

8. <http://www.jennic.com>

В.Сидоренко, В.Малаховский

Основы построения пространственных интерфейсов ввода-вывода информации вычислительных систем

В статье освещены фундаментальные принципы построения, а также алгоритм работы разработанного интерфейса беспроводной передачи данных, формат кадров, структура сообщений. Представленный интерфейс в состоянии выполнять основные функции, которые закладываются в ходе его разработки - обмен информацией. Разработанный интерфейс при минимальных модификациях может быть использован как основная технология управления периферийными устройствами.

V.Sidorenko, V.Malakvovskiyi

Fundamentals of spatial interfaces of input-output computing

The article highlights the fundamental principles and the algorithm developed wireless data interface format, personnel, structure messages. Submitted interface is able to perform basic functions, which are laid in the course of its development - the exchange of information. Designed interface with minimal modifications can be used as the main technology of data exchanging between peripheral devices.

Одержано 03.02.12

УДК 621.315.175

О. А. Козловський, асист., О. І. Сіріков, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Автоматизована система технічної діагностики проводів повітряних ліній електропередачі 6-10 кВ

Запропоновано автоматизовану систему технічної діагностики повітряних ліній електропередачі розподільчих мереж 6-10 кВ з підвищеною точністю прогнозування ожеледоутворення. Розроблена система дозволяє на основі зробленого прогнозу завчасно збирати схеми для плавки ожеледі, а отже своєчасно проводити захисні заходи, з мінімальними витратами електроенергії.

обледеніння проводів, повітряна лінія електропередачі, система технічної діагностики повітряних ліній електропередачі

Вступ. Причини аварійних відключень повітряні лінії електропередачі (ПЛЕ) можливо розділити на дві складові: перша викликана зносом та старінням конструктивних елементів ліній, а друга – випадковими наднормативними навантаженнями: від ожеледей, поривів вітру і т.д. Для запобігання першим причинам при проектуванні ПЛЕ враховують коефіцієнт запасу міцності, другі – враховуються виходячи із заданого середнього періоду повторюваності найбільш несприятливих сполучень погодних умов для даної місцевості на основі карт кліматичного районування. При цьому згідно [1], з ростом класу напруги повітряних ліній електропередачі збільшується тривалість заданого середнього періоду повторюваності. Тому розподільчі мережі 6-10 кВ виявляються найбільш вразливими від дії екстремальних атмосферних навантажень. Проте тривалість наднормативних ожеледних навантажень складає 0,03-0,5% від повного терміну служби лінії. Якщо,

© О. А. Козловський, О. І. Сіріков, 2012

усунути ці навантаження протягом такого короткочасного періоду, то можливо забезпечити надійну роботу ПЛЕ при зниженні капітальних витрат на них.

Для захисту ПЛЕ від наднормативних ожеледно-вітрових навантажень найбільше розповсюдження отримала плавка ожеледі змінним або постійним струмом, що перевищує тривало допустимі значення і дозволяє швидко звільнити проводи та троси від ожеледно-паморозевих відкладень (ОПВ). Проте, успішність таких заходів значно залежить від своєчасності їх проведення, так як несвоєчасна плавка не запобігає руйнуванню ПЛЕ і призводить до значної перевитрати електричної енергії.

Постановка задачі. Для підвищення ефективності електричних методів усунення ожеледі розроблено значну кількість систем технічної діагностики проводів (СТДП) ПЛЕ при ожеледоутворенні. Однак, вони мають ряд суттєвих недоліків: відмінні параметри поверхні, геометричні розміри, матеріали первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) від проводів ПЛЕ; недосконалі алгоритми прогнозування часу можливої появи ожеледі на проводі; відсутність можливості підключення цих систем до системи вищого рівню – інформаційної системи контролю обледеніння проводів. Ці недоліки призводять до неточних прогнозів, а отже і до прийняття хибних рішень, щодо завчасного проведення того чи іншого заходу по захисту ПЛЕ від обледеніння.

Для усунення вказаних недоліків актуальним є удосконалення системи технічної діагностики проводів ПЛЕ 6–10 кВ.

Аналіз публікацій. Головним елементом СТДП проводів повітряних ліній електропередачі є пристрій прогнозування ожеледоутворення [2-7].

