

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. В. Грабко, В. П. Курочка

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ
СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ТА СТРУМУ
ВИТОКУ ТРОЛЕЙБУСА**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2016

УДК 621.3.048:629.34

ББК 31.264-047:39.832

Г75

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 9 від 25.02.2016 р.).

Рецензенти:

М. Й. Бурбело, доктор технічних наук, професор

О. В. Садовой, доктор технічних наук, професор

Грабко, В. В.

Методи і засоби контролю стану ізоляції та струму витоку тролейбуса : монографія / В. В. Грабко, В. П. Курочка. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 116 с.

ISBN 978-966-641-667-7

В монографії наведено методи ізоляції та вимірювання струму витоку, структурні схеми пристроїв, які реалізують запропоновані методи. Проведено комп'ютерне моделювання роботи запропонованих методів. Здійснено мікропроцесорні реалізації пристроїв контролю на основі запропонованих структурних схем.

Робота розрахована на інженерно-технічних працівників електротранспортних компаній, студентів та аспірантів вузів, котрі спеціалізуються в галузі розробки систем контролю електротехнічних комплексів.

УДК 621.3.048:629.34

ББК 31.264-047:39.832

ISBN 978-966-641-667-7

© В. Грабко, В. Курочка, 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ВУЗЛІВ ТРОЛЕЙБУСІВ.....	8
1.1 Склад та структура рухомого транспорту Вінницького трамвайно-тролейбусного управління.....	8
1.2 Огляд методів контролю опору ізоляції та струму витоку троллейбуса.....	10
1.3 Огляд засобів контролю опору ізоляції троллейбуса та системи живлення.....	14
1.4 Огляд засобів контролю струму витоку троллейбуса.....	18
1.5 Узагальнення результатів аналізу	24
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІЗОЛЯЦІЇ ТРОЛЕЙБУСА ТА СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ	25
2.1 Математична модель ізоляції троллейбуса	25
2.2 Математична модель визначення активного опору ізоляції троллейбуса під час усталеного режиму	28
2.3 Математична модель визначення ємності опору ізоляції троллейбуса за параметрами перехідного процесу	33
2.4 Аналіз та вибір методів фільтрації і диференціювання вимірювальних характеристик	36
2.5 Математична модель ізоляції троллейбуса та системи живлення	44
2.6 Математична модель блока коригування стану ізоляції троллейбуса та системи живлення	53
2.7 Застосування генетичних алгоритмів для настройки нечіткої моделі визначення коригувальних коефіцієнтів ізоляції.....	67
РОЗДІЛ 3 СИНТЕЗ СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ТА СТРУМУ ВИТОКУ ТРОЛЕЙБУСА НА МАРШРУТІ	70

3.1 Синтез структури пристрою контролю струму витоку тролейбуса	70
3.2 Розробка блока визначення місця пошкодження ізоляції електротехнічних вузлів тролейбуса	78
РОЗДІЛ 4 МІКРОПРОЦЕСОРНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ТА СТРУМУ ВИТОКУ ТРОЛЕЙБУСА НА МАРШРУТІ	80
4.1 Розробка мікропроцесорного пристрою контролю стану ізоляції та струму витоку тролейбуса на маршруті	80
4.2 Комп'ютерне моделювання взаємовпливу стану ізоляції системи живлення та тролейбуса в перехідних режимах.....	83
4.3 Обробка результатів експерименту	92
ВИСНОВКИ.....	95
ЛІТЕРАТУРА	97
Додаток А Аналіз та вибір методів фільтрації і диференціювання вимірювальних характеристик.....	111
Додаток Б Результати експериментальних досліджень	115

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АК – аналоговий компаратор;
АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;
ВС – високовольтна система тролейбуса;
ГС – гальмівна система;
Д – двері;
ДВ – двигун-вентилятор;
ДСС – допоміжна силова система;
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
ЕП – електропривод;
ІВС – інформаційно-вимірювальна система;
МК – мікроконтролер;
МНК – метод найменших квадратів;
НС – низьковольтна система;
ОК – обладнання кузова;
ПЗ – пристрій запам'ятовування;
ПС – пневматична система;
РКС – релейно-контакторна схема;
РП – реєстр пам'яті;
РС – рухомий склад;
РСМЕТ – рухомий склад міського електротранспорту;
С – струмоприймачі;
СС – силова система;
СВ – сенсор вологості;
СК – система керування;
СКВ – середнє квадратичне відхилення;
СКПТ – стенд контролю потенціалу на корпусі тролейбуса;
СН – сенсор напруги;
СРТД – сенсор роботи тягового двигуна;
СС – сенсор струму;
СТ – сенсор температури;
СШ – сенсор швидкості;
ТЕД – тяговий електричний двигун;
ТО – технічний огляд;
ТТУ – трамвайно-тролейбусне управління;
ФН – функція належності;
ЩО – щоденне обслуговування.

ВСТУП

Важливу роль в інфраструктурі міста відіграє електротранспорт [1]. На сьогодні в Україні парк рухомого складу налічує близько 3,3 тис. трамвайних вагонів і 4,7 тис. тролейбусів. Оскільки більшість одиниць рухомого складу міського електротранспорту технічно та морально застаріли, з'являється необхідність підвищення ефективності та надійності функціонування електротехнічних систем тролейбусів.

Згідно з правилами експлуатації [2] тролейбус не допускається до виїзду з депо, якщо струм витoku більший 3 мА. В проекті Європейського стандарту за номером PR16587 від 1 липня 2005 року Європейського комітету електротехнічної стандартизації CENELEC визначено, що тролейбус повинен бути обладнаний автоматичним пристроєм безпеки, а саме бортовим сигналізатором струму витoku з метою захисту людей від можливого небезпечного впливу. Цей пристрій повинен формувати оптичний або звуковий сигнал, коли опір ізоляції між контактною мережею і корпусом тролейбуса зменшується до неприйняттого рівня, визначеного в стандарті EN50153, чи коли потенціал на корпусі збільшується до рівня, визначеного в стандарті EN50122-1. Бортний сигналізатор повинен розташовуватись в полі зору кабіни водія [3–4].

Важкі умови роботи тролейбуса характеризуються великою кількістю включень і виключень, значними коливаннями напруги живлення, значним розкидом значень струму, який споживається тяговим двигуном, піддається постійним вібраціям та дією різкої зміни навколишнього середовища. Більшість електричних машин та апаратів тролейбуса живляться напругою 600 В, при цьому корпус тролейбуса не має заземлення і ізолюваний від землі гумовими шинами. По мірі експлуатації електрообладнання тролейбуса погіршується ізоляція, що призводить до попадання небезпечного потенціалу на корпус тролейбуса.

Повна електробезпека пасажирів може бути забезпечена тільки в тому випадку, коли при попаданні на корпус небезпечного потенціалу

буде відбуватись автоматичне відключення тролейбуса від контактної мережі. Оцінку стану останньої здійснюють за двома параметрами: опір ізоляції і струм витоку.

Більшість відомих методів та засобів контролю стану ізоляції тролейбуса передбачають його відключення від контактної мережі. Крім того, на роботу решти пристроїв під час перехідних процесів в значній мірі впливають ємності ізоляції мережі та тролейбуса, що спричиняють хибні спрацювання в умовах комутаційних процесів, а також не забезпечують контроль стану ізоляції тролейбуса на маршруті.

Контроль струму витоку, що здійснюється відомими методами та засобами, не дає можливості вимірювання струму витоку без попереднього заземлення корпусу та при одночасному пропорційному зниженні ізоляції позитивного і негативного полюсів електрообладнання, визначення місця несправності ізоляції. Виміряний струм після заземлення корпусу буде зумовлений взаємодією з системою живлення, тому результати, отримані на стендових засобах під час технічного огляду в депо, будуть актуальні тільки для певної тягової підстанції і можуть відрізнятися в декілька разів від даних, отриманих під час роботи тролейбуса на маршруті. Для отримання повної інформації про стан тролейбуса необхідно вимірювати значення опору ізоляції та струм витоку, який є інтегральним показником електробезпеки тролейбуса.

Отже, питання розробки методів і засобів контролю опору ізоляції, які б враховували його ємнісну та активну складові, дозволяли контролювати значення опору ізоляції під час роботи тролейбуса на маршруті, математичних моделей, що дозволяли б отримувати значення струму витоку навіть тоді, коли тролейбус незаземлений, та методів і засобів для контролю струму витоку, визначення ділянки з пошкодженою ізоляцією є актуальним, тому що це дозволить підвищити рівень електробезпеки та безвідмовної роботи тролейбусів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ВУЗЛІВ ТРОЛЕЙБУСІВ

1.1 Склад та структура рухомого транспорту Вінницького трамвайно-тролейбусного управління

Якість обслуговування населення міським електротранспортом як у м. Вінниці, так і в інших містах України не відповідає сучасним вимогам. Таке становище викликане тим, що трамвайно-тролейбусні парки старіють, а коштів на придбання нових одиниць рухомого складу не вистачає в трамвайно-тролейбусних управліннях (ТТУ).

