв'язків між значеннями показників ізоляції несправного вводу ГМТА-110/630-У1 110 кВ (фаза А), і показниками справних вводів, встановлених на сусідніх фазах (В і С)

Фаза	$\text{tg}\delta_1/\text{tg}\delta_1$	$\text{tg}\delta_2/\text{tg}\delta_2$	C_1/C_1	C_2/C_2	R/R
$n=9, r_{\text{крит}, 7, 0,95}=0,666$					
А-В	-0,068	0,083	0,845	1,000	0,082
А-С	-0,192	0,064	0,427	1,000	0,202
В-С	0,901	0,971	0,255	1,000	0,373

Як видно з таблиці, значущий кореляційний зв'язок між значеннями $\text{tg}\delta_1$ і $\text{tg}\delta_2$ в справних і несправних вводах не виявлено, що свідчить про різний характер зміни даних показників у вводах з різним станом. У той же час, характер зміни в часі значень $\text{tg}\delta_1$ і $\text{tg}\delta_2$ в справних вводах (фаза В і С) збігається, про що

свідчать значення коефіцієнтів парної кореляції з табл. 4. Слід зазначити, що незважаючи на несправність вводу фази А, виявлено значущий кореляційний зв'язок між ємністю основної ізоляції вводів на фазі А і фазі В. У той же час значущий зв'язок між ємностями основної ізоляції справних вводів на фазах В і С відсутній. Крім того, характер зміни значень ємності C_2 для всіх трьох вводів повністю збігається, про що свідчать значення коефіцієнтів парної кореляції з табл. 4. Виконаний аналіз не виявив значущої кореляції між значеннями опору вимірювального виведення для вводів у всіх трьох фазах (табл. 4).

Оскільки виявлені відмінності в характері залежностей можуть бути виявлені ще до того, як значення показників вийдуть за гранично-допустимі значення, то виявлена особливість дозволяє виявляти несправності вводів на ранній стадії їх розвитку. Однак, як показано в [5], даний метод придатний для діагностики тільки тих дефектів, які виявляються за результатами періодичних випробувань на низькій напрузі.

Список використаних джерел:

1. Шутенко О.В. Метод обнаружения развивающихся дефектов высоковольтных трансформаторов по результатам хроматографического анализа растворенных в масле газов / О. В. Шутенко // Электрические сети и системы. – Київ. – 2010 – №3. – С. 38-45.
2. Шутенко О.В. Анализ причин газовыделения в силовых трансформаторах, на основе исследования корреляционных связей между растворенными в масле газами. /Шутенко О.В., Баклай Д.Н., Острикова Т.А., Мельник Н.Ю. // Світлотехніка та електроенергетика. – Харків: «ХНАМГ». – 2012. – №3 – С. 72-81.
3. Oleg Shutenko, Aleksandra Zagaynova, Galina Serdyukova. Analysis of Air-Tight High-Voltage Bushing Insulation Parameter Dynamics under Various Conditions during Long-term Operation / O. Shutenko, A. Zagaynova, G. Serdyukova // 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019.– P. 321-326.
4. Шутенко О.В., Загайнова А.А. Диагностика состояния высоковольтных маслонаполненных вводов на основе анализа динамики изменения показателей изоляции во времени /О.В. Шутенко, А. А. Загайнова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Серія: Техніка та електрофізика високих напруг – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 18 (1343). – С. 62-76.
5. Шутенко О. В., Загайнова О.А., Сердюкова Г.М. Аналіз можливостей розпізнавання часткових розрядів в ізоляції високовольтних маслонаповнених вводів за результатами періодичних випробувань. /О.В. Шутенко, О.А. Загайнова, Г.М. Сердюкова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: «ХНТУСГ», 2019. – №203. – С. 45-48.

Н а у к о в е в и д а н н я

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

IV Всеукраїнської науково-технічної конференції

«ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ (EEES-2020)»

Відповідальний за випуск: Довгалюк О. М.

Підписано до друку 21.12.2020.
Формат 60х84/16. Папір офсетний.
Гарнітура шкільна. Друк
цифровий. Ум. друк. арк. 8,66.
Наклад 100 прим. Зам. № 3465.



Віддруковано в ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД»
через ФОП Гобельовська Л. П.
61024, м. Харків, вул. Максиміліанівська, 11
Тел.: (057) 756-53-25

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
Серія ДК № 4399 від 27.08.2012 р.
www.madrid.in.ua info@madrid.in.ua