У пристроях [2-4] короткостроковий прогноз ожеледі базувався на таких метеопараметрах: температурі повітря на рівні підвісу проводів ПЛЕ t_a , відносній вологості повітря φ і швидкості вітру, що давало можливість визначити ожеледну ситуацію за 3-6 годин до початку процесу ожеледоутворення. Проведені дослідження показали, що з ймовірністю 0,85 діапазон контрольованих метеорологічних параметрів лежить у межах, [5]:

$$\begin{aligned} -6 \leq t_a \leq 0^\circ \text{C}; \\ 85 \leq \varphi \leq 100\%. \end{aligned} \quad (1)$$

Це дозволило вибрати уставки параметрів спрацювання пристрою.

Головним недоліком такого алгоритму прогнозування ожеледоутворення є низька достовірність, крім того, у заданому діапазоні метеопараметрів можуть утворюватися відкладення, що безпечні для ПЛЕ, наприклад, голкоподібна паморозь [6]. Визначення початку ожеледоутворення і подальший контроль виконувався первинним вимірювальним перетворювачем з відмінними від проводу геометричними і фізичними характеристиками.

У пристрої [7], алгоритм прогнозу часу початку утворення ожеледі залишився попереднім (1), лише були змінені принцип дії та конструкція вимірювального перетворювача ожеледі.

Більш досконалим є мікропроцесорний сигналізатор ожеледі [8]. Цей пристрій вимірює наступні параметри: температури повітря і проводу t_s , відносну вологість повітря. Сигналізатор видає три види повідомлень: "можлива ожеледь через 0,5...2,0 год"; "ожеледь"; "плавку закінчено". При попаданні температури і відносної вологості у діапазон (1) пристрій проводить розрахунок точки льоду t_f , яку порівнює з виміряною температурою t_s пристрою-аналогу проводу ПЛЕ [9]. Якщо умова

$$t_s \leq t_f, \quad (2)$$

виконується, то пристрій видає сигнал "ожеледь". Якщо ж умова (2) не виконується, то сигналізатор проводить розрахунок часу, через який вона виконається.

На території України найбільш потужними та небезпечними є фронтальні ожеледі, які можуть спостерігатися і при невеликих позитивних температурах повітря. Зазвичай, обледеніння починається при дефіциті точки роси до 3°C (на рівні 2 м від поверхні землі), значення ж відносної вологості повітря лежить у широких межах – 80...100%, при цьому температура повітря залишається сталою протягом кількох годин до моменту початку переохолодженого дощу. Стала температури нагріву/охолодження для найбільш розповсюджених проводів ПЛЕ 10 кВ АС-50 навіть при відсутньому дощу і швидкості вітру $v > 0$ знаходиться у межах 30...130 с, тобто провід увійде в термодинамічну рівновагу з навколишнім середовищем значно раніше, ніж почнеться його обледеніння. Тому, умова (2) у цьому випадку буде виконуватися із запізненням.

ПВП ожеледі цього пристрою, із-за своїх конструктивних особливостей, має теплопровідність відмінну від теплопровідності проводу ПЛЕ. В результаті момент утворення льоду на ньому і на реальному проводі будуть відрізнятися.

Мета статті. Метою публікації є висвітлення результатів розробки системи технічної діагностики проводів повітряних ліній електропередачі 6-10 кВ.

