

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

КУРОЧКА ВІКТОР ПЕТРОВИЧ

УДК 629.4.067.4

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

Спеціальність 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Грабко Володимир Віталійович,
Вінницький національний технічний університет,
ректор.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Садовой Олександр Валентинович,
Дніпродзержинський державний технічний університет,
завідувач кафедри електромеханіки;

кандидат технічних наук, доцент
Карплюк Леонід Федорович,
Національний університет “Львівська політехніка”,
доцент кафедри електропривода та автоматизації промислових
установок.

Захист відбудеться “28” вересня 2012 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.05 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210, ГНК.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий “27” серпня 2012 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.В. Кулик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Важливу роль в інфраструктурі міста відіграє електротранспорт. 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. По мірі експлуатації електрообладнання тролейбуса погіршується ізоляція, що призводить до попадання небезпечного потенціалу на корпус. Оцінку стану останньої здійснюють за двома параметрами: опір ізоляції і струм витоку.

Більшість відомих методів та засобів контролю стану ізоляції тролейбуса передбачають відключення його від контактної мережі. Крім того на роботу решти пристроїв 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 визначення місця несправності ізоляції та вимірювання струму витоку без попереднього заземлення корпусу і при одночасному пропорційному зниженні ізоляції позитивного і негативного полюсів електрообладнання. Вимірний 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 даної тягової підстанції і можуть відрізнятись в декілька разів під час роботи тролейбуса на маршруті. Для отримання повної інформації про стан ізоляції тролейбуса необхідно вимірювати значення опору ізоляції та струм витоку, який є інтегральним показником електробезпеки.

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

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основний зміст роботи складають результати досліджень, що проводились на кафедрі електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету протягом 2009 – 2011 років. Науково-дослідна робота проводилась відповідно до наукового напрямку кафедри «Розробка математичних методів та моделей процесів, що протікають в енергетичних та електромеханічних системах, синтез інформаційно-вимірних систем автоматичного і автоматизованого керування цими процесами», у ролі виконавця, за держбюджетною темою «Розробка методів і засобів для зменшення втрат та підвищення надійності електричних мереж міського електротранспорту» (номер державної реєстрації 0110U002172).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення достовірності контролю ізоляції та струму витоку тролейбуса за рахунок вдосконалення методів і засобів визначення стану ізоляції основних електротехнічних вузлів та струму витоку.

Відповідно до вказаної мети необхідно вирішити такі основні задачі:

- провести аналіз існуючих методів і засобів визначення стану ізоляції та контролю струму витоку тролейбуса;
- розробити математичну модель контролю активного та ємнісного опору ізоляції тролейбуса;
- розробити метод контролю струму витоку тролейбуса;
- на основі математичної моделі контролю омичного опору ізоляції тролейбуса синтезувати структурну схему пристрою контролю;
- на основі метода контролю струму витоку тролейбуса, синтезувати структурну

схему пристрою контролю;

- шляхом комп'ютерного моделювання дослідити модель контролю струму витоку тролейбуса;
- розробити алгоритм функціонування та структурну схему мікропроцесорного пристрою контролю ізоляції та струму витоку тролейбуса;
- оцінити імовірність прийняття помилкових рішень розробленого засобу.

Об'єктом дослідження є процес зміни технічного стану основних електротехнічних вузлів тролейбусів

Предметом дослідження є система контролю стану ізоляції та струму витоку тролейбуса.

Методи дослідження. Для розв'язку поставлених задач і аналізу прийнятих схемних та алгоритмічних рішень використані такі методи дослідження: методи теорії автоматичного керування для аналізу та вдосконалення математичної моделі контролю ізоляції та системи контролю струму витоку; теорії кінцевих автоматів для синтезу структури пристрою контролю струму витоку, алгебри логіки для мінімізації секвенційних виразів; а також чисельні методи розв'язання задач, теорії нечітких множин для побудови математичної моделі, яка забезпечує корегування значень опорів ізоляції в залежності від погодних умов експлуатації; генетичних алгоритмів – для налаштування роботи нечіткої моделі; аналітичні можливості комп'ютерної алгебри – для моделювання динамічних процесів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Встановлена залежність зміни напруги на зразковій ємності від омичного опору ізоляції, в коло якої вона включена, що покладено в основу вдосконалення методу визначення омичного опору, який на відміну від відомих мінімізує вплив ємнісного опору на вимірювання омичного опору ізоляції тролейбуса.

2. Виявлені закономірності зміни напруг живлення позитивного та негативного полюса відносно корпусу у перехідних режимах роботи електропривода від ємнісного опору ізоляції, які покладені в основу математичної моделі ізоляції, що дозволяє визначати ємнісну складову опору на маршруті, не відключаючи тролейбус від мережі живлення.

3. Встановлені залежності параметрів ізоляції тролейбуса та системи живлення від впливу навколишнього середовища, а саме температури та вологості, які покладені в основу методу коригування визначених параметрів ізоляції тролейбуса та системи живлення.

4. Вдосконалено метод контролю струму витоку, який покладений в основу розробки пристрою, що на відміну від відомих дозволяє визначити ділянку з пошкодженою ізоляцією та підвищити достовірність контролю струму витоку тролейбуса.

Практичне значення одержаних у роботі результатів полягає в наступному:

1. На основі розроблених методів запропоновано структурну схему та алгоритм функціонування пристрою визначення активного та ємнісного опору ізоляції тролейбуса, який дозволяє визначати значення параметрів ізоляції не відключаючи тролейбус від мережі живлення.

2. На основі розроблених методів запропоновано алгоритм функціонування та структурну схему засобу контролю струму витоку тролейбуса в контрольних точках, який дозволяє визначати можливу несправність тягового двигуна та визначати місце несправності ізоляції електротехнічного обладнання.

3. Створено комп'ютерну модель контролю струму витоку тролейбуса у середовищі Matlab Simulink, яка дозволяє швидко провести дослідження взаємовпливу ізоляції системи живлення та ізоляції тролейбуса на струм витоку тролейбуса, дослідити роботу системи в різних режимах та перехідні процеси, які виникають під час дотику людини до корпусу тролейбуса.

4. Розроблено структурну схему та алгоритм роботи мікропроцесорного засобу контролю ізоляції та струму витоку тролейбуса, що дозволяє визначати та коригувати значення параметрів ізоляції не відключаючи тролейбус від мережі живлення, контролювати

значення виміряного та визначеного імітаційного струму витоку, визначати ділянку з пошкодженою ізоляцією електротехнічного обладнання.

Впровадження отриманих у дисертаційній роботі практичних результатів, а саме: схемні рішення та алгоритм роботи пристрою контролю стану ізоляції та струму витоку тролейбуса в Комунальному підприємстві «Вінницьке трамвайно-тролейбусне управління» (КП«ВТТУ») підтверджується актом від 14.12.2011 р.

