

ПАНЧЕНКО С. В.д.т.н., професор, (ректор Українського державного університету залізничного транспорту)

БУНЧУКОВ О. А, (департамент автоматики та телекомунікацій Укрзалізниці)

СОТНИК В. О., к.т.н., доцент, кафедра АТ, (Український державний університет залізничного транспорту).

Аналіз проєктних рішень мікропроцесорної системи рейкових кіл

Використання мікропроцесорних систем у пристроях залізничної автоматики має ряд особливостей. Перш за все це необхідність забезпечення перевізного процесу. На сьогодні на залізничних магістралях іде масове впровадження цілого ряду мікропроцесорних систем і пристроїв для керування рухом поїздів. Однією з них є мікропроцесорна система рейкових кіл. Її функціонування на різних рівнях ієрархічної побудови та відповідність вимогам нормативних документів з проєктування, забезпечення безпеки руху розглянуто в цій статті. Також проведено аналіз наявних проєктних рішень, реалізованих у мікропроцесорній системі рейкових кіл.

Ключові слова: мікропроцесорна система рейкових кіл (МРК), системи залізничної автоматики та телемеханіки, функціональна безпечність, автоматизоване робоче місце, технічні та програмні засоби мікропроцесорних систем.

Abstract. *The use of microprocessor systems in railway automation devices has a number of features. First of all, this is related to the need to ensure the safety of the transportation process. At present, a number of microprocessor systems and devices for controlling the movement of trains are being widely implemented on railway lines. One of them is a microprocessor system of rail circles. Its functioning at different levels of the hierarchical structure and its compliance with the requirements of regulatory documents on design and ensuring traffic safety are discussed in this article. It also analyzes the existing design solutions that were implemented in the microprocessor system of rail circles.*

Keywords: *microprocessor system of rail wheels (MRK), systems of railway automation and telemechanics, functional safety, automated workplace, technical and software tools of microprocessor systems.*

Вступ

Підвищення безпеки та ефективності перевезень є основним пріоритетом у діяльності Департаменту автоматики та телекомунікацій (Департамент ЦШ) АТ «Укрзаліниця». Станції та перегони оснащуються вітчизняними сучасними мікропроцесорними системами залізничної автоматики та телекомунікацій (СЗАТ), які забезпечують ряд переваг перед системами попереднього покоління: підвищену функціональність, високу надійність, низьку вартість обслуговування та менший обсяг монтажних робіт [1]. На залізницях України в постійній і дослідній експлуатації знаходяться сотні різних систем і пристроїв залізничної автоматики.

Порядок взаємодії між замовником (АТ «Укрзаліниця») і розробниками та виробниками на всіх стадіях життєвого циклу СЗАТ (від розроблення до виведення з експлуатації) відповідає нормам і рекомендаціям, що діють у залізничній галузі [2]. Взаємодія сприяє забезпеченню високої надійності та безпеки функціонування пристроїв СЗАТ. Працівники Департаменту ЦШ забезпечують розробників нормативними документами, формують технічні вимоги (ТВ) на нові системи та пристрої, проводять експертизу документації, беруть участь в експлуатаційних, приймальних і кваліфікаційних випробуваннях. Відповідальним завданням Департаменту ЦШ є оцінювання відповідності нових виробів встановленим вимогам і прийняття рішень щодо введення цих виробів у дослідну експлуатацію.

АТ «Укрзалізниця» орієнтується на системи, які задовольняють ТВ та нормативну базу в залізничній галузі, мають відносно невисоку вартість, і ті, що забезпечують для експлуатаційного персоналу простоту і зручність обслуговування з мінімальними витратами.

Мета і завдання дослідження

Метою цієї статті є аналіз відповідності проєктних рішень рекомендаціям і вимогам документів [2-8] і оцінювання споживчих властивостей СЗАТ на прикладі вітчизняних мікропроцесорних тональних рейкових кіл (МРК) нового покоління, що вже експлуатуються на ряді об'єктів АТ «Укрзалізниця». Впровадження мікропроцесорної системи рейкових кіл (МРК) спрямоване на вирішення завдань удосконалення апаратури та розширення функціональних можливостей систем автоблокування та електричної централізації стрілок і сигналів.

Загальні відомості про МРК

Призначення МРК – контроль зайнятості/вільності ділянок колії на станціях і перегонах, контроль цілісності рейкових ліній, передавання кодових сигналів автоматичної локомотивної сигналізації (типу АЛСН) з колійних пристроїв на локомотив. Як колійні датчики використовуються тональні рейкові кола (ТРК). Структура МРК ієрархічна і складається з таких рівнів (рис. 1): верхній – людино-машинний і зв'язок із зовнішніми системами. Забезпечує надання оператору інформації про стан ділянок колій і можливість налаштування параметрів МРК, забезпечує зв'язок із зовнішніми системами; середній – логічний рівень контролю та управління. Реалізує алгоритми визначення вільності/зайнятості ділянок колії, алгоритми управління кодуванням АЛСН, алгоритми контролю параметрів рейкових кіл (контроль відповідності рівнів струмів і напруг заданим налаштуванням); нижній – об'єктовий. Забезпечує

ув'язку з елементами колійного обладнання рейкових кіл (трансформаторами, рейковими лініями).