В зв'язку з цим постає питання отримання об'єктивної інформації про роботоздатність міського електротранспорту.

На сьогодні в Україні загальна протяжність трамвайних колій і контактних мереж становить, відповідно, 2,1 та 6,5 тис. кілометрів. Енергозабезпечення перевезень здійснює понад 700 тягових підстанцій, загальна потужність яких дорівнює майже 1700 тис. кВт [5].

Зокрема у м. Вінниця інвентарна кількість пасажирських вагонів (машин) складає: трамваїв – 156 одиниць, тролейбусів – 169 одиниць. Довжина одиночної експлуатаційної колії складає: трамвай – 44,25 км, тролейбус – 86,6 км.

Склад та структура рухомого складу міського електротранспорту (РСМЕТ) Вінницького ТТУ за даними Вінницького обласного управління статистики [6] описані в табл. 1.1–1.2. Як видно з наведених даних, оновлення РСМЕТ не спостерігається. Відбувається лише їх відновлення, яке супроводжується зменшенням робочого ресурсу через фізичне старіння.

Таблиця 1.1 – Наявність РСМЕТ Вінницького ТТУ

Електротранспорт	Роки					
	2009 р.	2010 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.
Тролейбуси, од.	133	133	129	129	129	169

Таблиця 1.2 – Структура РСМЕТ Вінницького ТТУ за роками випуску станом на початок 2014 року

Електротранспорт	Всього	у тому числі з моменту випуску заводом-виробником			
		до 5 років	5–10 років	10–15 років	від 15 років і більше
Тролейбуси, од.	169	40	5	–	124
Тролейбуси, %	100	23,6	3,0	–	73,4

Оскільки майже 74 % складу тролейбусів віком більше 15 років, задача отримання інформації про роботоздатності РСМЕТ є досить актуальною, зокрема оцінка та прогнозування зміни технічного стану його основних функціональних систем (рис. 1.1). Кількість рухомого складу, що вичерпав термін експлуатації, для тролейбусів складає 73,4 %.

Період вибірки обґрунтований в роботі [7], тобто будемо використовувати статистику, зібрану за два восьмимісячні періоди (з 1 січня по 31 серпня) 2010 та 2011 років з об'єднанням в одну послідовність.

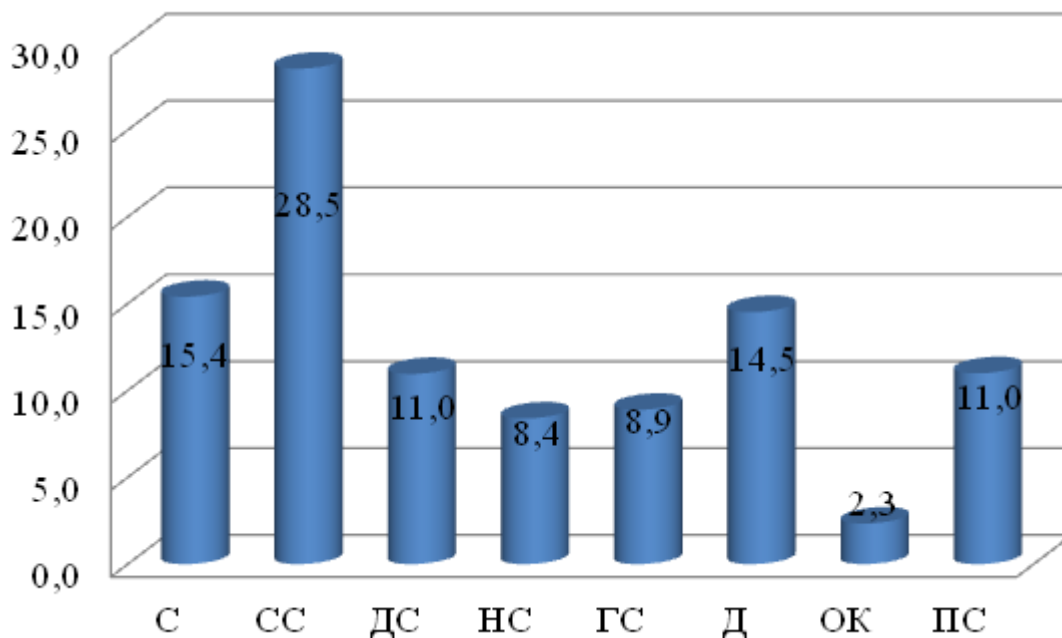


Рисунок 1.1 – Діаграма несправностей функціональних систем тролейбусів в загальній кількості цих несправностей за рік (в процентах)

Зокрема в роботі [7] виділено такі: ТД – тяговий двигун, ВС – високовольтна система, НС – низьковольтна система, РКС – релейно-контакторна схема, ДВ – двигун-вентилятор, ГС – гальмівна система, СК – система керування, Д – двері, ПС – пневматична система.

В свою чергу в роботі досліджено системи НС, ГС, Д, ПС, які аналогічні роботі [7] та введено нові: ОК – обладнання кузова, СС – силова система, ДСС – допоміжна силова система, С – струмоприймачі.

Як видно з рис. 1.1, з усіх систем, які були досліджені, найбільша кількість несправностей спостерігається в силовій системі, які в більшості випадків впливають на виникнення струму витoku тролейбуса.

1.2 Огляд методів контролю опору ізоляції та струму витoku тролейбуса

Умови роботи електрообладнання тролейбуса досить важкі, оскільки його режим роботи характеризується великою кількістю включень і виключень, значними коливаннями напруги живлення, значним розкидом значень струму, який споживається тяговим двигуном, піддається постійним вібраціям та різкій зміні навколишнього середовища [8–11].

Процеси, які протікають в ізоляції під дією різних експлуатаційних факторів, призводять до її старіння, яке розвивається в часі і змінює стан об'єкта, що відображається в погіршенні його характеристик [12–17]. Найпростішим методом контролю ізоляції є візуальний огляд [18–20], який направлений на виявлення механічних пошкоджень та поверхневих змін. Проте він базується на суб'єктивному підході, а тому його результати не можуть бути визнані достовірними.

Ізоляція електротехнічного обладнання тролейбуса характеризується активною та ємнісною складовою опору [21].

Також для визначення стану ізоляції застосовують техніку та методи [22–28], які дають можливість за тепловими портретами бачити наслідки струмів провідності, виявляти зони нагріву, що дозволяє робити висновки про технічний стан ізоляції та прискорити процес контролю.

Метод визначення електричної міцності ізоляції неможливий без її пошкодження. В сучасній практиці прийнято проводити випробову-

вання підвищеною змінною і постійною напругою [29–31]. В роботі [32] описаний метод подачі підвищеної напруги, тобто апарати і їх вузли, які призначені для роботи при номінальній напрузі 550 В, повинні витримувати протягом 1 хвилини без пробую чи поверхневого розряду напругу 3400 В частотою 50 Гц, в умовах експлуатації – 2200 В. Вибір випробувальної напруги залежить не тільки від технічних, але й від економічного фактору. Чим більша напруга, тим ефективніше випробування і тим більше слабких ланок може бути знайдено. Але підвищення напруги тягне за собою збільшення ймовірності пробую несправної ізоляції. Стан ізоляції та спосіб її експлуатації визначає рівень напруги, до якого доцільно її підвищувати під час випробування. Момент пошкодження визначається на підставі безпосереднього огляду, після різкого збільшення струму або зменшення напруги.

Описаний метод є найстарішим. Випробування проводиться при постійній напрузі. Вимірюється струм, що протікає по ізоляції, або опір ізоляції. Найбільш часто струм витoku виникає у дні з великою вологістю, оскільки дощ, туман, мокрий сніг значно знижують опір ізоляції, особливо при попаданні на струмоведучі частини бруду, мідного чи вугільного пилу [33–35].

При напругах до декількох кіловольт використовуються мегаомметри (рис. 1.2).