Теоретичні результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес, а саме: метод визначення омичного та ємнісного опору ізоляції тролейбуса в дисципліні «Надійність і діагностика електричного обладнання», комп'ютерна модель пристрою контролю струму витоку тролейбуса в дисципліні «Моделювання електромеханічних систем» у Вінницькому національному технічному університеті (акт від 16.12.2011 р.)

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та розрахункові результати з формулюванням відповідних висновків отримані автором самостійно. Окремі результати отримані в співавторстві, у цих випадках особистий внесок автора у статтях наведено у супроводжуючих документах та нижче. Зокрема в роботі [2] автором самостійно розроблено математичну модель блока прогнозування струму витоку тролейбуса, в [3, 6, 7] математична модель взаємовпливу стану ізоляції системи живлення і тролейбуса на струм витоку адаптовано до комп'ютерної реалізації та запропонована комп'ютерна модель у середовищі Matlab Simulink. Структурна схема пристрою контролю струму витоку тролейбуса на маршруті запропонована в роботах [4, 5]. Усі результати розробок опубліковані зі співавторами проводились у ВНТУ.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати виконаних в дисертації досліджень доповідались та обговорювались на таких міжнародних і регіональних конференціях та наукових семінарах: VIII Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих учених і спеціалістів «Електромеханічні та енергетичні системи методи моделювання та оптимізації» (м. Кременчук, 2010 р.); XII та XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика», (м. Кременчук, 2010, 2011 рр.); XVII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика», (АР Крим, смт Кипарисне, 2010 р.); X Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010)» (м. Вінниця, 19-21 жовтня 2010 р.); щорічні науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниця та області на базі ВНТУ в 2009-2011 роках.

Публікації. Основний зміст роботи опублікований в 7 друкованих працях, серед яких 3 статті у наукових журналах, що входять до переліку фахових видань, один патент на корисну модель та три публікації у збірниках тез міжнародних конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (138 найменувань), чотирьох додатків. Основний зміст викладений на 129 сторінках друкованого тексту, містить 65 рисунків, 13 таблиць. Загальний обсяг роботи 174 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність досліджень, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Вказано мету та задачі досліджень. Приведено характеристику наукової новизни та практичного значення одержаних результатів, а також описано їх апробацію, публікації та впровадження.

У першому розділі проведено аналіз існуючих методів і засобів контролю стану ізоляції та струму витоку тролейбуса.

Рисунок 2 – Схема для визначення активного опору ізоляції позитивного та негативного кіл тролейбуса

На рис. 2 представлені такі умовні позначення: 1 – блок керування; 2 – генератор імпульсів; 3 – елемент I; 4 – лічильник імпульсів; 5 – задатчик рівня напруги; 6 – тригер; 7 – компаратор; 8 – DC/DC перетворювач; 9 – схема заміщення ізоляції тролейбуса; $K_1 - K_7$ – ключі; C_0 – зразкова ємність; C_1, C_2 – ємності опорів ізоляції позитивного і негативного кола електрообладнання тролейбуса відносно корпусу; R_1, R_2 – активні опори ізоляції позитивного і негативного кола електрообладнання тролейбуса відносно корпусу.

Для зменшення впливу ємності ізоляції тролейбуса на вимірювання під час замикання ключів, зразкову ємність візьмемо значно більшу.

Принцип дії ґрунтується на визначенні постійної часу електричного кола, складеного з C_0 і резистора R_x :

$$\tau = R_x C_0, \quad (1)$$

$$N = \frac{T_x}{T_0}. \quad (2)$$

Оскільки $T_x = \tau$, після підстановки постійної часу кола (1) у формулу (2) отримаємо формулу визначення R_x :

$$R_x = \frac{N}{f_0 C_0}. \quad (3)$$

На основі інформації, такої як $U_1(t)$, $U_2(t)$ та $U_3(t)$, тобто тих параметрів, які безпосередньо піддаються вимірюванням, ідентифікувати складові C_1 та C_2 . Ємність ізоляції тролейбуса знаходитимемо з системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} R_1 R_2 (C_1 + C_2) \frac{dU_3(t)}{dt} = R_2 R_1 C_1 \frac{dU_1(t)}{dt} + R_2 U_1(t) - (R_1 + R_2) U_3(t); \\ R_1 R_2 (C_1 + C_2) \frac{dU_2(t)}{dt} = R_1 R_2 C_2 \frac{dU_1(t)}{dt} + R_1 U_1(t) - (R_1 + R_2) U_2(t). \end{cases} \quad (4)$$

Рівні напруг U_1, U_2, U_3 вимірюються в динамічному режимі та визначаються перші похідні: $\frac{dU_1(t)}{dt}, \frac{dU_2(t)}{dt}, \frac{dU_3(t)}{dt}$. Система рівнянь (4) відносно C_1 та C_2 має розв'язок:

$$C_1(t) = \frac{\frac{dU_2(t)}{dt} \cdot [U_3(t) \cdot (R_1 + R_2) - U_1(t) \cdot R_2] + \frac{dU_3(t)}{dt} \cdot [U_1(t) \cdot R_1 - U_2(t) \cdot (R_1 + R_2)] + \frac{dU_1(t)}{dt} \cdot [U_1(t) \cdot R_2 - U_3(t) \cdot (R_1 + R_2)]}{R_1 \cdot R_2 \cdot \frac{dU_1(t)}{dt} \cdot \left[\frac{dU_1(t)}{dt} - \frac{dU_2(t)}{dt} - \frac{dU_3(t)}{dt} \right]}, \quad (5)$$

$$C_2(t) = \frac{\frac{dU_2(t)}{dt} \cdot [U_1(t) \cdot R_2 - U_3(t) \cdot (R_1 + R_2)] + \frac{dU_3(t)}{dt} \cdot [U_2(t) \cdot (R_1 + R_2) - U_1(t) \cdot R_1] + \frac{dU_1(t)}{dt} \cdot [U_1(t) \cdot R_1 - U_2(t) \cdot (R_1 + R_2)]}{R_1 \cdot R_2 \cdot \frac{dU_1(t)}{dt} \cdot \left[\frac{dU_1(t)}{dt} - \frac{dU_2(t)}{dt} - \frac{dU_3(t)}{dt} \right]}. \quad (6)$$

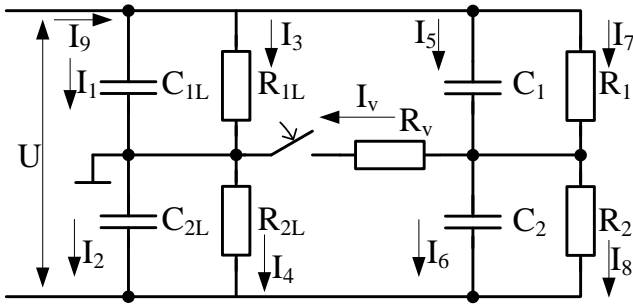


Рисунок 3 – Схема заміщення ізоляції тролейбуса та системи живлення

Після визначення параметрів ізоляції тролейбуса та задання (або вимірювання) параметрів системи живлення можливим є визначення імітаційного струму витоку. Для цього розглянемо схему заміщення ізоляції тролейбуса та системи живлення з врахуванням ємнісних складових (рис 3).