На верхньому рівні виконуються такі функції:

- приймання від середнього рівня інформації про стан рейкових кіл;
- формування і подання експлуатаційному персоналу інформації про події і тривоги, які виникають;
- протоколювання дій оператора;
- передавання на середній рівень повідомлень з командами управління кодуванням рейкових кіл;
- передавання інформації на автоматизоване робоче місце електромеханіка (АРМ ШН) про стан технічних і програмних засобів МРК, виникнення порушень та аварійних ситуацій у їхній роботі;
- архівування всієї інформації про стан технічних і програмних засобів МРК, а також дії оператора;
- оперативна зміна параметрів конфігурації для рейкових кіл з переданням параметрів на середній рівень;
- обмін інформацією з зовнішніми системами через шлюз.

На середньому рівні виконуються такі функції:

- приймання повідомлень від модулів рейкових кіл, їхня обробка за принципом 2oo3d (мажорювання з діагностуванням у триканальній резервованій структурі);
- визначення стану колійного обладнання рейкових кіл з переданням на верхній рівень і зовнішні системи;
- приймання від верхнього рівня та обробка за принципом 2oo3d команд управління кодуванням;
- формування повідомлень із командами управління в об'єктовий рівень;
- самодіагностування технічних і програмних засобів;
- реконфігурування (2oo3d → 2oo2d) при відмові одного з каналів;
- перехід у захисний стан при відмові двох із трьох каналів;
- зміна параметрів рейкових кіл, що надходять із верхнього рівня.

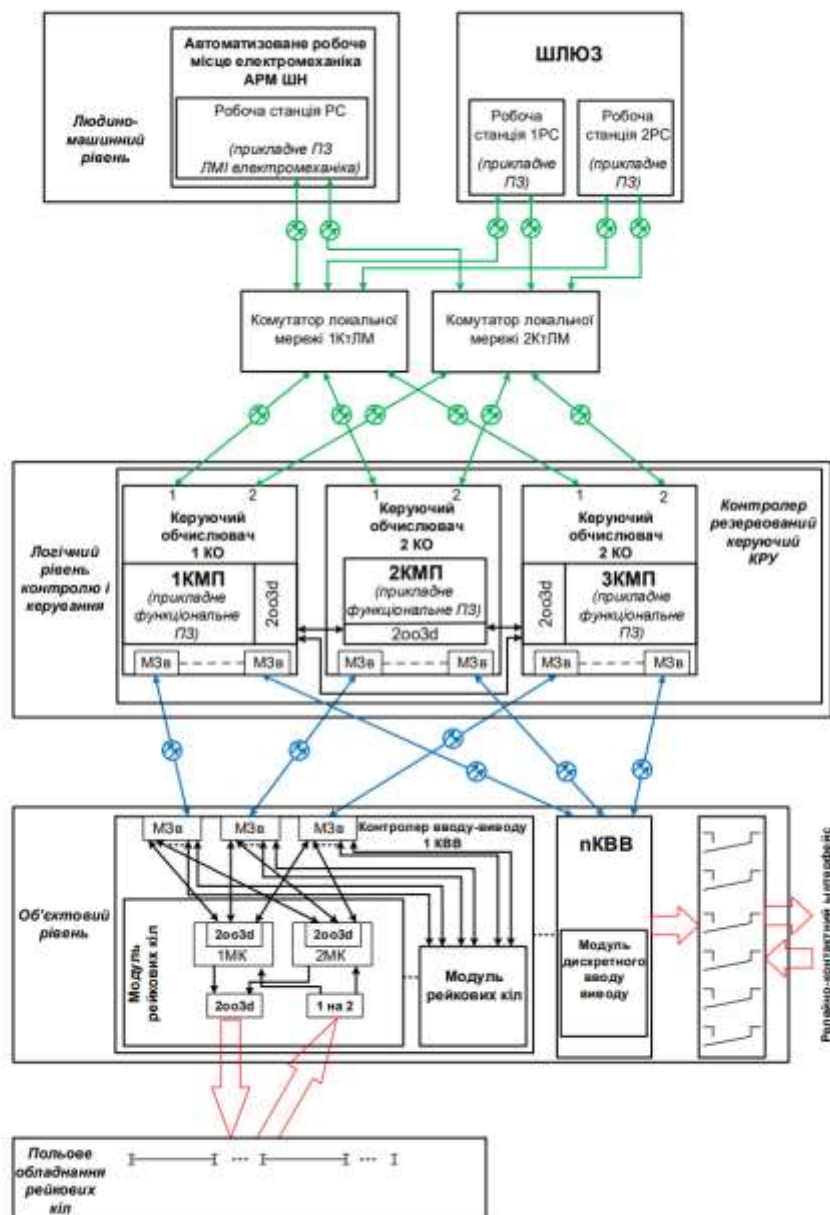


Рисунок 1 – Структура МРК

На нижньому рівні виконуються такі функції:

- приймання команд від середнього рівня з подвійним незалежним мажорунням (2*(2oo3d));
- формування живлення (сигналів тональної частоти) рейкових кіл, вимірювання рівнів струмів і напруг;
- формування кодів АЛСН за командами від середнього рівня;
- діагностування та передавання інформації про стан обладнання рейкових кіл на середній рівень;
- захист від зовнішніх електромагнітних впливів (викликаних атмосферними явищами, тяговими струмами частотою 50 Гц та ін.);
- самодіагностування технічних і програмних засобів, перехід у захисний стан при виявленні відмов у роботі.

Аналіз проєктних рішень, реалізованих у МРК

При розробленні та впровадженні нових пристроїв СЗАТ або модернізації наявних необхідно виконувати вимоги ТВ, ТЗ і документів [2-8], основними з яких є уніфікація технічних засобів і комплексний характер СЗАТ; скорочення польового обладнання на перегонах; широке застосування засобів діагностики та самотестування; відповідність четвертому рівню функційної безпеки (SIL4). *Уніфікація.* Застосування уніфікованих технічних рішень і засобів зменшує витрати на експлуатацію СЗАТ і до того ж скорочує термін виходу на ринок нового виробу, зменшує собівартість розроблення та виготовлення і відповідно ринкову вартість. Верхній рівень МРК (людина-машинний і зв'язок із зовнішніми системами) реалізований на базі

промислових комп'ютерів, що експлуатуються як АРМ-Ц ДСП, АРМ-Ц ШН СКД, шлюзів тощо на тих самих залізничних станціях у складі мікропроцесорної електричної централізації (МПЦ) і мікропроцесорного автоблокування (МAB), виробником яких є виробник МРК. Середній – логічний рівень контролю та управління – реалізований на базі контролера резервованого керуючого (КРУ) – безпечного центрального процесора з вбудованим базовим програмним забезпеченням (ПЗ) – компонента МПЦ (того самого виробника), оснащеного прикладним ПЗ, що виконує функції середнього рівня МРК. КРУ включає три незалежні керуючі обчислювачі (КО). Кожен КО складається з контролера мікропроцесорного КМп (microprocessor-based controller) і трьох модулів МЗв для зв'язку з нижнім рівнем. КО, резервуючи один одного, обробляють дані за принципом 2oo3d. Кожен із КМп виконує управління формуванням кодів АЛСН і контроль стану рейкових кіл, взаємодіє з модулями рейкових кіл, верхнім рівнем і суміжними КМп. Нижній – об'єктовий – рівень реалізований з урахуванням цифрових модулів ТРК: живлення рейкових кіл (МЖРК), контролю рейкових кіл (МКРК), дискретного введення-виведення, а також контролера введення-виведення (КВВ). КВВ є крейтом зі встановленими модулями, включаючи модулі зв'язку МЗв. МЖРК 6 призначений для формування сигналів ТРК і кодових сигналів АЛСН, контролю зайнятості РК рухомим складом і контролю цілісності РК. МКРК виконує контроль некодованих відгалужень рейкових кіл. МКРК приймає та обробляє сигнали з двома різними несучими частотами з суміжних рейкових ліній, станційних або перегінних з метою визначення їхнього стану: «вільні» або «зайняті». Модулі дискретного введення-виведення вводять 16 або 32 сигнали типу сухий контакт і формують напругу постійного струму на 16 виходах для управління реле, які застосовуються для реалізації релейно-контактного інтерфейсу з системами релейного типу. Конструкція та інтерфейси модулів нижнього рівня МРК ідентичні модулям об'єктового рівня МПЦ та МAB, що дає змогу інтегрувати МРК у ці системи. При цьому функції верхнього та середнього рівнів МРК реалізуються в аналогічних рівнях МПЦ і МAB, які оснащені відповідним програмним забезпеченням, а нижні (об'єктові) рівні доукомплектовані необхідними модулями ТРК. З урахуванням вищенаведеної інформації проєктні рішення щодо компонування верхнього, середнього та нижнього рівнів МРК є оптимальними та відповідають вимогам уніфікації технічних засобів і комплексному характеру СЗАТ.

Скорочення польового обладнання. МРК встановлюється на станціях і постах, містить пристрої нижнього рівня та фільтри. Польові пристрої розміщуються в безпосередній близькості від рейкової лінії в колійних ящиках, містять трансформатори, пристрої захисту від імпульсних перенапруг і струмів асиметрії (розрядники, вирівнювачі тощо), вимикачі та захисні резистори.

Отже, забезпечений мінімум польового обладнання, необхідного для функціонування МРК.