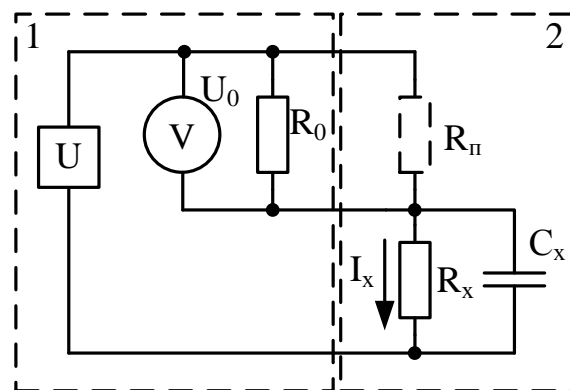


Рисунок 1.2 – Схема вимірювання мегаомметром

Мегаомметр складається із джерела напруги постійного струму U , зразкового резистора R_0 і вольтметра V . Вольтметром V вимірюється спад напруги U_0 на зразковому резисторі R_0 від струму I_x через ізоля-

цію об'єкта [15, 36]. Недоліком методу є те, що в низці конструкцій мегаомметрів послідовно зі зразковим резистором вмикають обмежувальний резистор, який захищає джерело напруги від перевантаження. Це створює високий вихідний опір, що може привести до похибки в результаті вимірювання коефіцієнта абсорбції. Ще одна похибка вимірювання опору ізоляції мегаомметром може виникнути через залишковий заряд ємності об'єкта.

Відомий також пристрій [37], який дозволяє визначити, чи не перевищує струм витoku через ізоляцію, що випробується, допустимого значення при підключенні до неї напруги певного значення за заданий час. Пристрій складається з джерела випробувальної напруги, трансформатора, аналогово-цифрового перетворювача (АЦП), тригера і реєструвального пристрою, який складається з детектора, підсилювача, задавача максимально допустимого струму витoku і схеми порівняння кодів. Струм витoku ділянки ізоляції, що випробується, від дії на неї синусоїдальної напруги протікає через первинну обмотку трансформатора і наводять ЕРС в його вторинній обмотці. Напруга з вторинної обмотки випрямляється детектором і після підсилення надходить на аналогово-цифровий перетворювач, на виході якого отримують інтерпретацію значення поточного значення струму витoku.

Стан ізоляції можна характеризувати за величиною її ємності [15, 21]. Для визначення абсорбційної ємності вимірюється її відповідний заряд, причому вимірювання проводиться протягом заданих проміжків часу.

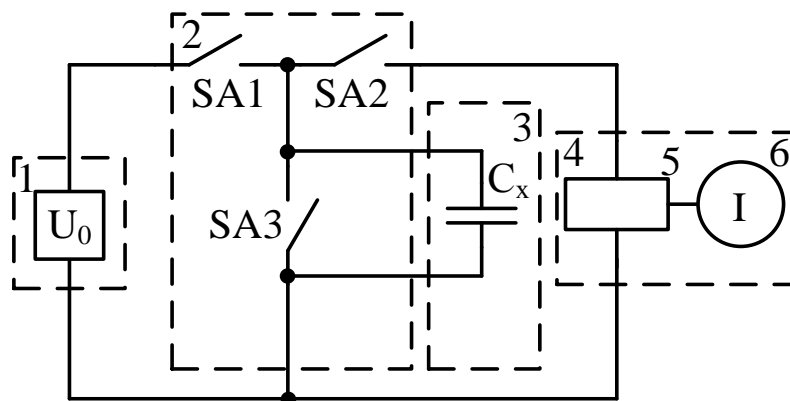


Рисунок 1.3 – Схема вимірювання абсорбційної складової ємності

На рис. 1.3 використано такі умовні позначення: 1 – джерело постійної напруги; 2 – комутатор; 3 – об’єкт контролю; 4 – вимірювальний пристрій; 5 – інтегратор; 6 – пристрій відображення.

Вимірювання проводиться при циклах заряду і розряду ємності об’єкта. В ході вимірювання визначається відношення абсорбційної складової ємності ізоляції до геометричної.

При замкнутому контакті перемикача SA1 проводиться заряд ємності об’єкта. Після відключення SA1 і короткочасного замикання контакту SA2 об’єкт розряджається на інтегратор. При цьому покази індикатора будуть відповідати геометричній ємності ізоляції. Для отримання абсорбційної ємності ізоляції короткочасно замикається накоротко об’єкт з допомогою SA3 та SA2.

Дисперсія визначається шляхом розряду ємності об’єкта прямокутним імпульсом напруги U_0 (ширина імпульсу τ_1). Вимірюють значення через інтервал $\tau_2 > \tau_1$ коли введений заряд U_0 розподіляється між геометричною і абсорбційною складовими ємності ізоляції.

Висновок про стан ізоляції можна зробити на основі залежностей ємності від часу, температури та напруги.

Дефекти ізоляції спричиняють втрати (характеризуються тангенсом кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$ [36]), які виникають при цьому в ізоляції. В роботах [37, 38] для аналізу стану ізоляції в якості параметрів, що контролюються, виступають тангенси кутів діелектричних і омичних втрат. За величиною тангенса кута омичних втрат роблять висновок про провідність ізоляції, а за величиною тангенса кута діелектричних втрат – про діелектричні властивості ізоляції.

В роботі [39] запропонований пристрій для визначення активних втрат і $\text{tg}\delta$ в обмотках електричних машин. Пристрій складається з трансформатора високої напруги з додатковою обмоткою для підключення струмової обмотки ватметра через фазообертач. Ватметр підключений до додаткової обмотки випробувального трансформатора і до додаткової ємності, а конденсатори та навантажувальний опір під’єднані паралельно до ізоляції обмоток електричних машин.

Для визначення ємності ізоляції використовується також ватметрова схема вимірювань [15]. При вимірюванні автоматично підтримується постійне співвідношення напруги на вольтметрі і ватметрі від-

носно досліджуваної напруги. Крім того, фази таких напруг майже не відрізняються одна від одної. В якості джерела напруги використовується спеціальна вимірювальна відпайка досліджуваного трансформатора або трансформатора напруги, первинна обмотка якого підключена до об'єкта. Для усунення можливих похибок від коефіцієнта трансформації і зсуву фаз між напругою, що подається на об'єкт, і струмом, що протікає через обмотку напруги ватметра, використовується компенсаційний пристрій, а саме конденсатор, що шунтує частину або весь додатковий опір обмотки напруги ватметра.

В роботі [40] пропонується метод визначення стану ізоляції електроустановок, який включає в себе вимірювання активного опору, тангенса кута повних втрат і ємності ізоляції на робочій напрузі промислової частоти. Для цього визначають частоту, при якій активний опір буде рівний омичному. При заданій частоті або більшій за неї вимірюють тангенс кута повних втрат, ємність ізоляції і визначають активний опір струму абсорбції, абсорбційну ємність, тангенс абсорбції, тангенси кутів діелектричних і омичних втрат.

Відомий спосіб [41] визначення властивостей ізоляції електроустановок, який відрізняється тим, що вимірюють активні і реактивні втрати потужності на змінному струмі, прикладаючи до ізоляції електроустановки постійну напругу позитивної полярності, фіксуючи при цьому інтервал часу затухання струму абсорбції, а після його закінчення вимірюють наскрізний струм витоку. При негативній полярності вимірюють наскрізний струм витоку, тангенси кутів діелектричних і омичних втрат.

На основні проведеного патентного пошуку можна виокремити ще один пріоритетний метод, який базується на безпосередньому вимірюванні струму витоку за допомогою додавального трансформатора [42–47].

1.3 Огляд засобів контролю опору ізоляції тролейбуса та системи живлення

В роботі [48] запропоновано контролювати стан ізоляції мережі постійного струму за допомогою двох вольтметрів, постійно ввімкнених між полюсами і землею (рис. 1.4).

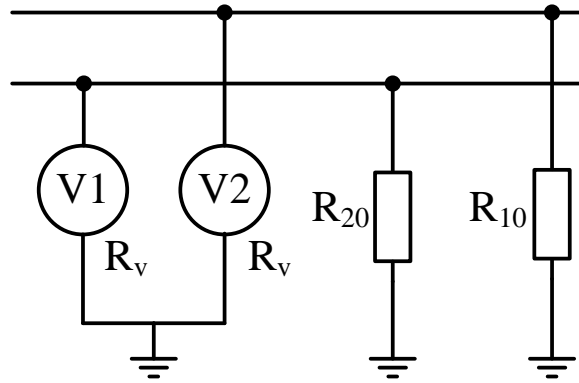


Рисунок 1.4 – Схема контролю ізоляції по принципу двох вольтметрів

У відповідності до позначень, прийнятих на рис. 1.4, напруги, які будуть показувати вольтметри, можна визначити за формулами:

$$U_{10} = U_{12} \frac{R_{10} R_v / (R_{10} + R_v)}{R_{10} R_v / (R_{10} + R_v) + R_{20} R_v / (R_{20} + R_v)}, \quad (1.1)$$

$$U_{20} = U_{12} \frac{R_{20} R_v / (R_{20} + R_v)}{R_{10} R_v / (R_{10} + R_v) + R_{20} R_v / (R_{20} + R_v)}, \quad (1.2)$$

де U_{10} , U_{20} – напруги відповідно на першому та другому вольтметрі, R_{10} – опір ізоляції позитивного полюса відносно землі; R_{20} – опір ізоляції негативного полюса відносно землі; R_v – власний опір вольтметрів.