На рис. 3 представлені такі умовні позначення: C_{1L} , C_{2L} – ємності опору ізоляції позитивного і негативного полюса системи живлення відносно землі; R_{1L} , R_{2L} –

опори ізоляції позитивного і негативного полюса системи живлення відносно землі; R_v – опір людини.

$$\left\{ \begin{array}{l} -I_9(p) + I_1(p) + I_3(p) + I_5(p) + I_7(p) = 0; \\ I_1(p) + I_3(p) + I_v(p) - I_2(p) - I_4(p); \\ I_2(p) + I_4(p) + I_6(p) + I_8(p) - I_9(p) = 0; \\ U_{C_{1L}}(p) + U_{C_{2L}}(p) = U(p); \\ U_{C_{1L}}(p) + I_4(p)R_{2L} = U(p); \\ I_3(p)R_{1L} + I_4(p)R_{2L} = U(p); \\ U_{C_1}(p) + I_v(p)R_v - I_3(p)R_{1L} = 0; \\ U_{C_1}(p) + U_{C_2}(p) = U(p); \\ U_{C_1}(p) + I_8(p)R_2 = U(p); \\ I_7(p)R_1 + I_8(p)R_2 = U(p). \end{array} \right. \quad (7)$$

З розв'язку системи (7) можна визначати імітаційний струм витоку тролейбуса на всьому маршруті не відмикаючи його від мережі живлення, підставляючи параметри всіх тягових підстанцій.

Враховуючи, що значення опору ізоляції системи живлення та тролейбуса залежить від багатьох факторів, для знаходження коригувальних коефіцієнтів його значення доцільне використання методів нечіткої логіки. Для цього сформуємо дерево логічного висновку (рис. 4).

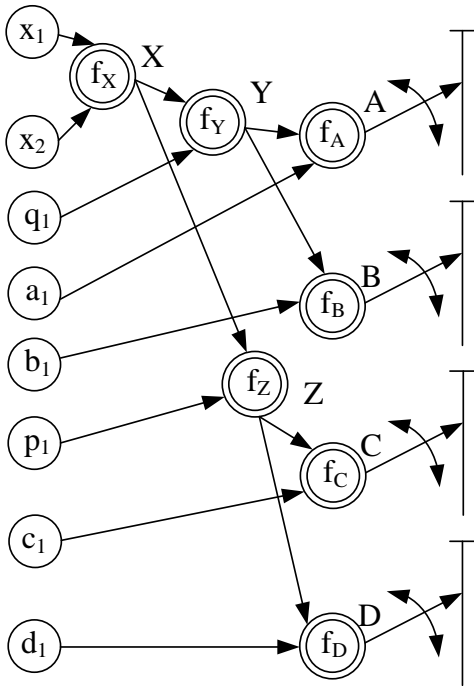


Рисунок 4 – Дерево логічного висновку

Позначимо через X вплив навколишнього середовища. Для оцінки цього показника будемо використовувати наступну інформацію: x_1 – температура навколишнього середовища, x_2 – рівень абсолютної вологості. Y позначає загальний вплив на ізоляцію, для якого входним є крім впливу навколишнього середовища X також q_1 – ресурс ізоляції тролейбуса.

A – прогнозоване значення опору ізоляції тролейбуса R_1 , яке отримується шляхом коригування виміряного значення опору ізоляції a_1 та загального впливу Y . B – прогнозоване значення опору ізоляції тролейбуса R_2 , яке отримується шляхом коригування виміряного значення опору ізоляції b_1 та загального впливу Y .

Загальний вплив на опір ізоляції системи живлення Z ґрунтується на основі впливу навколишнього середовища X та p_1 – ресурс системи живлення. C – прогнозоване значення опору ізоляції системи живлення R_{1L} , яке отримується шляхом коригування виміряного значення опору ізоляції c_1 та загального впливу Z .

D – прогнозоване значення опору ізоляції системи живлення R_{2L} , яке отримується шляхом коригування виміряного значення опору ізоляції d_1 та загального впливу Z .

Нечітка база знань представляється системою нечітких логічних рівнянь знаходження коригувальних коефіцієнтів ізоляції тролейбуса та системи живлення. Нечітке логічне рівняння для одного з варіантів виходу має вигляд:

$$\begin{aligned} \mu^{X_n}(X) = & [\mu^v(x_1) \cdot \mu^n(x_2)] \vee [\mu^v(x_1) \cdot \mu^{ns}(x_2)] \vee [\mu^{vn}(x_1) \cdot \mu^n(x_2)] \vee \\ & \vee [\mu^{bn}(x_1) \cdot \mu^n(x_2)] \vee [\mu^{nn}(x_1) \cdot \mu^n(x_2)]. \end{aligned} \quad (8)$$

Для оптимізації роботи даної моделі застосовано генетичний алгоритм, який при наявності вибірки дозволяє налагодити раніше розроблену нечітку модель.

У третьому розділі на основі розроблених в другому розділі математичних моделей (3, 5, 6), запропоновано структурну схему пристрою контролю струму витoku (рис. 5).