Застосування засобів діагностики. У МРК реалізовано безперервне діагностування обладнання рейкових кіл з видаванням інформації на відеомонітори верхнього рівня, діагностування технічних засобів і програмного забезпечення МРК, архівування подій/порушень. На логічному рівні виконується самодіагностування технічних і програмних засобів, передання діагностичної інформації від об'єктового рівня на верхній рівень. У каналах зв'язку виконується самодіагностування та контроль цілісності повідомлень. На об'єктовому рівні виконуються функції діагностики та контролю: діагностування стану обладнання рейкових кіл (виявлення несправностей чи відмов); передання інформації про стан обладнання рейкових кіл до логічного рівня; постійний контроль параметрів вхідних і вихідних сигналів; самодіагностування технічних і програмних засобів. Реалізовані в МРК процедури діагностування та самодіагностування підвищують показники технічного використання та готовності. За рахунок визначення виду і локалізації місця відмови скорочується час на його пошук та усунення. Завдяки прогнозу появи відмов з подальшим попереджувальним ремонтом скорочується інтенсивність відмов і підвищуються характеристики надійності та показники функційної безпечності МРК.

Відповідність четвертому рівню функційної безпечності. Цей рівень безпечності передбачає, що будь-яка поодинокі відмова елемента не має призводити до небезпечної відмови системи і має бути виявлена до того, як у системі може виникнути незалежна відмова іншого елемента (принцип «fail-safe», безпечна відмова). Функційну безпечність МРК безпосередньо визначає функціонування програмно-технічних засобів нижнього та середнього рівнів. До основних рішень, що забезпечили необхідні показники функційної безпечності МРК [4-6], належать реалізація модулів ТРК на мікроконтролерах з різною архітектурою та програмним забезпеченням, яке розроблено двома незалежними групами програмістів і виконує однакові функції; три канали (КМп) у КРУ з мажоритарною обробкою інформації між каналами за логікою «2oo3d» та контролем розбіжностей між інформацією в каналах; внутрішнє дублювання модулів ТРК, що мають по два диверсні канали, що працюють за схемою «2oo2d», які незалежно один від одного приймають команди та формують контрольно-діагностичну інформацію в три канали КРУ, обробляють інформацію та формують вихідні сигнали за логікою «2oo2d»; обробка та виконання команд управління від трьох каналів КРУ проводиться у модулях ТРК за мажоритарною логікою «2oo3d»; у разі порушення роботи в одному з каналів КРУ (наявність розбіжності даних з іншими каналами або порушення зв'язку) здійснюється логічне відключення цього каналу, і модуль ТРК продовжує обробку та виконання команд від двох справних каналів за логікою «2oo2d»; інформація, що приймається

кожним із трьох каналів КРУ від двох модулів ТРК, обробляється за логікою «2oo2d» і за результатами обробки приймається рішення про достовірність даних; загальна контрольно-діагностична інформація, яка приймається кожним із трьох каналів КРУ від двох модулів ТРК, обробляється за логікою «1oo2d»; контрольно-діагностична інформація, яка приймається АРМ-Ц ШН від трьох каналів КРУ, обробляється за логікою «2oo3d» і за результатами обробки приймається рішення про достовірність даних; перехід МРК у захисний стан при порушенні в роботі двох каналів КРУ; перехід модуля ТРК у захисний стан при порушенні в роботі КРУ і двох ліній зв'язку між КРУ та модулем ТРК. Розрахункові дані підтвердили відповідність рівня повноти безпеки МРК вимогам стандартів [4-6] (четвертий рівень згідно з ДСТУ 4178, SIL4 згідно з EN 50129).

Особливості розрахунку основних режимів мікропроцесорних тональних рейкових кіл ТРК-М

Метою розрахунків роботи ТРК-М є розроблення регулювальних таблиць, які містять допустимі значення параметрів рейкових кіл (РК) і параметрів сигналів АЛС, які мають бути забезпечені в умовах експлуатації.

До цих параметрів слід віднести довжину РК; мінімальний опір ізоляції рейкової лінії $R_{i \min}$ (Ом км); максимальну напругу на виході генератора $U_{\text{Гmax}}$ (В); максимальну потужність на виході генератора $S_{\text{Г}}$ (ВА); максимальну напругу на вході приймача $U_{\text{Пп}}$ (В). Наведені параметри РК розраховуються для всіх сигнальних частот при різних довжинах кабелю $L_{\text{К}}$ (М).

До параметрів АЛС належать напруга кодового сигналу $U_{\text{кт}}$ (В); потужність кодового сигналу $S_{\text{кт}}$ (ВА) при різних довжинах РК і кабелю з урахуванням дросель-трансформаторів та ізолюючих стиків.