Перевагою запропонованої схеми є простота пристрою і його невисока вартість. До недоліків слід віднести низьку чутливість, опосередкованість методу вимірювання (оскільки контролюється лише відношення ізоляції, а не їх абсолютне значення), відсутність показів при симетричному зниженні ізоляції полюсів, залежність від напруги мережі, необхідність у вольтметрах високого внутрішнього опору згідно з вимогами електробезпеки.

В роботі [48] цей метод вимірювання знайшов продовження, але замість вольтметрів використані стабілітрони (схема розроблена В. І. Литваком), завдяки чому усувається шунтування мережі до тих пір, поки відношення опорів ізоляції мережі знаходиться в допустимих межах.

Зважаючи на особливості стабілітрона, при напрузі на ньому U^* , яка менша напруги пробією стабілітрона $U_{ст}$, значення його опору практично рівне нескінченості, при $U^* < U_{ст}$ контрольована мережа не шунтується. При збільшенні U^* відбувається пробій стабілітрона, спрацьовує відповідне реле, і мережа шунтується індикатором.

В роботі [48] запропонована схема, яка представляє собою не повністю зрівноважений чотирьохплечовий міст постійного струму, одною парою плечей якого є постійні резистори R_1 та R_2 , іншою – вимірювані опори ізоляції полюсів відносно землі R_{10} та R_{20} . (рис. 1.5).

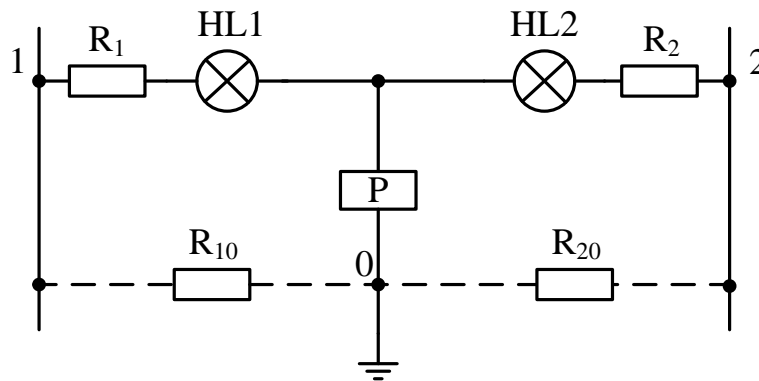


Рисунок 1.5 – Мостова схема контролю ізоляції

При контролі опору ізоляції порівнюються струми в позитивному і негативному проводах досліджуваної мережі [48]. При замиканні на землю через резистор з опором R струм в проводі позитивної полярності зростає, що і покаже амперметр (рис. 1.6).

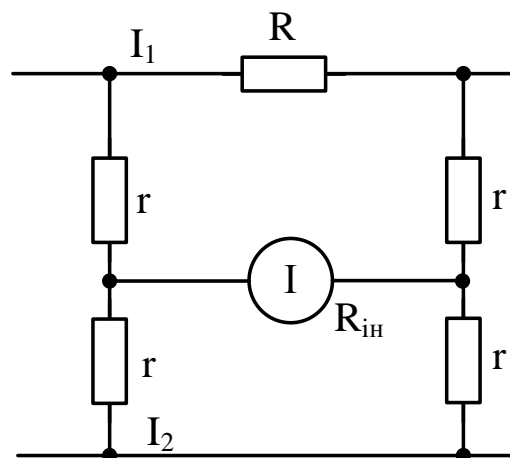


Рисунок 1.6 – Мостова схема контролю ізоляції

В роботах [49, 50] запропоновані схеми, в яких між мережею, яка контролюється, і землею вмикається джерело струму накладання, напруга якого подається одночасно з робочою напругою мережі. Завдяки принципу незалежної дії ЕРС існує можливість, виокремивши струм накладання реле, отримати сигнал із значенням опору ізоляції (рис. 1.7).

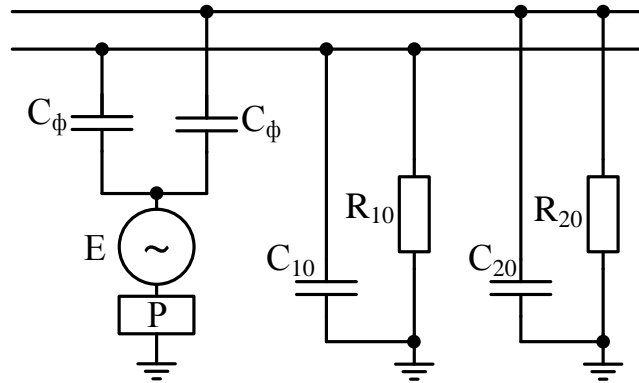


Рисунок 1.7 – Схема контролю ізоляції з джерелом накладання змінного струму

В роботі [51] пропонується контролювати опір ізоляції позитивного полюса за рахунок використання змінної складової робочої напруги. Розвиток такого методу пропонується в роботі [52] і відрізняється тим, що в якості формувачів сигналів використані транзисторні оптрони.

Відомі пристрої для вимірювання опору ізоляції [53, 54], принцип дії яких базується на заряді зразкового конденсатора струмом витоку, який протікатиме після підключення джерела постійного струму. Заряд відбувається за визначений час, який встановлюється з гранично допустимою тривалістю перехідного процесу. Потім зі сталої часу визначається опір ізоляції. Проте недоліком цього пристрою є те, що при вимірюванні необхідно вимикати пристрій з мережі живлення та не враховується вплив ємності самої ізоляції.

Пристрої [55–58], принцип дії яких заснований на шунтуванні опору ізоляції між корпусом і негативним проводом опором відомої величини і вимірюванні напруг між кожним проводом і корпусом. Потім вимірюють напруги між кожним проводом і корпусом, кожним проводом і корпусом без шунтових опорів, визначають падіння напруги в мережі від підстанції до струмоприймача тролейбуса. Після цього

обчислюють опір ізоляції між проводами, перехідний опір між корпусом тролейбуса і землею, потенціал корпусу щодо землі і можливий струм витоку в разі дотику людини до корпусу тролейбуса. Проте недоліком таких пристроїв є їхній вплив на результати вимірювання.

Пристрій контролю стану електричної ізоляції [59] контролює ізоляцію відносно кожного з полюсів. Схема складається із двох подільників напруги VD_1 і VD_2 , які включаються відносно позитивного і негативного полюсів. Подільник напруги VD_1 включається між частиною корпусу і позитивним полюсом. Він складається із трьох резисторів, які мають різні величини опору, і завдяки цьому можлива зміна діапазону вимірювань шляхом відмикання одного з резисторів транзисторним ключем Z_1 . Ємність з однієї сторони включається паралельно резистору R_3 , з іншої – зв'язана з корпусом, що дозволяє підвищити швидкодію і зменшити взаємний вплив. Спад напруги на резисторі R_3 надходить на вхід операційного диференційного підсилювача, який здійснює нормування сигналу і подання його на обчислювальний пристрій, що робить висновок про стан ізоляції відносно позитивного полюса. Аналогічно здійснюється контроль ізоляції відносно негативного полюса подільником VD_2 .

1.4 Огляд засобів контролю струму витоку тролейбуса

Струм витоку є інтегральним показником електробезпеки тролейбуса [60, 61]. Всі засоби його контролю можна поділити на такі групи: стендові засоби, засоби контролю струму витоку тролейбуса на маршруті, які потребують або не потребують заземлення корпусу під час вимірювання.

Для контролю ізоляції [62] використовуються стенди контролю потенціалу на корпусі тролейбуса (СКПТ). СКПТ (рис. 1.8) має підвищену продуктивність і точність контролю.