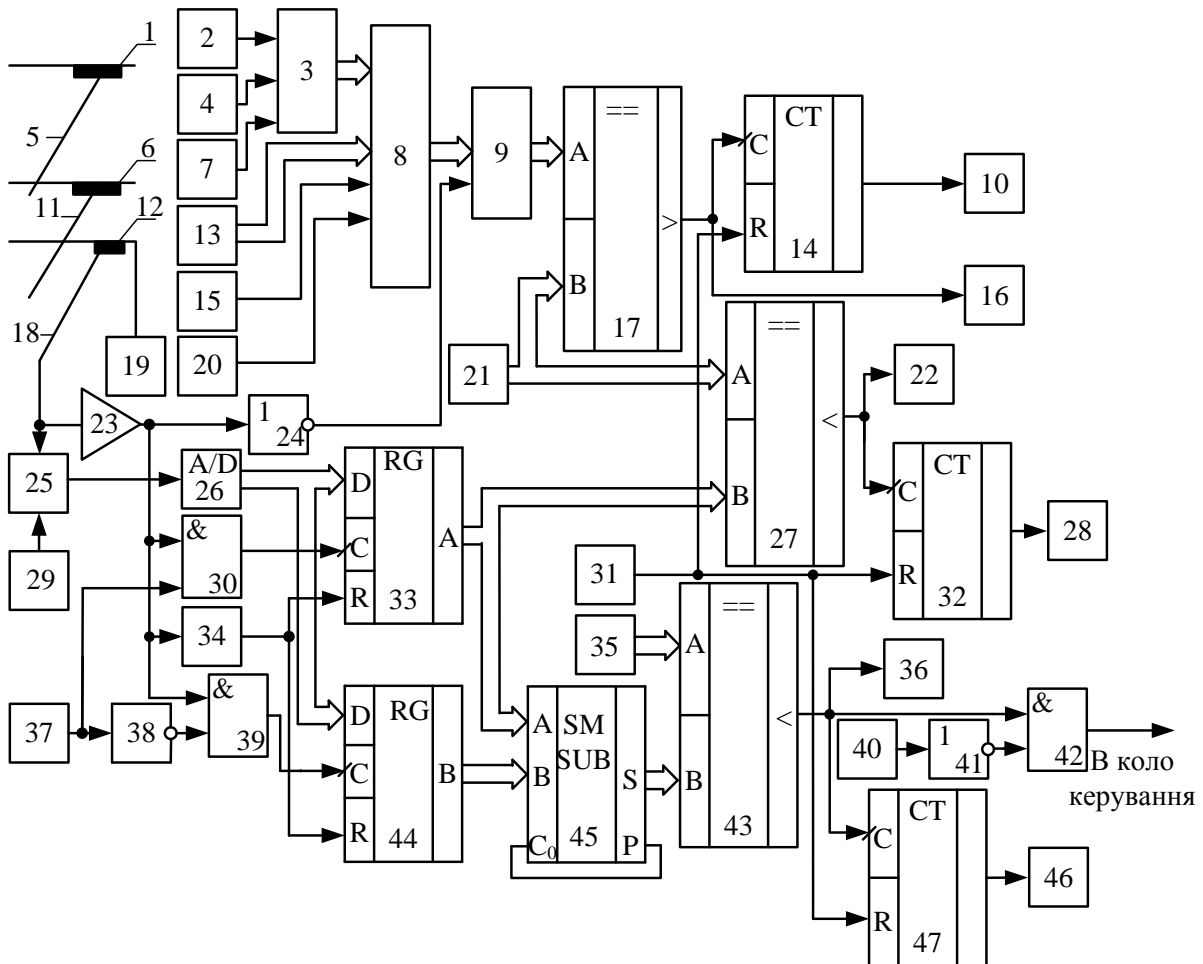


Рисунок 5 – Функціональна схема пристрою контролю струму витоку та визначення імітаційного струму тролейбуса на маршруті

На схемі (рис. 5): 1, 6, 12 – контактні провода; 2, 4, 7 – сенсори напруги; 3 – блок визначення активних і ємнісних опорів ізоляції тролейбуса; 5, 11, 18 – струмоприймачі; 8 – блок коригування параметрів ізоляції тролейбуса та контактної мережі на теорії нечітких множин; 9 – блок визначення імітаційного струму витоку тролейбуса; 10, 16, 22, 28, 36, 46 – індикатори; 13 – блок задання ресурсу ізоляції тролейбуса та значень опорів ізоляції контактної мережі; 14, 32, 47 – лічильники імпульсів; 15 – сенсор температури; 17, 27, 43 – цифрові компаратори; 19 – система заземлення; 20 – сенсор вологості; 21 – блок задання максимально допустимого значення струму витоку; 23 – компаратор; 24, 38, 41 – елементи НІ; 25 – сенсор струму; 26 – аналого-цифровий перетворювач; 29 – корпус тролейбуса; 30, 39, 42 – елементи І; 31 – блок установки нуля; 33, 44 – регістри запам'ятовування; 34 – формувач сигналу; 35 – блок задання допустимого відхилення струму витоку; 37 – сенсор роботи тягового двигуна; 40 – сенсор швидкості; 45 – блок віднімання.

Для того щоб визначити місце несправності ізоляції, будемо по чергово виключати ділянки кола електротехнічного обладнання тролейбуса. Для цього в кабіні водія за допомогою вимикачів і запобіжників здійснюється по чергово включення або виключення ділянок кола. Силowe коло тролейбуса ЗІУ-9 можна розбити на сім ділянок.

$$\left\{ \begin{array}{l} H1 = 1, \text{ \textasciitilde} \sum^{-2}_3 > \Delta^2; \\ H2 = 1, \text{ \textasciitilde} ^2_3 - ^2_{3+1} > \Delta^2; \\ H3 = 1, \text{ \textasciitilde} ^2_{3+1} - ^2_{3+2} > \Delta^2; \\ H4 = 1, \text{ \textasciitilde} ^2_{3+2} - ^2_{3+3} > \Delta^2; \\ H5 = 1, \text{ \textasciitilde} ^2_{3+3} - ^2_{3+4} > \Delta^2; \\ H6 = 1, \text{ \textasciitilde} ^2_{3+4} - ^2_{3+5} > \Delta^2; \\ H7 = 1, \text{ \textasciitilde} ^2_{3+5} - ^2_{3+6} > \Delta^2. \end{array} \right. \quad (9)$$

У четвертому розділі запропоновано мікропроцесорну реалізацію та алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою контролю стану ізоляції та струму витoku тролейбуса.