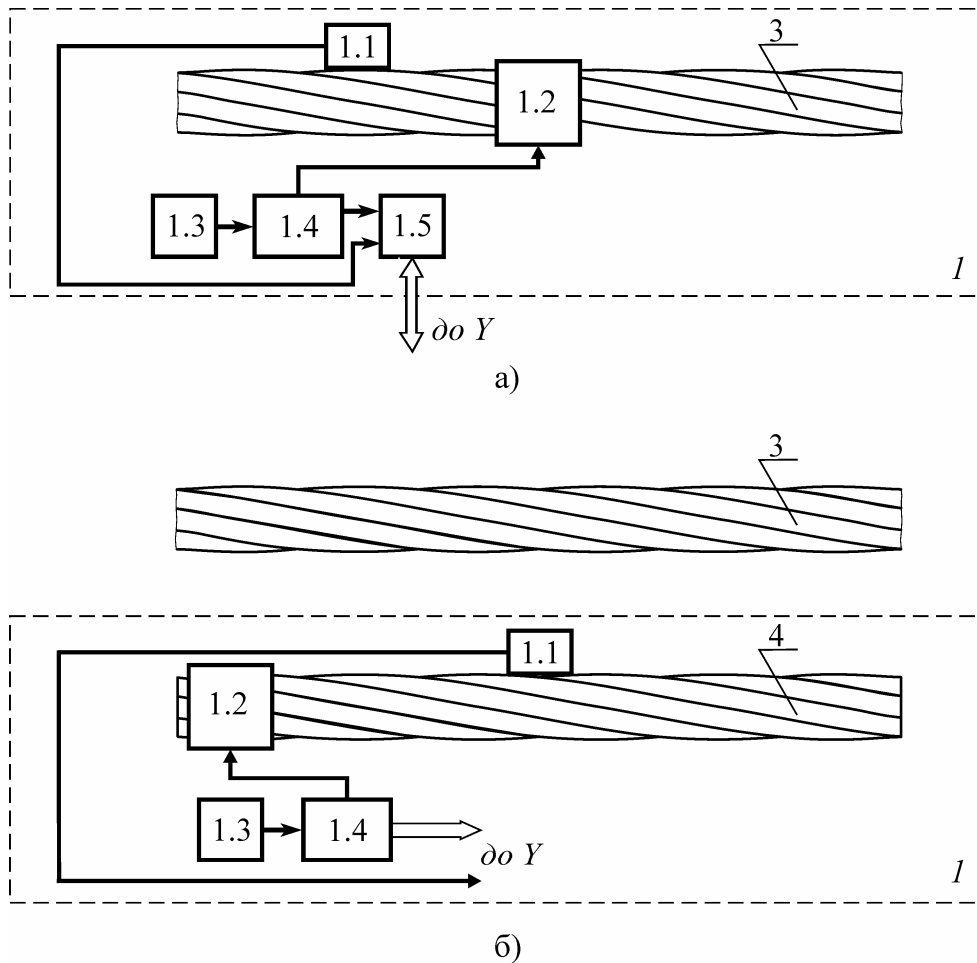
Основна частина. З урахуванням вимог та недоліків нами розроблено макетний зразок СТДП на основі алгоритму запропонованого в [10]. Для його технічної реалізації необхідне виконання двох головних вимог:

- 1) періодичне штучне охолодження контрольованої поверхні;
- 2) фіксація початку утворення на ній шару ОПВ.

Згідно цих вимог можливі наступні варіанти конструкції вимірювального перетворювача (рис. 1):

- з безпосереднім охолодженням проводу діючої ПЛЕ;
- з охолодженням первинного вимірювального перетворювача обледеніння у вигляді аналогу проводу ПЛЕ.

У першому випадку (рис. 1, а), безпосередньо на проводі ПЛЕ 3 встановлюється: вимірювальний блок 1, що містить первинний вимірювальний перетворювач ожеледі 1.1, холодильник 1.2, блок живлення 1.3, блок вимірювальних перетворювачів струму та напруги 1.4, блок кодування/декодування інформації 1.5. Зв'язок вимірювального блоку 1 з блоком обробки інформації, що встановлюється на електроопорі, здійснюється по каналу зв'язку 2.



- а) при безпосередньому охолодженні проводу діючої ПЛЕ;
 б) при охолодженні ВП у вигляді аналогу проводу ПЛЕ

Рисунок 1 – Варіанти реалізації структури ВП об'єднання

У другому випадку (рис. 1, б), проводиться охолодження відрізка проводу 4, тієї ж марки, що і провід контрольованої ПЛЕ 3, розміщеному на мінімально безпечній відстані від нього. При цьому, у вимірювальному блоці 1, відсутній блок кодування/декодування інформації та канал зв'язку, оскільки, датчики підключаються прямо до обчислювального блоку $У$ СДТП.