Автономне джерело напруги дозволяє вимірювати струм витоку, незалежно від системи живлення, яка використовується. Пристрій струмознімання виконаний у вигляді електромеханічного маніпулятора пантографного типу, що забезпечує автоматичне зближення контактної частини пристрою з корпусом тролейбуса і фіксацію з заданою силою. Контроль наявності контакту перевіряє надійність електрично-

го контакту. Для перетворення напруги вхідного сигналу в струм вихідного використовується генератор струму, який виконаний на біполярному транзисторі. У випадку перевищення заданого значення струму витоків пристрій формує команди на світлову та звукову сигналізацію. Перший електромеханічний лічильник призначений для підрахунку кількості тролейбусів, які пройшли контроль, а другий – для підрахунку кількості несправних тролейбусів.

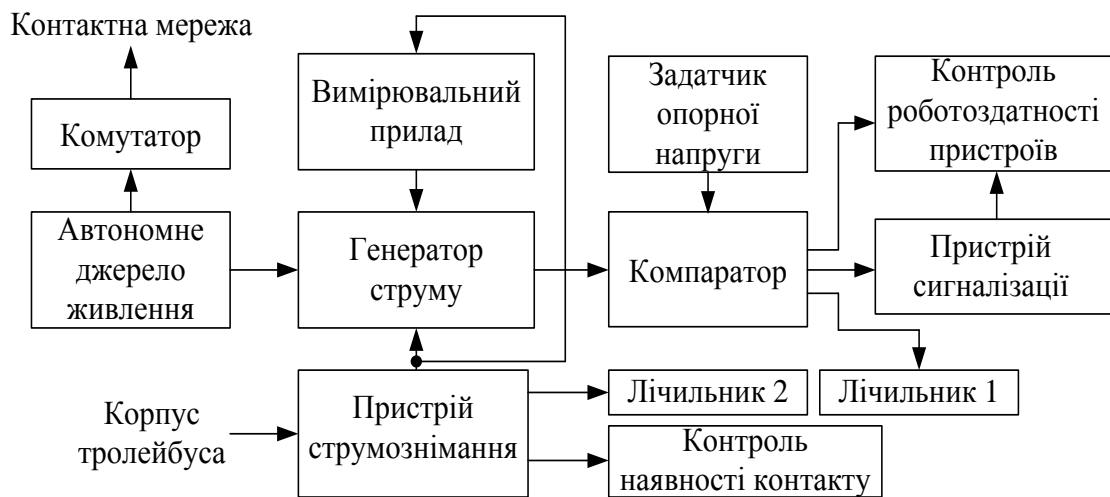


Рисунок 1.8 – Функціональна схема електронного блока СКПТ

Такий стенд має суттєвий недолік, оскільки під час вимірювання використовується автономне джерело напруги, а при реальних умовах експлуатації система живлення з ізольованими полюсами (параметри ізоляції) має також суттєвий вплив на струм витоків. Стенд необхідно додатково комплектувати мегаомметром. Цей стенд може бути встановлений і використовуватись тільки в депо при технічному огляді (ТО), що не дає можливості отримувати інформацію про стан тролейбуса, коли він перебуває на маршруті. У стенді [63] на відміну від стендового пристрою СКПТ, струмознімальний пристрій виконаний багатоконтактним, застосовані блок врахування рухомого складу і блок реєстрації струму витоків.

Відомий пристрій [64] виявлення струму витоків, який використовує випробувальний імпульс постійної напруги зворотної полярності до основної напруги живлення. Блокування сигналу на основі діодів

використовується в електричному транспорті для відділення струму витоку від струму навантаження. Мікроконтролер періодично вимикає випрямляч, проводить тест зворотною напругою тролейбусної мережі і вистачає опір ізоляції. Коли опір є меншим, ніж задане значення, джерело постійної напруги відмикається і спрацьовує сигналізація. Проте недоліком цього пристрою є складність виокремлення струму витоку від струму навантаження.

Принцип безпосереднього вимірювання струму витоку з корпусу тролейбуса використовується у пристрої [65], який складається з ділянки контактної провуда, блока реєстрації струму витоку (виконаний у вигляді послідовно з'єднаних обмежувачів струму), елемента порівняння, підсилювача і сигналізатора.

Пристрій [66] складається з: комутатора; блоків захисту, індикації та порівняння; керованого генератора струму та джерела опорної напруги. Принцип дії базується на перемиканні з режиму контролю наявності високої напруги в режим вимірювання струму витоку. Проте недоліком є те, що перемикання необхідно проводити вручну шляхом притискання щупа до контрольованого об'єкта. При цьому можливий пробій ізоляції, коли прижатий щуп, в результаті можливе ураження струмом оператора та вихід з ладу самого пристрою.

Відомий пристрій [67] для вимірювання струму витоку, який складається з блока вимірювання (симетричний резистивний дільник напруги), реле, вимірювальних пристроїв та зразкових резисторів. Проте для вимірювання струму витоку по відношенню до кожного з полюсів між ними створюється середня точка, що може спричинити попадання небезпечного потенціалу на корпус тролейбуса, і, як наслідок, ураження електричним струмом пасажирів і водія.

Пристрій [68] працює на визначення загального і окремих значень потенціалів, опорів і струмів витоку різних ділянок електричного кола тролейбуса.

В роботі [69] описаний пристрій, у якому крім датчика струму, блока сигналізації, вузла порівняння і кола із послідовно з'єднаних струмообмежувальних резисторів, використовується блок компенсації падіння напруги на негативній шині. Проте недоліком цього пристрою є те, що він може працювати тільки в системах живлення, які мають

ЛІТЕРАТУРА

1. Богдан Николай Владимирович. Троллейбус. Теория, конструирование, расчет / Н. В. Богдан, Ю. Е. Атаманов, А. И. Сафонов. – Мн. : Ураджай, 1999. – 345 с.
2. Правила експлуатації трамвая та троллейбуса. Затв. наказом Держжитлокомунгоспу України №103 від 10.12.96 р. Зареєстровано в Мінюсті України №66/1870 від 16.03.97 р. Введено в дію з 16.03.97 р. – К. : Держжитлокомунгосп, 1997. – 104 с.
3. Railway applications. Rolling stock. Electric equipment in trolleybuses. Safety requirements and connection systems. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://trolleyemotion.atcommon/files/Trolleybus%20Safety%20CLC_SC9XB_WGB15_Draft_2005-06-01.pdf.
4. Report of the meeting of GRSG informal group on trolleybus. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.unecse.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29grsg/grsginf/78/78inf3.doc>.
5. Державна програма розвитку міського електротранспорту на 2007-2015 роки. Затв. постановою Кабінету Міністрів України від 29 грудня 2006 р. № 1855. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1855-2006-%EF>.
6. Статистичний збірник «Транспорт Вінницької області» / Вінницьке обласне управління статистики : за редакцією С. В. Рибалко. – Вінниця, 2014. – 91 с.
7. Мокін Б. І. Проблеми та перспективи експлуатації засобів міського електротранспорту в функції їх стану / Б. І. Мокін, С. І. Бурденюк, Н. В. Гурильова // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 6. – С. 22–25.
8. Храменко В. Проблемы электробезопасности троллейбуса / Валерий Храменко // Материалы международной научно-технической конференции «Электромеханические преобразователи энергии» – ТПУ, 2001. – С. 77–78.
9. Ефремов Иван Семенович. Технические средства городского электрического транспорта : Учеб. пособие для студ. вузов спец. «Гор.

электрич. транспорт» / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. В. Шевенко. – М. : Высшая школа, 1985. – 448 с.

10. Максимов Анатолий Николаевич. Городской электротранспорт : Троллейбус / А. Н. Максимов. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.

11. Храмченко В. К вопросу электробезопасности троллейбуса. / Валерий Храмченко // Сборник научных трудов НТГУ – 2001. – Вып. 2 (24) – С. 89–95.

12. Ефремов Иван Семенович. Троллейбусы (теория, конструкция и расчет). / И. С. Ефремов. – М. : Высшая школа, 1969. – 488 с.

13. Кутін В. Пошук пошкоджень в мережах оперативного постійного струму / Василь Кутін, Олександр Рубаненко // Вісник Кременчуцького державного університету ім. М. Остроградського. – 2007. – № 3, ч. 1. – С. 86–90.

14. А. с. 1316065 СССР, МКИ H02H3/16. Устройство для сигнализации замыканий на землю в двухпроводной сетях постоянного тока / В. М. Кутин, А. Е. Рубаненко, В. Н. Вышневицкий и А. В. Кобылянский (СССР). – № 3814424/24-07; заявл. 19.11.84; опубл. 07.06.87, Бюл. № 21.

15. Сви Павел Максимович. Контроль изоляции оборудования высокого напряжения / П. М. Сви. – М. : Электроника, 1988. – 125 с.