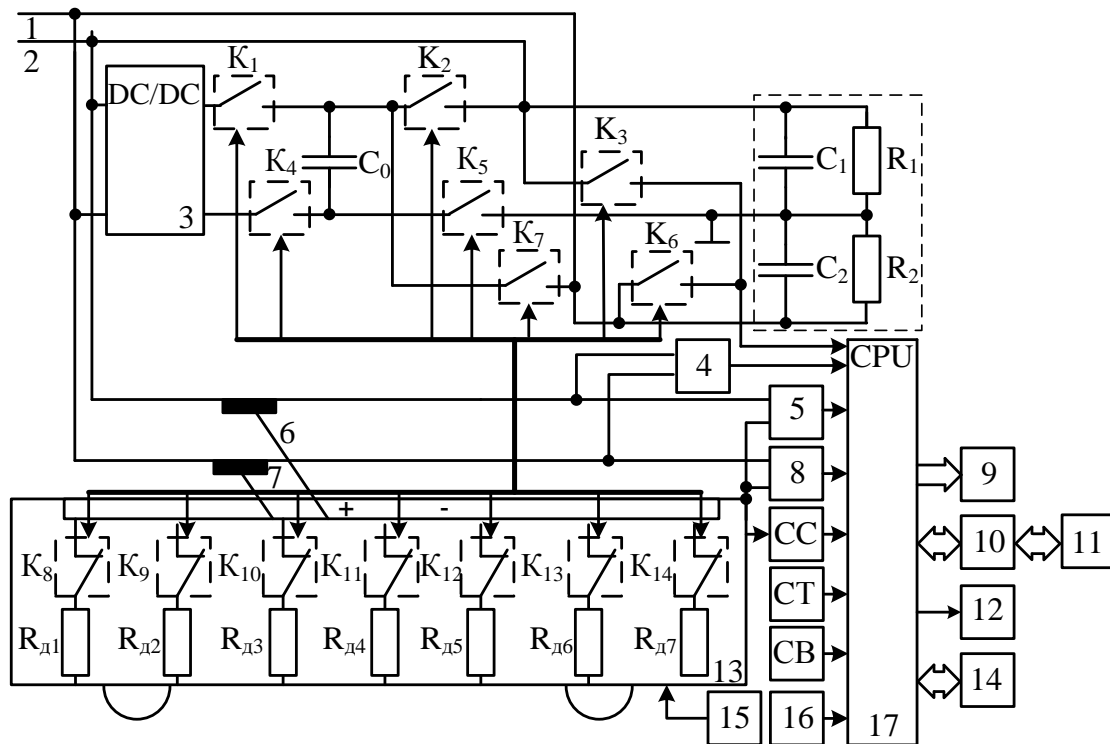


Рисунок 6 – Структурна схема мікропроцесорного пристрою контролю стану ізоляції та струму витoku тролейбуса на маршруті

На рис. 6: CC – сенсор струму витoku; CT – сенсор температури; CB – сенсор вологості; K₁ - K₁₄ – контакти реле; R_{д1} - R_{д17} – опори ізоляції секційних ділянок електротехнічного обладнання; 1, 2 – контактні провoда; 3 – DC/DC перетворювач; 4, 5, 8 – сенcори напруги; 6, 7 – струмоприймачі; 9 – рiдиннокристалічний індикатор; 10 – перетворювач рівнів сигналів; 11 – EOM; 12 – силове реле (розмикає коло живлення тролейбуса при перевищенні струму витoku і нульовій швидкості тролейбуса); 13 – корпус тролейбуса; 14 – клавіатура; 15 – система заземлення; 16 – сенсор роботи тягового двигуна; 17 – мікроконтролер.

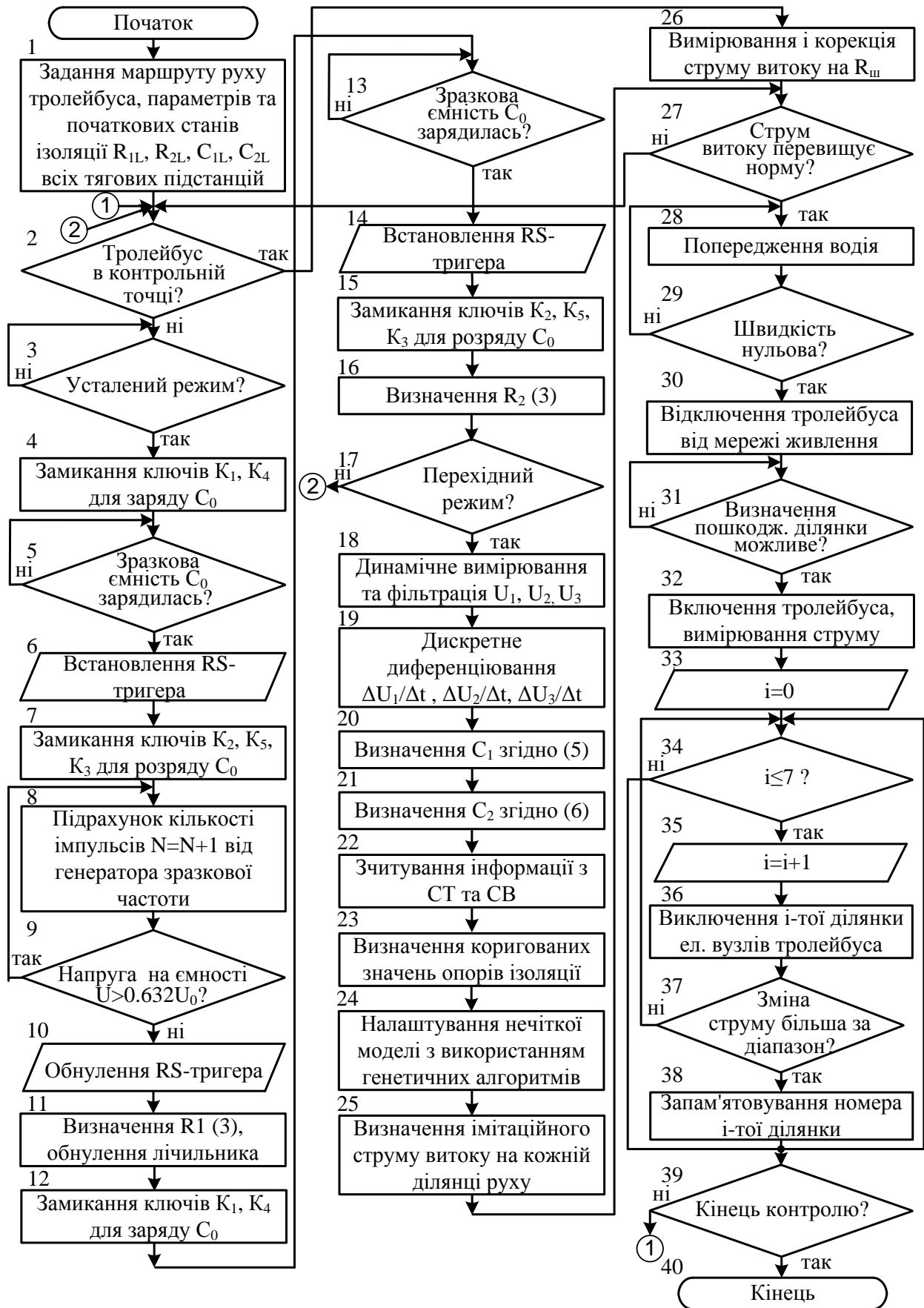


Рисунок 7 – Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою контролю стану ізоляції та струму витоку тролейбуса на маршруті

В алгоритмі роботи пристрою (рис. 7):