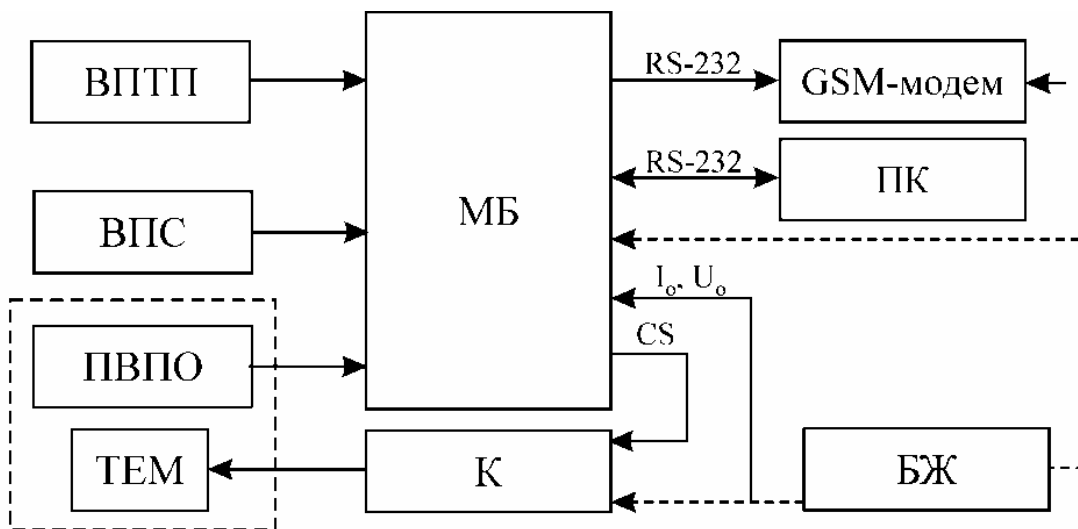
Безпосереднє охолодження проводу ПЛЕ пов'язане з рядом значних труднощів: підвищеною небезпекою обслуговування вимірювального блоку, що знаходиться під потенціалом ПЛЕ; підвищеною потужністю холодильника; необхідністю використання гальванічної розв'язки каналу зв'язку. Тому перший варіант технічної реалізації алгоритму прогнозування об'єднання проводів ПЛЕ розподільчої мережі неприйнятний.

Реалізація другого варіанту (рис. 1, б) не враховує тепло Джоуля, що виділяється у проводі ПЛЕ. Однак, це не є істотним недоліком, оскільки, по проводах повітряних ліній розподільчих мереж 6-10 кВ протікають струми, значно менші від проектних що не чинять істотного впливу на їх температуру [11].

Забезпечити необхідний тепловий режим ВП при мінімальних розмірах всієї підсистеми прогнозування об'єднання проводів ПЛЕ, на сьогодні, можливо лише за допомогою напівпровідникових електронних холодильників – термоелектричних модулів (ТЕМ), в основу роботи яких покладено ефект Пельтьє.

Для фіксації появи ОПВ на проводах ПЛЕ розроблено ПВП, основою якого є відрізок проводу контрольованої лінії. Одна із дротин відрізка проводу електрично ізолюється від інших, внаслідок чого за значенням електричного опору між утвореними електродами можливо судити про наявність ОПВ [12]. Таке технічне рішення дозволяє відмовитися від окремого первинного вимірювального перетворювача ОПВ (рис. 1, а).

Принцип дії пропонованої СДПІ (рис. 2) полягає у наступному. У режимі очікування проводиться вимірювання температури повітря t_a поблизу проводу ПЛЕ вимірювальним перетворювачем температури повітря (ВПТП). Якщо вона потрапляє у межі $-6 \leq t_a \leq +1$ °С то мікропроцесорний блок (МБ) вмикає на фіксований час τ_{y1} , через комутатор (К), термоелектричний модуль (ТЕМ) у режим охолодження. ТЕМ примусово охолоджує первинний вимірювальний перетворювач обледеніння (ПВПО) до тих пір, поки не зафіксує утворення на ньому штучних ожеледно-паморозевих відкладень. Внаслідок нелінійності робочих характеристик ТЕМ мікропроцесорний блок визначає еквівалентний час роботи τ_{fr} за кількістю спожитої електроенергії. Потім, ТЕМ переводиться у режим реверсу, до тих пір поки ПВПО не звільниться від штучного обледеніння. Далі у вимірюваннях τ_{fr} витримується 30 хв пауза і цикл вимірювання τ_{fr} повторюється. Якщо наступні значення τ_{fr} менші за попередні то по отриманому динамічному ряду, на основі лінійної моделі, виконується прогнозування часу можливого обледеніння ПВПО τ_0 , тобто виконання умови $\tau_{fr} = 0$ [10]. Коли отримане значення τ_0 стане менше 120 хв, МБ через GSM-модем передасть сигнал на GPS OPC-сервер енергопостачальної компанії.