16. Храмченко В. К вопросу о токе утечки троллейбуса. / Валерий Храмченко // Материалы юбилейной научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава и инженерно-технических работников речного транспорта и других отраслей – Новосибирск, 2001., – Ч. 2. – С. 35–37.

17. Ушаков Василий Якович Электрическое старение и ресурс монолитной полимерной изоляции / В. Я. Ушаков. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 152 с.

18. Дмитриевский Виктор Сергеевич. Расчет и конструирование электрической изоляции / В. С. Дмитриевский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 391 с.

19. Юриков Павел Андреевич. Как работает электрическая изоляции / П. А. Юриков. – М. : Энергия, 1972.- 79 с.
20. Вайда Д. Расчет и конструирование электрической изоляции / Д. Вайда. – М. : Электроника, 1968. – 399 с.
21. Величины активной и емкостной составляющих сопротивления изоляции силового электрооборудования троллейбуса / [Н. И. Щуров, М. Ю. Никулин, В. И. Сопов, В. А. Храмченко] // Совершенствование технических средств электрического транспорта: Сборник научных трудов НТГУ. – Новосибирск, 2002.
22. ГОСТ 25314-82. Контроль неразрушающий тепловой. Термины и определения. – Введ. 01.07.83. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.
23. Михеев Г. Тепловизионный контроль высоковольтного электрооборудования / Георгий Михеев // Электрические станции. – 1997. – № 11. С. 59–61. – ISSN 0201-4564.
24. Грабко Валентин Володимирович. Методи і засоби дослідження об'єктів, що обертаються, за тепловими полями: дис. канд. тех. наук: 05.11.04 / Грабко Валентин Володимирович. – Вінниця, 2007. – 184 с. – Бібліогр. : с. 162–175.
25. Горбунов Константин Владимирович. О тепловизионном контроле электрооборудования / К. В. Горбунов, Ю. С. Попрыкин, А. В. Соловьев // Энергетик. – 2002. – № 2. – С. 43. – ISSN 0013-7278.
26. Фоменко Анатолий. Использование тепловизионных систем диагностики для предупреждения аварий оборудования / А. Фоменко // Энергетик. – 2002. – № 3. – С. 46.
27. Грабко Володимир Віталійович. Методи і засоби дослідження об'єктів, що обертаються, за тепловими полями : моног. / В. В. Грабко, В. В. Грабко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 155 с.
28. Климов Сергей. Опыт применения тепловизионной техники для контроля электроэнергетического оборудования / С. Климов // Энергетик. – 2002. – № 1. – С. 44.

29. ГОСТ 27905.4-8. Системы электрической изоляции. Методы оценки устойчивости к действию электрического поля. – Введ. 01.01.90. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 77 с.

30. Пат. № 2149414 Российская Федерация, МПК G01R27/18. Устройство для измерения сопротивления изоляции в высоковольтных цепях / Белов В. А.; заявитель и патентообладатель Белов Виктор Алексеевич. – № 97119504/09; заявл. 18.11.1997; опубл. 20.05.2000.

31. Пат. № 1556347 Российская Федерация, МПК G01R31/14. Устройство для контроля электротехнической прочности изоляции электротехнических изделий / А. Т. Курякин, Ю. Г. Здобников, И. П. Воробьев и Ю. В. Мартьянов. – № 4227134/21; заявл. 10.04.1987; опубл. 15.06.1994.

32. Коган Лев Яковлевич. Троллейбус. Эксплуатация и ремонт троллейбусов / Л. Я. Коган, Е. Е. Корягина, И. А. Белостоцкий. – М. : Транспорт, 1978. – 248 с.

33. Коган Лев Яковлевич. Устройство и эксплуатация троллейбуса / Л. Я. Коган, Е. Е. Корягина, И. А. Белостоцкий. – М. : Высшая школа, 1978. – 336 с.

34. ГОСТ 27905.3-88. Системы электрической изоляции. Методы многофакторных функциональных испытаний – Введ. 01.01.90. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 12 с.

35. ГОСТ 27905.4. Системы электрической изоляции. Методы оценки устойчивости к действию электрического поля – Введ. 01.01.90. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 77 с.

36. Технические средства диагностики : справочник / В. В. Клюев, П. П. Пархоменко и др. ; под ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 1989. – 672 с.

37. А. с. 1725164 СССР, МКИ G01R29/00. Устройство контроля качества электрической изоляции / И. Я. Соколов, А. М. Соловев (СССР). – № 4773654-21; заявл. 25.12.89; опубл. 07.04.92, Бюл. № 13.

38. А. с. 1352413 СССР, МКИ G01R31/00. Способ определения свойств изоляции электроустановки / А. Г. Машкин, Ю. Г. Бецежев

(СССР). – № 3963083/24-21; заявл. 14.10.85; опубл. 15.11.87, Бюл. № 42.

39. Пат. № 68135 Российская Федерация, МПК G01R17/00. Устройство для определения активных потерь и $\operatorname{tg} \delta$ в изоляции обмоток электрических машин / С. М. Овчинкин ; заявитель и патентообладатель Научно-производственное объединение «СЛСИБ» открытое акционерное общество. – № 2007125373/22; заявл. 04.07.2007; опубл. 10.11.2007.

40. А. с. 1476406 СССР, МКИ G01R31/00. Способ определения свойств изоляции электроустановок / А. Г. Машкин (СССР). – № 4228885/24-21; заявл. 13.04.87; опубл. 30.04.89, Бюл. № 16.

41. А. с. 1458839 СССР, МКИ G01R31/00. Способ определения свойств изоляции электроустановок / А. Г. Машкин, Ю. В. Машкина (СССР). – № 4273506/24-21; заявл. 24.04.87; опубл. 15.02.89, Бюл. № 6.

42. ГОСТ 20074-83. Электрооборудование и электроустановки. Метод измерения характеристик частичных разрядов – Введ. 15.04.83. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 22 с.

43. Ригель Михаэль. Схема защиты от токов утечки / Михаэль Ригель // Изобретение стан мира. – Вып. 107. – 1998. – № 13. – С.3.

44. Гек Чуа. Устройство для обнаружения утечки на землю и дифференциальный трансформатор / Чуа Гек // Изобретение стан мира. – Вып. 107. – 1997. – № 13. – С.26–27.

45. Хольшер Норберт. Устройство защиты от токов утечки / Норберт Хольшер // Изобретение стан мира. – Вып. 107. – 1997. – № 19. – С. 11.

46. Арнольд Ханс. Устройство для измерения токову течки в цепи потребителя / Ханс Арнольд // Изобретение стан мира. – Вып. 107. – 1996. – № 13. – С. 3.

47. Мэлвин Вэбстер. Датчик тока утечки на землю / Вэбстер Мэлвин // Изобретение стан мира. – Вып. 107. – 1999. – № 7. – С. 20.

48. Томлянович Давид Карлович. Защита устройств электроснабжения троллейбусов / Д. К. Томлянович. – М. : Транспорт, 1980. – 150 с.

49. Кантор Б. З. Особенности электрического влияния высоковольтных линий на контактные сети трамвая и троллейбуса / Б. Кантор. – Тр. АКХ, 1964. – Вып. 28. – С. 155–164.

50. Романюк Микола Валентинович. Вдосконалення методів і засобів контролю ізоляції та захисного вимкнення в двопровідних мережах постійного струму: дис. канд. тех. наук: 05.09.03 / Романюк Микола Валентинович. – Вінниця, 2011. – 181 с. – Бібліогр. : с. 159–169.

51. А. с. 1555691 СССР, МКИ G01R31/02. Сигнализатор снижения сопротивления изоляции полюса высоковольтного оборудования троллейбуса / Е. А. Беляев, А. Л. Лысенко (СССР). – № 4314349/24-21; заявл. 09.10.87; опубл. 07.04.90, Бюл. № 13.

52. Пат. № 2075904 Российская Федерация, МПК G01R31/02. Сигнализатор снижения сопротивления изоляции положительных цепей троллейбуса / Л. Н. Лебедь; заявитель и патентообладатель Лебедь Леонид Николаевич. – № 5040328/28; заявл. 04.29.1992; опубл. 20.03.1997.

53. А. с. 1288364 СССР, МКИ G01R31/02. Устройство для контроля сопротивлений / О. К. Пысин, А. А. Социленков (СССР). — № 3819386/24-21; заявл. 29.11.84; опубл. 07.02.87, Бюл. № 5.

54. А. с. 1442948 СССР, МКИ G01R31/12. Устройство для контроля сопротивления изоляции / О. К. Пысин, А. А. Социленков, Н. Н. Баламатов и А. В. Немиткин (СССР). — №4222547/24-21; заявл. 06.04.87; опубл. 07.12.88, Бюл. № 45.