- в блоці 1 перед початком роботи обслуговуючий персонал вводить номер маршруту, параметри ізоляції всіх тягових підстанцій, початкові стани ізоляції тролейбуса та систем живлення;
- якщо тролейбус в контрольній точці, то з блока 2 перехід відбувається до блоку 27, в протилежному – разі продовження алгоритму;
- в блоці 3 проводиться вимірювання вхідної напруги із постійною перевіркою на належність діапазону, що відповідає усталеному режиму роботи (рис. 1, б);
- в блоках 4 – 11 реалізується вдосконалений метод визначення активного опору ізоляції позитивного кола електрообладнання тролейбуса відносно корпусу R_1 (рис. 2);
- в блоках 12 – 16 реалізується вдосконалений метод визначення активного опору ізоляції негативного кола електрообладнання тролейбуса відносно корпусу R_1 (рис. 2);
- в блоці 17 проводиться вимірювання вхідної напруги з постійною перевіркою на належність діапазону, що відповідає перехідному режиму роботи;
- в блоці 18 проводиться динамічне вимірювання напруг U_1, U_2, U_3 та їх дискретна фільтрація згідно алгоритму усереднення із постійним коефіцієнтом корекції;
- в блоці 19 проводиться дискретне диференціювання $\Delta U_1/\Delta t, \Delta U_2/\Delta t, \Delta U_3/\Delta t$ відфільтрованих значень напруг із отриманням сигналів;
- в блоках 20 - 21 відбувається визначення параметрів ізоляції C_1 та C_2 згідно математичних моделей (5) та (6) відповідно;
- в блоках 22 – 23 відбувається корегування вимірюваних та заданих значень опорів згідно нечіткої моделі;
- в блоці 24 відбувається налаштування нечіткої моделі згідно генетичних алгоритмів;
- в блоці 25 проводиться визначення імітаційного струму витоку на кожній ділянці руху тролейбуса з врахування корегованих значень опорів ізоляції;
- якщо тролейбус знаходиться в контрольній точці, то відбувається вимірювання струму витоку і корекція його значення в залежності від шунтуючого опору шин (блок 26) ;
- в блоці 27 відбувається порівняння вимірюваного або визначеного значення струму витоку з нормованим;
- при перевищенні нормованого значення струму витоку контролер видає повідомлення для водія (блок 28) та при нерухомому тролейбусі відбувається відключення лінійного контактора;
- в блоці 31 відбувається перевірка можливості пошуку несправної ділянки ізоляції електрообладнання;
- для визначення місця пошкодження ізоляції (32 - 38), відбуватиметься по чергове виключення ділянок кола електротехнічного обладнання тролейбуса (9) з відповідним вимірюванням струму витоку.

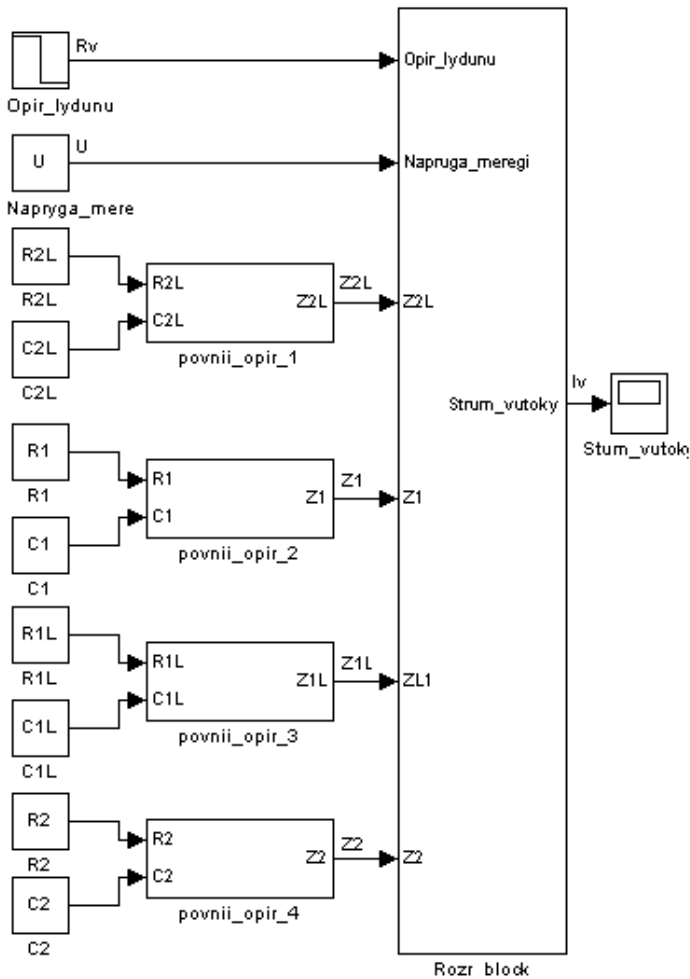


Рисунок 8 – Модель розрахункової схеми струму витоку тролейбуса

Створено комп'ютерну модель контролю струму витоку тролейбуса (рис. 8) у середовищі Matlab Simulink, яка дозволяє швидко провести дослідження взаємовпливу ізоляції системи живлення та тролейбуса на струм витоку, дослідити роботу системи в різних режимах та перехідні процеси, які виникають під час дотику людини до корпусу тролейбуса.

Отримані результати моделювання представлені на рис. 9.

Аналізуючи результати моделювання (рис. 9, б) слід відмітити, що при повністю справному тролейбусі та несправній ізоляції негативного полюса контактної мережі, дотик людини спричинить появу струму витоку із піковим значенням рівним -27 мА, а усталене значення становитиме $-2,8$ мА. Незважаючи на те, що усталене значення струму не перевищує гранично допустимого в 3 мА, розрядний струм перевищує його у $7,6$ раз.

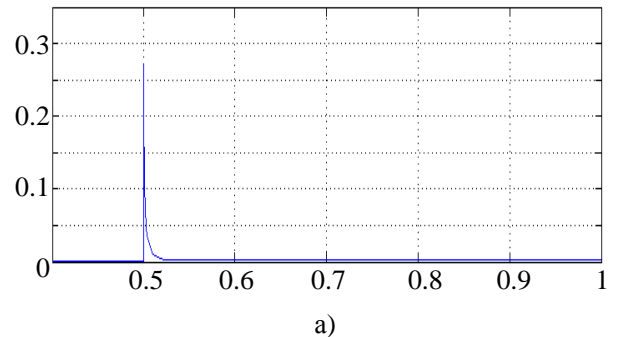


Рисунок 9 – Діаграми струму витоку при пошкодженій ізоляції негативного кола тролейбуса відносно корпусу а) та пошкодженій ізоляції негативного полюса системи живлення відносно землі б)

Було проведено вимірювання струму витоку групи тролейбусів (48 одиниць рухомого складу) Комунального підприємства "Вінницьке трамвайно-тролейбусне управління". Отримані осцилограми струму витоку після математичної обробки та масштабування приведені на рисунку 10.