Виконання розрахунків проводиться при найгірших умовах роботи РК: низький опір ізоляції рейкової лінії, застосування додаткових обмоток дросель-трансформаторів (ДТ), використання кабелю з підвищеним загасанням, підвищені довжини РК і кабелю. Рейкова лінія є колом з розподіленими параметрами. Особливістю цієї лінії є також наявність асиметричного витоку струму в землю та між рейками. Диференціальне рівняння рейкової лінії (РЛ) має вигляд лінійного рівняння з постійними коефіцієнтами, у якому аргументом є ордината лінії. Це рівняння дає можливість записати рішення через експоненціальні функції і привести їх до рівня передання чотириполюсника. Отже, можна зробити висновок, що розрахункова електрична схема заміщення ТРК-М – це послідовно включені в двопровідну лінію чотириполюсники з коефіцієнтами у вигляді A_i, B_i, C_i, D_i (рис. 2). Значення параметрів

чотириполюсника розраховується з Т(П)-подібних схем заміщення.

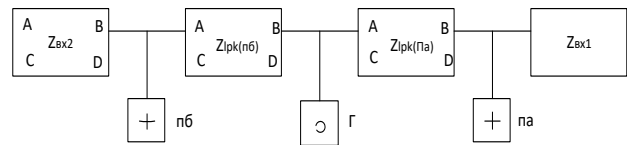


Рис. 2. Схема заміщення РК

Для рейкової лінії ці параметри знаходять шляхом розрахунку γ та $Z_{\text{в}}$ – постійної розповсюдження та хвильового опору. Постійна розповсюдження γ і хвильовий опір $Z_{\text{в}}$ залежать від опорів $Z_{1,2}$ і R_{i3} , а коефіцієнти чотириполюсників – від окремих приладів та елементів лінії (трансформатори, фільтри, R, L, C). Отже, схема заміщення станційного рейкового кола матиме вигляд рис. 3.

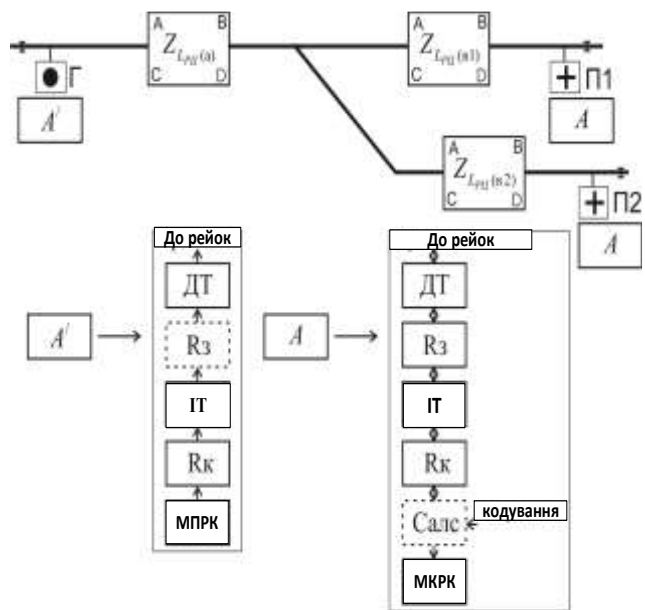


Рис. 3. Схема заміщення станційного РК

Схема заміщення перегінного РК матиме вигляд рис. 4.

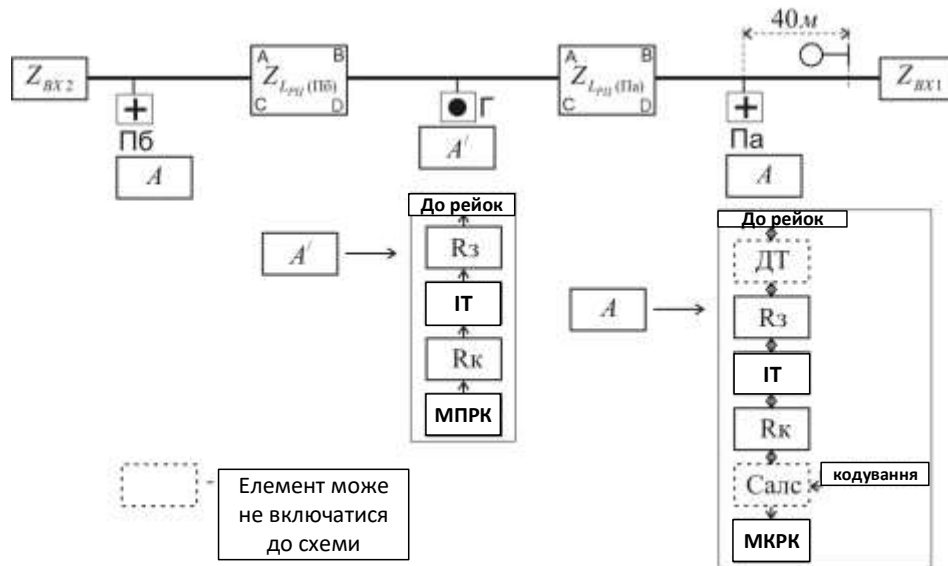


Рис. 4. Схема заміщення перегінного РК

Повна розрахункова схема заміщення РК матиме вигляд рис. 5.