55. Пат. № 2002135719 Российская Федерация, МПК G01R27/00. Способ контроля сопротивления изоляции электрооборудования троллейбуса и оценки условий его безопасной эксплуатации / С. И. Малафеев, Н. А. Серебренников и В. Г. Фролкин; заявители и патентообладатели С. И. Малафеев, Н. А. Серебренников и В. Г. Фролкин. – № 2002135719/28; заявл. 27.12.2002; опубл. 20.06.2004.

56. Пат. № 2004129203 Российская Федерация, МПК G01R27/18. Способ контроля сопротивления изоляции электрооборудования троллейбуса и оценки условий его безопасной эксплуатации / С. И. Малафеев, Н. А. Серебренников и В. Г. Фролкин; заявители и патентообладатели С. И. Малафеев, Н. А. Серебренников и В. Г. Фролкин. – № 2004129203/28; заявл. 04.10.2004; опубл. 10.03.2006.

57. Пат. № 2279099 Российская Федерация, МПК G01R27/18. Способ контроля сопротивления изоляции электрооборудования троллейбуса и оценки условий его безопасной эксплуатации / С. И. Малафеев, Н. А. Серебренников и В. Г. Фролкин; заявители и патентообладатели С. И. Малафеев, Н. А. Серебренников и В. Г. Фролкин. – № 2004129203/28; заявл. 04.10.2004; опубл. 27.06.2006.

58. Пат. № 2009143048 Российская Федерация, МПК G01R27/18. Способ контроля сопротивления изоляции и защитного отключения электрооборудования / С. И. Малафеев, С. С. Малафеев и В. Г. Фролкин; заявители и патентообладатели С. И. Малафеев, С. С. Малафеев и В. Г. Фролкин. – № 2009143048/28; заявл. 20.11.2009; опубл. 27.05.2011.

59. Pat. № 12680346 United States, Int. Cl. H01 31/12. Circuit arrangement for monitoring an electric insulation / Volker Karrer, Christian Kuschnarew № 20100308841A1; Fill. Date 24.09.2008; Pub. Date 09.12.2010.

60. Никулин Михаил Юрьевич. Ток утечки как интегральный показатель электробезопасности троллейбуса. / М. Ю. Никулин, Н. И. Щуров // Электрчество. – 2007. – № 8 – С. 74–78.

61. Храмченко В. Ток утечки как интегральная величина. / Валерий Храмченко // Вестник Красноярского государственного технического университета. – 2001. – Вып. 25. – С. 111–119.

62. Веклич Владимир Филиппович. Диагностирование технического состояния троллейбусов / В. Ф. Веклич. – М. : Транспорт, 1990. – 295 с.

63. Пат. № 2128348 Российская Федерация, МПК G01R31/02, B60K35/00. Автоматизированная система контроля утечки тока на корпус троллейбуса / Л. Н. Лебедь; заявитель и патентообладатель Лебедь Леонид Николаевич. – № 97113357/09; заявл. 15.08.1997; опубл. 27.03.1999.

64. Current-leakage protection based on add-in reverse DC pulse for DC trolley network . [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-DLZS200905016.htm.

65. А. с. 443797 СССР, МКИ B60L3/00. Устройство для определения неисправности изоляции троллейбусов / Б. Я. Ключ, П. Б. Гегнер, В. И. Турченков, Р. А. Астапов и Г. В. Капеллер (СССР). – № 1874549-247; заявл. 26.01.73; опубл. 25.09.74, Бюл. № 35.

66. А. с. 970276 СССР, МКИ G01R31/02. Устройство для измерения тока утечки/ И. Г. Ланда, Р. П. Пинк, Э. И. Викутан и А. И. Забарный (СССР). — № 3238236/18-21; заявл. 10.11.80; опубл. 30.10.82, Бюл. № 40.

67. А. с. 1798740 СССР, МКИ G01R31/02. Устройство для измерения токов утечки/ Я. Л. Полищук и П. П. Лисунов (СССР). – № 4887486/21; заявл. 04.12.90; опубл. 28.02.93, Бюл. № 8.

68. Пат. № 24617 Україна МПК G01R 31/02, B60L 3/00. Спосіб визначення струмів витоку на корпус троллейбуса та бортовий пристрій їх сигналізації / В. І. Прокопець та В. І. Матвієнко; заявники і власники В. І. Прокопець та В. І. Матвієнко. – № 97063278; Заявлено 27.06.1997; Опубл. 30.10.1998, Бюл. № 5. – 8 с.

69. А. с. 1066852 СССР, МКИ B60L3/02. Устройство для контроля изоляции электрооборудования троллейбуса / А. И. Петухов (СССР). – № 3419075/24-11; заявл. 07.04.82; опубл. 15.01.84, Бюл. № 45.

70. Пат. № 2099207 Российская Федерация, МПК B60L3/02. Бортовой сигнализатор тока утечки троллейбуса / Б. И. Грубер, В. А. Коровин; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное «Резонанс» – № 96118540/11; заявл. 18.09.1996; опубл. 20.12.1997.

71. А. с. 917250 СССР, МКИ H02H3/16. Устройство для защиты электроустановки от тока утечки на корпус, который не может быть заземлен/ М. И. Бойко, В. Н. Нагорный и В. И. Третьяк (СССР). — № 2978045/24-07; заявл. 03.09.80; опубл. 30.03.82, Бюл. № 12.

72. А. с. 1233241 СССР, МКИ H02H3/16. Устройство для защиты электроустановки от тока утечки на корпус, который не может быть заземлен/ А. С. Корнеев, В. А. Смирнов и В. А. Чернятьев (СССР). — № 3737858/24-07; заявл. 08.05.84; опубл. 23.05.86, Бюл. № 19.

73. А. с. 1396193 СССР, МКИ H02H3/16. Устройство для защиты электроустановки от тока утечки на корпус, который не может быть заземлен/ Б. И. Косарев, Я. А. Зельвянский, В. Г. Коровкин, А. В. Низкий, М. В. Тарнижевский и В. А. Левченко (СССР). — № 4064150/24-07; заявл. 14.03.86; опубл. 15.05.88, Бюл. № 18.

74. А. с. 1085863 СССР, МКИ B60L3/00. Устройство защиты от токов утечки цепи тягового двигателя транспортного средства/ Б. А. Павлов, В. А. Поддубный и Р. Н. Попович (СССР). — № 3312646/27-11; заявл. 06.07.81; опубл. 15.04.84, Бюл. № 14.

75. Грубер Б. И. Бортовое устройство «Сигна» / Б. И. Грубер // Вестник ГЭТ России. — 1996. — № 6. — С. 12–13.

76. А. с. 1167507 СССР, МКИ G01R1/36. Устройство для защиты электрических измерительных приборов / Э. И. Викутан, Г. Ф. Витер, И. Г. Ланда и В. Ф. Веклич (СССР). — № 3592638/24-21; заявл. 31.03.83; опубл. 15.07.85, Бюл. № 26.

77. А. с. 1402971 СССР, МКИ G01R31/00. Устройство для измерения тока утечки/ В. Ф. Веклич, Э. И. Викутан, Г. Ф. Витер и И. Г. Ланда (СССР). — № 4105160/24-21; заявл. 02.06.86; опубл. 15.06.88, Бюл. № 22.

78. А. с. 1507605 СССР, МКИ B60L3/00. Устройство для контроля тока утечки электрооборудования троллейбуса/ В. Ф. Веклич, Г. Ф. Витер, Э. И. Викутан и И. Г. Ланда (СССР). — № 4337337/29-11; заявл. 26.10.87; опубл. 15.09.89, Бюл. № 34.

79. Грубер Б. И. Анализ существующих схем сигнализации и защиты от тока утечки на троллейбусе / Б. И. Грубер // Тр. АКХ. – 1970. – № 72. – С. 61–84.

80. А. с. 1298105 СССР, МКИ В60L3/00. Устройство для контроля тока утечки электропривода троллейбуса / Б. А. Павлов и В. А. Поддубный (СССР). — № 3987957/27-11; заявл. 09.10.85; опубл. 23.03.87, Бюл. № 11.

81. Пат. № 2017300 Российская Федерация, МПК H02H3/16. Устройство для измерения токов утечки на троллейбусе и защитного отключения троллейбуса от питающей сети при превышении заданных значений токов утечки / Ф. Я. Мотузко, В. А. Салопаев; заявитель и патентообладатель Московский институт радиотехники, электроники и автоматики – № 5047406/07; заявл. 06.15.1992; опубл. 30.07.1994.