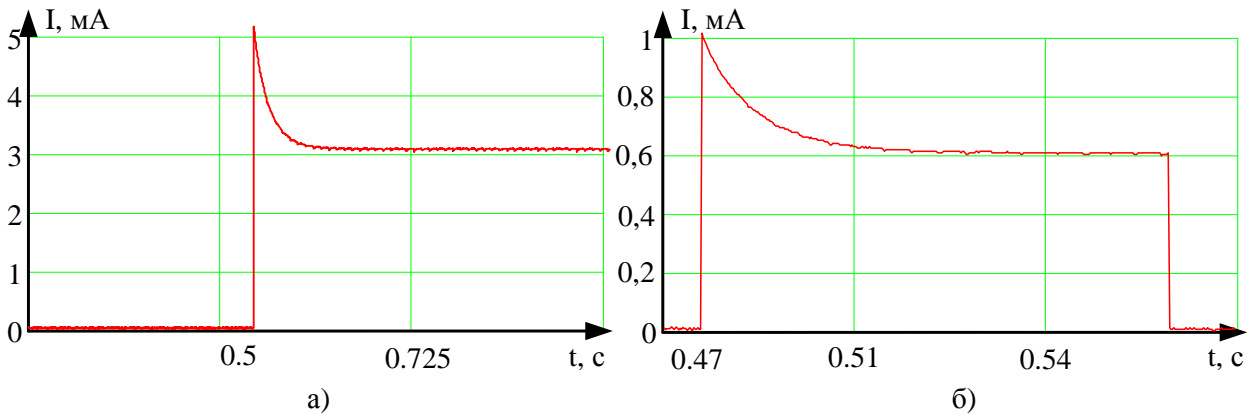


Рисунок 10 – Результати експериментальних досліджень пристрою контролю струму витoku тролейбуса №258 а) №308 б)

З аналізу осцилограми перехідного процесу струму витoku (рис. 10, а) під час дотику людини до корпусу тролейбуса встановлено наявність пікового значення, що перевищує усталене на 53 %.

Здійснено оцінку помилок першого та другого роду ($\alpha(\sigma_k) = 0,032$; $\beta(\sigma_k) = 0,01$) системи контролю струму витoku, встановлено, що імовірність безпомилкової роботи системи контролю струму витoku складає 96,7%.

У додатках наведено вибір методів та засобів фільтрації і диференціювання, результати експериментальних досліджень, оцінку помилок першого і другого роду, акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі наведено розв'язання актуальної науково-прикладної задачі підвищення достовірності контролю за рахунок вдосконалення методів і засобів визначення стану ізоляції основних електротехнічних вузлів та струму витoku, що відрізняються від відомих способом визначення активної та ємнісної складової опору ізоляції, коригуванням значення опорів ізоляції тролейбуса та контактної мережі на майбутній період експлуатації з врахуванням найгірших погодних умов, визначенням місця пошкодження ізоляції тролейбуса.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи є такими.

У галузі теоретичних та експериментальних досліджень:

1. Проведений аналіз джерел інформації показав, що відомі методи та засоби контролю опору ізоляції передбачають відключення тролейбуса від контактної мережі. Крім того на роботу пристроїв під час перехідних процесів в значній мірі впливають ємності ізоляції мережі та тролейбус. Зроблено висновок, що перспективним є створення нових методів та засобів контролю опору ізоляції тролейбуса.

2. Виконаний аналіз методів та засобів контролю струму витoku тролейбуса довів, що більшість існуючих підходів не дають можливості вимірювання струму без попереднього заземлення корпусу, крім того вимірний 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 даної тягової підстанції і можуть відрізнятися в декілька разів під час роботи тролейбуса на маршруті.

3. Встановлена залежність зміни напруги на зразковій ємності від омичного опору ізоляції, в коло якої вона включена, що покладено в основу вдосконалення методу визначення омичного опору, і це дозволило мінімізувати вплив ємнісного опору на

вимірювання омичного опору ізоляції тролейбуса.

4. Виявлені закономірності зміни напруг живлення позитивного та негативного полюса відносно корпусу у перехідних режимах роботи електроприводу від ємнісного опору ізоляції, які покладені в основу розробки математичної моделі ізоляції, що дозволило визначати ємнісну складову опору на маршруті, не відключаючи тролейбус від мережі живлення.

5. Встановлені залежності параметрів ізоляції тролейбуса та системи живлення від впливу навколишнього середовища, а саме температури та вологості, які покладені в основу методу коригування визначених параметрів ізоляції тролейбуса та системи живлення на майбутній період експлуатації з врахуванням найгірших погодних умов, що дозволило підвищити рівень електробезпеки та безвідмовної роботи тролейбусів.

6. Синтезовано за розробленою математичною моделлю алгоритм та структурну схему пристрою контролю струму витоку тролейбуса на маршруті, який дає можливість вимірювання струму витоку в контрольних точках, попереджує водія про небезпечний струм, відмикає тролейбус від мережі живлення якщо тролейбус не рухомий.

7. Вдосконалено метод контролю струму витоку, який покладений в основу розробки пристрою, що дозволяє визначити ділянку з пошкодженою ізоляцією та підвищити достовірність контролю струму витоку тролейбуса.

8. Здійснені експериментальні дослідження роботи розробленої системи контролю струму витоку та встановлено, що імовірність безпомилкової роботи складає 96,7%. Також результати експерименту засвідчили адекватність запропонованих моделей та методів, і підтвердили функціональну працездатність розробленого пристрою контролю струму витоку.

У галузі практичного застосування:

1. Розроблена структурна схема та алгоритм роботи пристрою визначення активного та ємнісного опору ізоляції тролейбуса, який дозволяє визначати значення параметрів ізоляції не відключаючи тролейбус від мережі живлення.

2. Розроблена структурна схема та алгоритм роботи пристрою контролю струму витоку тролейбуса на маршруті, який дозволяє контролювати значення вимірюваного струму витоку та визначати місце несправності ізоляції електротехнічного обладнання.

3. Запропонована комп'ютерна модель контролю струму витоку тролейбуса у середовищі Matlab Simulink, яка дозволяє швидко провести дослідження взаємовпливу ізоляції системи живлення та тролейбуса на струм витоку, дослідити роботу системи в різних режимах та перехідні процеси, які виникають під час дотику людини до корпусу тролейбуса.

4. Розроблено структурну схему та алгоритм роботи мікропроцесорного засобу контролю ізоляції та струму витоку тролейбуса, що дозволяє визначати та коригувати значення параметрів ізоляції не відключаючи тролейбус від мережі живлення, контролювати значення вимірюваного та визначеного імітаційного струму витоку, визначати ділянку з пошкодженою ізоляцією електротехнічного обладнання.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Курочка В. Синтез структури пристрою для контролю струмів витоку тролейбуса на маршруті / Віктор Курочка // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». — 2010. — № 28. — С. 468 — 471. — ISSN 2079-8024.

2. 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. — ISSN 1995-0519. — ISSN 2072-8263.

3. 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, ч. 2. — С. 46 — 49. — ISSN 2072-2052. — ISSN 2074-9937.

4. Пат. №57050 Україна МПК G01R19/15. Пристрій для контролю струму витоку тролейбуса на маршруті / Грабко В. В., Курочка В. П., Курочка Д. П. — № 201008544; Заявлено 08.07.2010; Опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3. — 5 с.

5. Курочка В. Пристрій для контролю струмів витоку 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.

6. Курочка В. Визначення опору ізоляції електричних кіл тролейбуса під час експлуатації в системі електропостачання з ізольованими полюсами / 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 до ел. ресурсу: http://www.vstu.vinnica.ua/mccs2010/materials/subsection_3.1.pdf.