ВПТП – вимірювальний перетворювач температури повітря;
 ВПС – вимірювальний перетворювач струму ПЛЕ;
 ПВПО – первинний вимірювальний перетворювач обледеніння;
 ТЕМ – термоелектричний модуль; К – комутатор;
 БЖ – блок живлення; МБ – мікропроцесорний блок

Рисунок 2 – Блок-схема СДПІ ПЛЕ

Електрична схема макету СДПІ представлена на рис. 3. Пристрій дозволяє проводити вимірювання таких параметрів: температури навколишнього повітря; індукції магнітного поля струму, що протікає по проводу ПЛЕ; опору резистивного первинного перетворювача ожеледі; напругу і струм у колі ТЕМ (рис. 3).

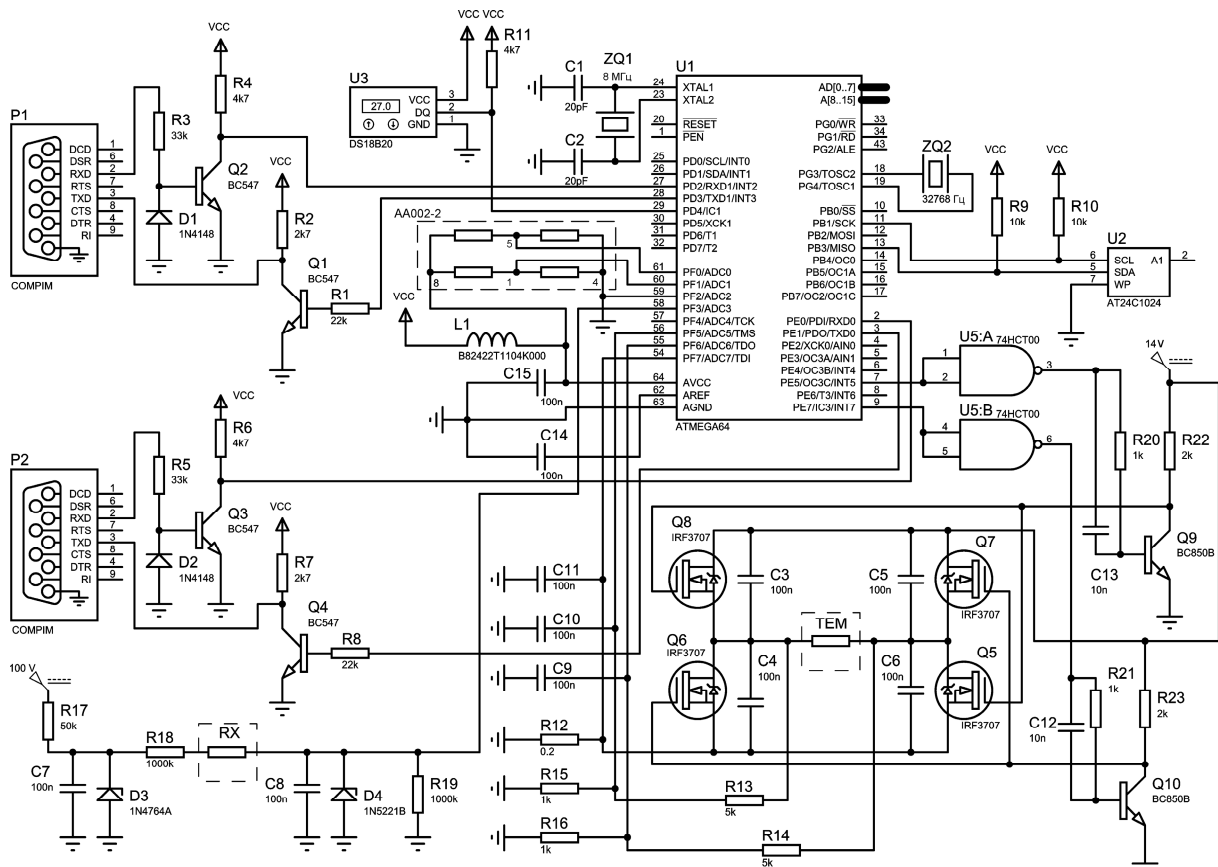


Рисунок 3 – Електрична схема СТДП ПЛЕ

Основним елементом макету пристрою є мікроконтролер (МК) Atmega64. Він має 7 восьмирозрядних універсальних двонаправлених портів вводу-виводу, крім них використані наступні периферійні вузли МК:

- АЦП 10 біт - перетворює у цифрову форму аналогові сигнали з первинних вимірювальних перетворювачів напруги і струму ТЕМ, резистивного ПВП ожеледі та вимірювального перетворювача (ВП) індукції;
- чергуючий таймер у випадку зависання МК забезпечує його перезапуск;
- модуль USART1 використано для обміну інформацією з комп'ютером (швидкість 9600 Бод, вісім інформаційних, один стоповий розряд, без контролю парності), яка включає в себе протоколи вимірювань контрольованих параметрів та конфігурацію порогових рівнів пристрою;
- модуль USART2 використовується для передачі даних до GSM-модему: час можливого об'єднання, коди помилок пристрою;
- таймер/лічильник TC1 виконує функцію годинника реального часу, частота якого задається кварцовим резонатором ZQ2;
- двонаправлений порт вводу/виводу PE використано для керування ТЕМ у прямому та риверсивному напрямках (нагрів/охолодження).

Після подачі живлення записана в МК програма ініціалізує його периферію, дозволяє необхідні переривання і встановлює початкові значення дати і часу. Із EEPROM МК зчитуються необхідні для подальшої роботи програми константи.

Тактова частота МК задається кварцовим резонатором ZQ1 на 8 МГц.

Вимірювання температур здійснюється цифровим ВП U3 DS18B20 з дискретністю 0,1°C. Абсолютна похибка вимірювання ВП температури у діапазоні -10 до +85°C за паспортом складає ±0,5°C. Однак, шляхом додаткового калібрування її

можливо зменшити до $0,1^{\circ}\text{C}$, тому у пристрої передбачено введення програмної корекції показів. Вимірювальний перетворювач підключається за трипровідною схемою і обмінюється інформацією з МК за протоколом 1-Wire.

Безконтактне вимірювання струму у проводі ПЛЕ реалізовано за допомогою аналогового GMR магніторезистивного мосту AA002-2 з чутливістю 3 мВ/Гс. Призначення даного датчика є визначення моменту початку плавки ожеледі за суттєвим збільшенням струму лінії.

Напруга, що вимірюється з резистивного датчика опадку подається до диференціального входу ADC3 АЦП МК та дозволяє використовувати підсилення сигналу, що вимірюється на 1x, 10x, 100x.

Струм у колі термоелектричного модуля (ТЕМ) вимірюється за допомогою резистивного шунта R12 з опором 0,2 Ом, падіння напруги з якого подається на вивід ADC7 АЦП МК.

Вимірювання напруги живлення ТЕМ, здійснюється подачею її через резистивний подільник R13, R15 і R14, R16 на входи ADC5, ADC6 АЦП МК.

Використання диференційного входу при вимірюванні напруги прикладеної до ТЕМ дозволяє відлаштуватися від падіння напруги на транзисторах Q5-Q8 мостового ключа ТЕМ.

Через встановлений час вводиться флаг збереження поточних результатів, що виконується у основному циклі. Результати записуються у організований у пам'яті мікросхеми AT24C1024 U2 кільцевий стек, адреси початку і кінця якого зберігаються у EEPROM МК. Цим забезпечується енергонезалежність зберігання накопиченої інформації.

Керування режимами роботи ТЕМ здійснюється за допомогою порту вводу/виводу Е МК, буферної мікросхеми 74НСТ00 U5 і транзисторів мостового ключа Q5-Q8. Керування режимами роботи ТЕМ здійснюється наступним чином. Сигнал високого рівня з порту Е (РЕ7) МК подається на входи 4, 5 буферної мікросхеми U5. Інвертований сигнал з виводу 6 U5 закриває транзисторний ключ Q10, що призводить до появи високого рівня на затворах транзисторів Q6 та Q7 мостового ключа та їх відпирання. У цьому випадку до ТЕМ прикладається пряма напруга, що призводить до охолодження ПВП ожеледі. При подачі високого рівня на виводі порту РЕ5 відбувається аналогічний процес, що призводить до відпирання транзисторів Q5 та Q8 та нагрівання ВП ожеледі. При низькому рівні на обох виводах РЕ7 і РЕ5 МК ТЕМ відключений від живлення.

Зв'язок СТДП з ІСКО здійснюється за допомогою GSM-модему, що підключається по інтерфейсу RS-232. Для діагностики пристрою за допомогою персонального комп'ютера, передбачено другий вихід RS-232.