82. Пат. № 2087337 Российская Федерация, МПК В60L3/02. Устройство для измерения тока утечки движущегося троллейбуса / Д. В. Володарский; заявитель и патентообладатель Володарский Давид Владимирович. – № 94008004/07; заявл. 05.03.1994; опубл. 20.08.1997.

83. Пат. № 94008004 Российская Федерация, МПК G01R19/15. Устройство для измерения тока утечки движущегося троллейбуса / Д. В. Володарский; заявитель и патентообладатель Володарский Давид Владимирович. – № 94008004/07; заявл. 05.03.1994; опубл. 10.05.1997.

84. Мокін Борис Іванович. Математичні методи ідентифікації електромеханічних систем : навч. посіб. / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 300 с.

85. Мокін Борис Іванович. Математичні методи ідентифікації динамічних систем : навч. посіб. / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 260 с.

86. Паянок Олександр Анатолійович. Методи та засоби регулювання спектра напруги тягових підстанцій електротранспорту: дис. канд. тех. наук: 05.09.03 / Паянок Олександр Анатолійович. – Вінниця, 2008. – 142 с. – Бібліогр. : с. 128–142.

87. Изерман Рольф. Цифровые системы управления: пер. с англ. / Рольф Изерман. – М. : Мир, 1984. – 541 с.

88. Дьяконов Владимир Павлович. Справочник по MathCAD PLUS 7.0 PRO / В. П. Дьяконов. – М. : СК Пресс, 1988. – 352 с.

89. Левидов Виктор Александрович. Измерение скоростей (измерительное дифференцирование) / В. А. Левидов, О. Н. Тихонов, Г. П. Цивирко – М. : Изд-во стандартов, 1972. – 258 с.

90. Курочка В. Визначення опору ізоляції електричних кіл тролейбуса під час експлуатації в системі електропостачання з ізолюваними полюсами [електор. ресурс] / Віктор Курочка, Дмитро Курочка // X міжнародна наукова конференція «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010)», 19–21 квітня. 2010 р.: тези допов. — Вінниця, 2010. – Режим доступу: http://www.vstu.vinnica.ua/mccs2010/materials/subsection_3.1.pdf.

91. Рубаненко Александр Евгеньевич. Методы и средства защиты сетей постоянного тока: дис. канд. тех. наук: 05.14.02 / Рубаненко Александр Евгеньевич. – Вінниця, 1989. – 292 с. – Бібліогр. : 166–175.

92. Zimmermann H.-J. Fuzzy Set Theory and Its Applications / H.-J. Zimmermann. – Kluwer, Academic Publisher, Dordrecht, Boston, MA, 2nd ed., 1991. – 315 p.

93. Митюшкин Юрий Игоревич. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – 145 с.

94. Ротштейн Александр Петрович. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.

95. Грабко В. В. Математична модель блока прогнозування струмів витоку тролейбуса / В. В. Грабко, В. П. Курочка, Д. П. Курочка // Вісник Кременчуцького державного університету ім. М. Остроградського. – 2010. – № 3, ч. 2. – С. 15–18.

96. Курочка В. Математична модель блока визначення оптимального натиску струмоприймачів тролейбуса на контактну мережу / Віктор Курочка, Дмитро Курочка // Електротехнічні та комп'ютерні системи – 2011. – № 03 (79) – С. 327–329.
97. Sivanandam S. N. Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB / S. N. Sivanandam, S. Sumathi, S. N. Deera. - Berlin: Springer, 2007. – 430 .
98. Штовба Сергей Дмитриевич. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 288 с.
99. Леоненков Александр Владимирович. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
100. Gen M. Genetic Algorithms and Engineering Design / M. Gen, R. Cheng. – John Wiley & Sons, New York, 1997. – 352 p.
101. Рутковская Данута С. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. С. Рутковская, М. А. Пилиньский, Л. В. Рутковский. – М.: Горячая линия–Телеком, 2006. – 452 с.
102. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / [Г. К. Вороновский, К. В. Мохотило, С. Н. Петрашев, С. А. Сергеев]. – Харьков: Основа, 1997. – 112 с.
103. Захаров Валерий Николаевич. Системы управления. Задание. Проектирование. Реализация / В. Н. Захаров, А. Д. Поспелов, В. Е. Хазацкий – [2-е изд.] – М.: Энергия, 1977. – 424 с.
104. Захаров Валерий Николаевич. Автоматы с распределенной памятью / В. Н. Захаров – М.: Энергия, 1975. – 136 с.
105. Курочка В. Пристрій для контролю струмів витоків тролейбуса / Віктор Курочка, Дмитро Курочка // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації VIII Всеукраїнська наук.-тех. конф. молодих вчених і спеціалістів, 7–9 квітня. 2010 р. : тези допов. – Кременчук, 2010. – С. 118 – 119.

106. Курочка В. Синтез структуры пристрою для контролю струмів витоку тролейбуса на маршруті / Віктор Курочка // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2010. – № 28. – С. 468–471.

107. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: справочник / [Якубовский С. В., Ниссельсон Л. И., Кулешова В. И. и др.] ; за ред. Якубовского С. В. – М. : Радио и связь, 1990. – 496 с.

108. Пат. №57050 Україна МПК G01R19/15. Пристрій для контролю струму витоку тролейбуса на маршруті / В. В. Грабко, В. П. Курочка і Д. П. Курочка; винахідник і власник Вінницький національний технічний університет – № 201008544; Заявлено 08.07.2010; Опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3. – 5 с.

109. Stokes Jon. Inside the machine : an illustrated introduction to microprocessors and computer architecture. / Jon Stokes. – No Starch Press, Inc., San Francisco, 2007. – 320 p.

110. Безуглов Дмитрий Анатолиевич. Цифровые устройства и микропроцессоры / Д. А. Безуглов, И. В. Калиенко. – [2-е изд.]. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 468 с.

111. Чумаченко Ігор Володимирович. Мікроконтролерні прилади: структура і використання : навч. пос. / І. В. Чумаченко, М. Д. Кошовий, В. В. Лопатин. – Харків. : Нац. аерокосмічний ун-т «ХАІ», 2001. – 277 с.

112. Уилмсхерст Тим. Разработка встроенных систем с помощью микроконтроллеров PIC. Принципы и практические примеры : пер. с англ. / Тим Уилмсхерст – К. : МК-Пресс, 2008. – 544 с.

113. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения: справочник / [сост. Шевкопляс Б. В.]. – [2-е изд.]. – М. : Радио и связь, 1990. – 512 с.

114. Брей Барри. Применение микроконтроллеров PIC18. Архитектура, программирование интерфейсов с применением C и ассемблера, пер. с англ. / Барри Брей. – К. : МК-Пресс, 2008. – 576 с.

115. Дьяконов Владимир Павлович. MATLAB и Simulink в электроэнергетике. Справочник / В. П. Дякунов, А. А. Пеньков. – Горячая Линия-Телевом, 2009. – 816 с.

116. Лурье Михаил Семенович. Применение программы MATLAB при изучении курса электротехники / М. С. Лурье, О. М. Лурье. – Красноярск : СибГТУ, 2006. – 208 с.

117. Моделювання електромеханічних систем: підручник / [О. П. Чорний, А. В. Луговой, Д. Й. Родькін та ін.]. – Кременчук, 2001. – 410 с.

118. Лазарев Юрий Георгиевич. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс / Ю. Г. Лазарев. – СПб. : Питер; Киев: Издательская группа ВНУ, 2005. – 448 с.

119. Дьяконов Владимир Павлович. Simulink 4. Специальный справочник / В. П. Дьяконов – СПб. : Питер, 2002. – 528 с.

120. Курочка В. Дослідження взаємовпливу стану ізоляції тролейбуса та системи живлення з ізольованими полюсами на струм витоку / Віктор Курочка, Дмитро Курочка // XIII міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика», 18–20 травня 2011 р.: тези допов. – Кременчук, 2011. – С. 156–157.

121. Курочка В. Дослідження взаємовпливу стану ізоляції тролейбуса та системи живлення з ізольованими полюсами на струм витоку / Віктор Курочка, Дмитро Курочка // Вісник Кременчуцького державного університету ім. М. Остроградського – 2011. – № 3, частина 2. – С. 46–49.

Наукове видання

**Грабко Володимир Віталійович
Курочка Віктор Петрович**

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ СТАНУ
ІЗОЛЯЦІЇ ТА СТРУМУ ВИТОКУ ТРОЛЕЙБУСА**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено В. Курочкою

Підписано до друку 23.06.2016 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 6,64
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2016-13

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.

publish.vntu.edu.ua; email: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.
21021, м. Вінниця, вул. Порика, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.