7. 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. — ISSN 2221-5190.

АНОТАЦІЯ

Курочка В. П. Методи і засоби контролю стану ізоляції та струму витоку тролейбуса. — На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи. — Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2012.

Дисертацію присвячено питанню контролю стану ізоляції та струму витоку тролейбуса з метою підвищення достовірності контролю ізоляції тролейбуса та контролю струму витоку тролейбуса за рахунок вдосконалення методів і засобів визначення стану ізоляції основних електротехнічних вузлів та струму витоку. Удосконалено метод визначення омичного опору ізоляції, який дозволяє мінімізувати вплив ємнісної складової на вимірювання, застосування якого дозволяє підвищити точність вимірювання омичного опору ізоляції тролейбуса. Розроблено математичну модель ємнісного опору ізоляції тролейбуса, яка дозволяє визначати ємнісну складову опору ізоляції в реальному часі, не відмикаючи тролейбус з мережі живлення, що дозволяє підвищити достовірність контролю опору ізоляції тролейбуса. Виявлені закономірності зміни напруг живлення позитивного та негативного полюса відносно корпусу у перехідних режимах роботи електроприводу від ємнісного опору ізоляції, які покладені в основу розробки пристрою, що дозволило визначати ємнісну складову опору на маршруті, не відключаючи тролейбус від мережі живлення. Вдосконалено метод контролю струму витоку, який дозволяє локалізувати місце пошкодження ізоляції та виявити несправність ізоляції тягового двигуна

Ключові слова: тролейбус, струм витоку, ізоляція, система живлення, електропривод, мікроконтролер.

АННОТАЦИЯ

Курочка В. П. Методы и средства контроля состояния изоляции и тока утечки троллейбуса. — На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. — Винницкий

национальный технический университет, Винница, 2012.

Диссертация посвящена вопросу контроля состояния изоляции и тока утечки троллейбуса с целью повышения достоверности контроля изоляции троллейбуса и контроля тока утечки троллейбуса за счет совершенствования методов и средств определения состояния изоляции основных электротехнических узлов и тока утечки. Усовершенствован метод определения омического сопротивления изоляции, позволяющий минимизировать влияние емкостной составляющей на измерения, применение которого позволяет повысить точность измерения омического сопротивления изоляции троллейбуса. Установлена зависимость изменения напряжения на образцовой емкости от омического сопротивления изоляции, в цепь которого она включена, что положено в основу усовершенствования метода определения омического сопротивления, и это позволило минимизировать влияние емкостного сопротивления на измерение омического сопротивления изоляции троллейбуса. Разработан метод корректировки параметров изоляции, который корректирует значения сопротивлений изоляции троллейбуса и контактной сети на будущий период эксплуатации с учетом наихудших погодных условий и значение изоляции с учетом реальных погодных условий, что позволило повысить уровень электробезопасности и безотказной работы троллейбусов. Для оптимизации работы нечеткой модели осуществлена ее настройка с использованием аппарата генетических алгоритмов.

Предложена компьютерная модель устройства контроля тока утечки троллейбуса в среде Matlab Simulink, которая позволяет быстро провести исследование взаимовлияния изоляции системы питания и троллейбуса на ток утечки, исследовать работу системы в различных режимах и переходные процессы, возникающие при прикосновении человека к корпусу троллейбуса. Установлено, что при полностью исправной изоляции троллейбуса и поврежденной изоляции отрицательного полюса контактной сети, прикосновение человека приведет к появлению тока утечки с пиковым значением равным – 27 мА, а установившееся значение составит – 2,8 мА. Несмотря на то, что соответствующее значение тока не превышает предельно допустимого в 3мА, разрядный ток превышает его в 7,6 раз. Одновременное повреждение сопротивлений изоляции положительных полюсов троллейбуса и контактной сети в установившемся режиме не вызовет тока утечки троллейбуса больше предельного, однако разрядный ток будет больше допустимого в сотни раз. При одновременном повреждении сопротивлений изоляции негативных полюсов троллейбуса и контактной сети ток утечки носит аналогичный характер за исключением того, что ток будет нисходящим.

Для синтеза структурной схемы устройства контроля тока утечки троллейбуса использована методика на основе математического аппарата секвенций, согласно которой создан граф функционирования устройства и в результате минимизации секвенциальных выражений, используя свойства секвенций, получена минимизированная система, на основе которой синтезирована структурная схема устройства контроля тока утечки троллейбуса в контрольных точках. Усовершенствованный метод контроля тока утечки, который положен в основу разработки устройства, позволяет определить участок с поврежденной изоляцией и повысить достоверность контроля тока утечки троллейбуса.

На основе разработанных методов предложена структурная схема и алгоритм функционирования устройства определения активного и емкостного сопротивления изоляции троллейбуса, которое позволяет определять значения параметров изоляции не отключая троллейбус от сети.

Разработана структурная схема и алгоритм работы микропроцессорного средства контроля изоляции и тока утечки троллейбуса, которое позволяет определять и корректировать значения параметров изоляции не отключая троллейбус от сети, контролировать значение измеренного и определенного имитационного тока утечки, определять участок с поврежденной изоляцией электротехнического оборудования.

Разработанные подходы и математические модели прошли апробацию и внедрены в

Коммунальном предприятии “Винницкое трамвайно-тролейбусное управление” и в учебный процесс Винницкого национального технического университета.

Ключевые слова: троллейбус, ток утечки, изоляция, система питания, электропривод, микроконтроллер.

ABSTRACT

Kurochka V. P. Methods and means of monitoring the insulation and leakage current trolley. - On the manuscript

Thesis for obtaining the scientific degree of candidate of technical sciences on the specialty 05.09.03 – Electrotechnical Complexes and Systems. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2012.

The dissertation is devoted to the issue of monitoring the insulation and leakage current trolley in order to increase the reliability of insulation control trolley and trolley control leakage current due to improved methods and means of determination of the basic insulation of electrical components and leakage current. Improved method for determining the ohmic resistance of insulation, which minimizes the impact on the capacitive component measurement application which allows to increase the measurement accuracy of insulation resistance ohmic trolley. Mathematical model of capacitive insulation resistance of the trolley, which allows to determine the capacitive component of the insulation resistance in real time, not vidmykayuchy trolley from the network adapter that allows to increase the reliability of monitoring the insulation resistance of the trolley. The method of adjusting the parameters of isolation, which adjusts the value of insulation resistance of the trolley and contact network for the next period of operation, taking into account the worst weather conditions and the importance of isolation with regard to actual weather conditions, thus improving the level of electrical and uptime trolley. Improved method for monitoring leakage current, which allows you to locate the place insulation damage and identify the fault isolation traction engine

Keywords: trolley, leakage current, insulation, power system, electric drive, microcontroller.

Підписано до друку 22.08.2012 р. Формат 29.7×42 1/4
Наклад 100 прим. Зам. № 2012-060
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету.
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59