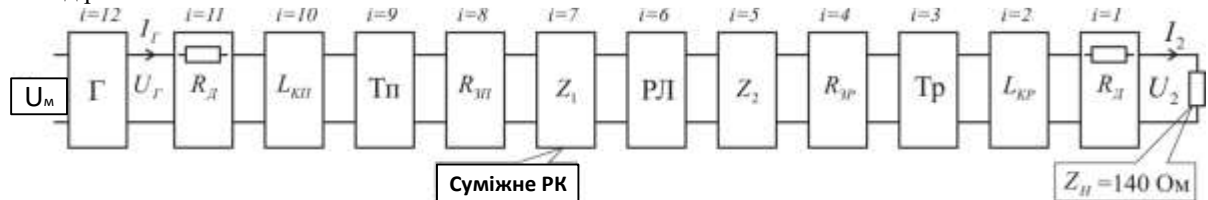


Рис. 5. Повна розрахункова схема заміщення РК

На вході ТРК-М встановлено генератор A^1 , на виході - приймачі А. Для розрахунків мають бути задані струм і напруга на вхідному резисторі 20 Ом: $I_{ВХ} = 3$ Ма, $U_{ВХ} = 60$ мВ.

На розрахунковій схемі рис. 5 наведена повна структурна схема заміщення ТРК-М для перегону. На ній зображені чотириполосники вузлів принципової схеми перегінного РК:

$i=1$ – каскад додаткового опору релейного кінця R_d з коефіцієнтами чотириполосника $A_1 = D_1 = 1, B_1 = R_d, C_1 = 0$;

$i=2$ – каскад з'єднувального кабелю рейкового кола РК з коефіцієнтами чотириполосника $A_2 = D_2 = \cosh(\gamma_K L_{KP}), B_2 = Z_{BK} \sinh(\gamma_K L_{KP}), C_2 = \frac{\sinh(\gamma_K L_{KP})}{Z_{BK}}$, де γ_K і Z_{BK} - вторинні параметри кабелю, L_{KP} - довжина кабелю;

$i=3$ – каскад трансформатора рейкового кола релейного кінця типу ПОБС-2А з коефіцієнтом трансформації $n = 38$. A_3, B_3, C_3, D_3 відповідають частоті F_C ;

$i=4$ – каскад захисного опору рейкового кола, $R_{ЗР} = 0,4$ Ом з коефіцієнтами чотириполосника ($A_4 = D_4 = 1, B_4 = R_{ЗР}, C_4 = 0$);

$i=5$ - Z_2 – каскад вхідного опору суміжного рейкового кола з релейного кінця; $Z_2 = \frac{0,4 \cosh(\gamma L_{CP}) + Z_B \sinh(\gamma L_{CP})}{0,4 \sinh(\gamma L_{CP}) / Z_B + \cosh(\gamma L_{CP})}$ 3

коефіцієнтами чотириполосника $A_5 = D_5 = 1, B_5 = 0, C_4 = 1/Z_2$;

$i=6$ – рейкова лінія ТРК-М з коефіцієнтами чотириполосника $A_6 = D_6 = \cosh(\gamma_{PK} L_{PK}), B_6 = Z_6 \sinh(\gamma_{PK} L_{PK}), C_6 = \sinh(\gamma_{PK} L_{PK}) / Z_6$;

$i=7$ – каскад вхідного опору суміжного рейкового кола Z_1 з живильного кінця, розраховується аналогічно $i=5$, тільки для суміжного рейкового кола;

$i=8$ – каскад захисного опору на живильному кінці РК;

$i=9$ – каскад трансформатора живильного кінця типу ПОБС-2А з коефіцієнтом трансформації $n=38$, коефіцієнти чотириполосника аналогічні $i=3$;

і=10 – каскад з'єднувального кабелю живильного кінця, коефіцієнти чотириполосника аналогічні і=2;

і=11 – каскад додаткового опору $R_d=100$ Ом при довжині кабелю $L_K \leq 2$ км і $R_d=0$ Ом при довжині кабелю $L_K \geq 2$ км;

і=12 – каскад генератора МПРК-1, який встановлюється за двонитковим планом станції або перегону.

Особливості розрахунку нормального режиму ТРК-М

Розрахунок нормального режиму ТРК-М полягає в отриманні напруги, струму та потужності генератора для рейкової лінії довжиною $L_{1,2}$ по обидва боки від ординати підключення генератора. Розрахунок виконується при мінімальному опорі ізоляції РЛ. Результатом розрахунків є параметри генератора: струм I_1 , напруга U_1 і потужність S_1 при

$$Z_{BX} = (0,4 \cdot \cosh(\gamma l_c) + z_B \cdot \sinh(\gamma l_c)) / \left(0,4 \cdot \frac{\sinh(\gamma l_c)}{z_B} + \cosh(\gamma l_c) \right)$$

де γl_c – аргумент гіперболічних функцій суміжних РЛ довжиною l_c .