Висновок. Запропонована удосконалена система технічної діагностики проводів ПЛЕ, за рахунок підвищення точності прогнозу, удосконалення конструкції первинного перетворювача обледеніння, дозволить своєчасно проводити плавки ожеледі у розподільчій мережі 6-10 кВ, а отже, запобігти перевитраті електроенергії на захисні заходи та підвищити надійність електропостачання споживачів.

Список літератури

1. Правила улаштування електроустановок. 2-ге вид., перероб. і доп. – Х.: видавництво «Форт», 2009. – 736 с.
2. А.с. №1115152 ССРСР, МКИ⁴, Н02G 7/16. Устройство обнаружения гололёда на воздушной линии электропередачи / И.М. Колмогорова, Б.И. Зубенко, Р.Ш. Сагутдинов. – Оpubл. 1984. Бюл. №35.
3. А.с. №1166211 ССРСР, МКИ⁴, Н02G 7/16. Устройство обнаружения гололёда на проводах воздушной линии электропередачи / Н.М. Зуль, Б.И. Зубенко - Оpubл. 1985. Бюл. №25

4. Колмогорова И.М., Цыбидоржиев М.Ц., Винаров А.З. Прогнозирование образования гололёда // Техника в сельском хозяйстве. – 1987. – №5. – С. 13–15
5. Будзко А.И., Колмогорова И.М. Сигнализация о начале и интенсивности образования ГОЛОЛЁДА на ВЛ // Энергетик. – 1979. – №2. – С. 19-21.
6. Литвинов И.В. Формирование и преобразование атмосферных осадков на подстилающей поверхности. Л.: Гидрометеиздат, 1987.-232 с
7. . А.с. №1418839 СССР, МКИ⁴ H02G 7/16. Устройство для обнаружения и контроля наличия гололёда на воздушных линиях электропередачи / Н.М. Черемисин, В.И. Козак, В.М. Зубко, П.Г. Бабенко, С.А. Сериков. – Оpubл 1988. Бюл. № 31.
8. Колмогорова И.М., М.Ц. Цыбикдоржиев, А.З. Винаров. Экспериментальные исследования для микропроцессорного сигнализатора гололеда // Эксплуатация устройств сельскохозяйственного электроснабжения. – МИИСП, 1988. – С. 39-42.
9. А.с. 1591118 СССР, МКИ5 H02G 7/16, F01K 1/16. Участок линии электропередачи с устройством определения температуры поверхности её проводов / Цыбикдоржиев М.Ц., Селивахин А.И., Орлович А.Е., Винаров А.З., Сагутдинов Р.Ш. – Оpubл. 1990. Бюл. 33
10. Пат. 53235 Україна, МПК⁷ H02G 7/16. Спосіб прогнозування обледеніння дротів повітряних ліній електропередач / Козловський О.А., Орлович А.Ю.; заявник і патентоутримувач Кіровоградський національний технічний університет – № 2002042886; заявл. 10.04.2002; опубл. 15.01.2003, Бюл. №1.
11. Воротницкий В.Э., Туркина О.В. Оценка погрешностей расчёта переменных потерь электроэнергии в ВЛ из-за неучёта метеоусловий // Электрические станции. – 2008. – №10. – С.42–49.
12. Пат. 49394 Україна, МПК⁸ H02G 7/16. Сигнализатор обледеніння дротів повітряних ліній електропередачі / О. А. Козловський, А. Ю. Орлович, І. С. Гришук; заявник і патентоутримувач Кіровоградський національний технічний університет – № u200911992; заявл. 23.11.2009; опубл. 26.04.2010, Бюл. №8.

А. Козловский, А. Сириков

Автоматизированная система технической диагностики проводов воздушных линий электропередачи 6-10 кВ.

Предложена автоматизированная система технической диагностики воздушных линий электропередачи распределённых сетей 6-10 кВ с повышенной точностью прогнозирования гололёдообразования. Разработанная система позволяет на основе сделанного прогноза заблаговременно собирать схемы плавки гололёда, а значит и своевременно проводить защитные мероприятия с минимальными затратами электроэнергии.

О. Kozlovskyi, O Sirikov

Automated system for technical diagnostics of overhead power transmission lines of 6-10 kV.

The article introduces an automated system for technical diagnostics of overhead power transmission lines of 6-10 kV distribution network with particularly accurate icing forecast. Based on the above mentioned forecast the developed system allows collecting de-icing schemes in advance and taking timely protective measures with minimum energy loss.

Одержано 04.03.12