Розрахунок електричних параметрів ТРК-М U_{Γ} , U_{III} проводять з урахуванням заданої зони шунтування 40 м шляхом розрахування мінімального опору ізоляції $R_{u \min}$, при якому струм у приймачі не зменшиться менше надійного знеструмлення колійного приймача. При цьому мінімальна напруга на вході колійного приймача досягне значень 0,75...1,0 В, тобто 1,05...2,5 $U_{III \min}^H$ від розрахункового 0,4 В, а максимальна напруга на колійному приймачі не має перевищувати 1,35...1,45 В.

Особливості розрахунку шунтового режиму ТРК-М

Схема заміщення РК для шунтового режиму відрізняється від схеми заміщення РК у нормальному режимі тільки наявністю поїзного шунта. При цьому необхідно задати несучу частоту, довжину РК, довжини суміжних РК з релейного та живильного кінців. У цьому режимі потрібно знайти максимально допустиму напругу генератора при $R_u = 50$

$Ом \cdot км$ і визначити коефіцієнт шунтової чутливості $K_{III} = \frac{U_{\Gamma \max}}{U_{\Gamma \min}} \geq 1$, де $U_{\Gamma \min}$ – розрахункова

напруга генератора при мінімальному опорі ізоляції нормального режиму та максимальній напрузі

мінімальній напрузі на вході приймача. Далі потрібно визначити вихідні параметри генератора МПРК (I_H , U_H , S_H) при максимальному опорі ізоляції $R_u = 50$ $Ом \cdot км$ (напруга і струм на виході схеми заміщення залишаються незмінними). Для визначення максимальної напруги на виході схеми заміщення необхідно розрахувати напругу генератора U_1 , яка при $R_{u \max}$ завжди буде меншою, ніж U_1 , при $R_{u \min}$, і

$$\text{коефіцієнт } K_{\Gamma} = \frac{U_{\Gamma(t_{u \min})}}{U_{\Gamma(t_{u \max})}}$$

Особливістю розрахунків нормального режиму для перегінних безстиківих РК ТРК-М є необхідність урахування вхідних опорів суміжних РК:

$$\left(0,4 \cdot \frac{\sinh(\gamma l_c)}{z_B} + \cosh(\gamma l_c) \right)$$

генератора при максимальному опорі ізоляції при шунтовому режимі.

При розрахунках шунтового режиму всі коефіцієнти схем живильного і релейного кінців зберігаємо такими, як і при нормальному режимі, РЛ заміщується опорами рейок та ізоляції $R_u = 50$ $Ом \cdot км$, вхідний опір суміжних РК дорівнює 999 Ом або 0,06 Ом залежно від ординати поїзного шунта.

Напругу генератора U_{Gu} визначаємо при $R_u = 50$ $Ом \cdot км$. Розрахунковий струм приймача $I_{Gu} = I_{III} \cdot K'_B = 0,00174$ А. Цей струм гарантує надійну фіксацію зайнятості РЛ. $K'_B = 0,6$ –

коефіцієнт звороту, який визначає необхідний ступінь зменшення струму приймача, щоб надійно зафіксувати зайнятість РК. При цьому необхідно перевіряти допустиме значення напруги при шунтуванні РК і на живильному, і на релейному кінцях, як розрахункове значення K_{III} беруть його менше значення. Розрахунки показують, що менше значення K_{III} на живильному кінці і вирівнювання цих величин здійснюють з урахуванням у розрахунках опору кабелю і захисних опорів. Вхідний опір апаратури по кінцях РК не має перевищувати 0,5 Ом. Допустимі значення джерела живлення на виході модуля МПРК у цьому режимі визначають шляхом послідовних розрахунків напруг і струмів на входах чотириполосників каскадної схеми заміщення. У цілому розрахунок шунтового режиму полягає в розв'язанні рівняння за схемою заміщення

значення K_{III} на живильному кінці і вирівнювання цих величин здійснюють з урахуванням у розрахунках опору кабелю і захисних опорів. Вхідний опір апаратури по кінцях РК не має перевищувати 0,5 Ом. Допустимі значення джерела живлення на виході модуля МПРК у цьому режимі визначають шляхом послідовних розрахунків напруг і струмів на входах чотириполосників каскадної схеми заміщення. У цілому розрахунок шунтового режиму полягає в розв'язанні рівняння за схемою заміщення

$$K_{III} = \frac{K'_{BH} \cdot Z_{no\ min}}{Z_{no\ max}}, \quad \text{де} \quad K'_{BH} = \frac{K_{BH}}{K_u} -$$

приведений коефіцієнт надійного звороту колійного приймача, $Z_{no\ max}$ і $Z_{no\ min}$ – опір передавання основної схеми заміщення в нормальному і шунтовому режимах.

Особливості розрахунку контрольного режиму ТРК-М

Схема заміщення РК для контрольного режиму аналогічна схемі для нормального режиму, але вона не містить вхідних опорів суміжних рейкових кіл через те, що їхній вплив враховується коефіцієнтами чотириполосника рейкової лінії. Контрольний режим визначається чутливістю РК до обриву рейкової лінії або елементів РК, яка визначається відношенням

$$K_K = I_{III\ O} / I_{III\ \Phi},$$

де $I_{III\ O}$ – струм відпускання якоря колійного приймача модуля МКРК;

$I_{III\ \Phi}$ – струм, який протікає через вхідний опір модуля при зламі рейки. Струм $I_{III\ O}$ відомий, він складає 1,8 мА, а струм $I_{III\ \Phi}$ розраховується рівнянням

$$I_{III\ \Phi} = \left| U_{\Gamma\ max} / (A_{\text{э}} \cdot Z_{BxIII} + B_{\text{э}}) \right|,$$

де $A_{\text{э}}, B_{\text{э}}$ – коефіцієнти чотириполосника, еквівалентні трьом чотириполосникам, з'єднаним послідовно (рейкового і двох апаратних по кінцях рейкового кола).

За контрольним режимом розраховується максимально допустима напруга генератора при критичному значенні опору ізоляції і критичному місці обриву рейкової лінії. Ці параметри розраховуються послідовно за виразами для коефіцієнтів чотириполосника для контрольного режиму з кроком розрахунків $R_{\Gamma} = 0,05$ Ом км при різних поєднаннях опору ізоляції та місця обриву РЛ. Розрахунки виконуються до тих пір, поки залежність

$U_{\Gamma}(r_u, L_{1,2} = \text{var})$ не набуде мінімального значення. При знайдених критичному опорі ізоляції та ординатах місця обриву розраховують коефіцієнти чотириполосника і відшукують допустиму величину напруги генератора для контрольного режиму.

Висновки

Аналіз комплекту документації та досвід експлуатації розглянутих у статті МРК показали, що вона відповідає вимогам чинної нормативної бази в залізничній галузі. Проектні рішення і технічні

засоби, розглянуті в цій статті, можуть забезпечити реалізацію різних виконань МРК, які відповідають усім вимогам документів [2-8], що підтверджено матеріалами різних видів випробувань і промисловою експлуатацією на залізничних об'єктах України. Застосування уніфікованих технічних рішень і засобів, розширена діагностика зменшують витрати на експлуатацію МРК, забезпечують простоту і зручність обслуговування з мінімальними витратами. Наявність вбудованих засобів діагностики дає змогу оперативно локалізувати місце пошкодження, скоротити час на їхній пошук та усунення, що в умовах експлуатації істотно знижує час перебою в русі поїздів. Виявлення передвідмовних станів дає змогу експлуатаційному штату своєчасно здійснювати попереджувальні ремонти і обслуговування, тим самим скорочуючи кількість можливих відмов. Наявність у МРК цифрового інтерфейсу для ув'язки з мікропроцесорними системами автоматики і релейного інтерфейсу забезпечує можливість роботи з релейними системами, дає змогу застосовувати МРК у складі різних систем практично без обмежень.

Список використаних джерел

1. Бунчуков О. А. Майбутнє починається сьогодні. URL: <https://mautic.appau.org.ua/asset/29:uzno27-2832-33pdf>.
2. Основные принципы определения необходимой надежности устройств СЦБ. ОСЖД. Варшава, 2010. URL: <https://osjd.org/api/media/resources/6384>.
3. Эксплуатационно-технические требования к системам интервального регулирования движения поездов на перегонах. ОСЖД. Варшава, 2016. URL: <https://osjd.org/api/media/resources/11925>.
4. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів. Системи керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. [Чинний від 2003-07-01.]. Вид. офіц. Київ, 2003. 35 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=99396
5. Розгонов А. П. Мікропроцесорна централізація стрілок та сигналів. Мікропроцесорні рейкові кола тональної частоти на станціях та перегонах при електротязі змінного струму: звіт з науково-дослідницької теми. № 421418.001 ТР- 001.
6. EN 50126-1:1999. Railway applications. The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). Basic requirements and generic process.
7. CLC/TR 50126-2:2007. Railway applications. The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). Guide to the application of EN 50126-1 for safety.
8. EN 50128-2001: Railway applications. Communications, signalling and processing systems. Software for railway control and protection systems.
9. EN 50129:2019. Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Safety related electronic systems for signalling.

**ANALYSIS OF DESIGN SOLUTIONS OF
MICROPROCESSOR SYSTEM OF RAIL
CIRCUITS**

Panchenko S. V., professor, Bunchukov O. A., Sotnyk V. O., associate professor

Відомості про авторів

Бунчуков О. А., департамент автоматичної та телекомунікацій Укрзалізниці.

Bunchukov O. A., Department of Automation and Telecommunications of Ukrzaliznytsia.

Панченко Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, ректор Українського державного університету залізничного транспорту, Харків, Україна.

E-mail: panchenko074@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-7626-9933>.

Panchenko Sergii, Doctor of sciences (engineering), Full Professor, Rector of Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: panchenko074@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-7626-9933>.

Сотник В. О., к.т.н., доцент, кафедра АТ, Український державний університет залізничного транспорту.

Sotnyk V. O., Ph.D. Associate Professor, Department of JSC, Ukrainian State University of Railway Transport.