

О. М. Сінчук, д-р. техн. наук, проф.; В. О. Чорна

НЕШТАТНІ РЕЖИМИ І СТРУКТУРА СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ВІД НИХ ПРИ ФУНКЦІОНУВАННІ ДВООСНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

Наведено результати досліджень позаштатних режимів роботи тягових електротехнічних комплексів постійного струму двоосних електровозів з використанням методу мереж Петрі. Запропонована структура каналу захисту електрообладнання електровоза від наднапруги, у випадку зникнення та відновлення напруги контактної мережі.

Вступ

Процес експлуатації тягових електротехнічних комплексів (ТЕТК) супроводжується несанкціонованим виникненням нештатних ситуацій, які особливо характерні для електричного обладнання рухомого складу, що працює в умовах підземних виробок. Аналіз надійності функціонування електровозів в умовах підземних підприємств свідчить про те, що до вузлів тягового рухомого складу (ТРС), які часто пошкоджуються, відносяться тягові двигуни, електричні апарати, механічне обладнання [1]. При цьому через низку чинників в останні роки простежується тенденція до збільшення інтенсивності відмов, що підкреслює необхідність превентивного відстеження нештатних ситуацій [2].

Як відомо, технічний рівень використання обладнання електровозів і надійність комплексу в цілому багато в чому залежать від засобів технічної діагностики [1]. Однак, розробці і впровадженню подібних систем передуює етап дослідження режимів роботи ТЕТК. Одним з найбільш придатних для досліджень режимів роботи тягових одиниць і подальшого аналізу отриманих результатів, на думку авторів, є метод мереж Петрі. Цей метод розширює причинно-наслідкові зв'язки замість тимчасових, що дозволяє досліджувати структурні особливості дії електротехнічних систем [2–3].

Мета роботи — дослідження за допомогою методу мереж Петрі нештатних ситуацій в тяговому електротехнічному комплексі двоосних електровозів у процесі їх функціонування.

Матеріал і результати дослідження

Аномальні режими роботи ТЕТК можуть бути спричиненні різними факторами, а саме замиканням електричного кола, розривом електричного кола, відмовою одного або декількох елементів і блоків тягового приводу, відхиленням параметрів від допустимих тощо. При цьому причини та фактори, що провокують подібні режими, пов'язані між собою і мають взаємний вплив [1].

Найнебезпечнішими для всього комплексу обладнання двоосних промислових електровозів є перенапруги, наднапруги в мережі живлення, різке зникнення і стрибкоподібне відновлення напруги. Зростання напруги в тяговому ланцюзі можливе з різних причин, до них відносяться багаторазові імпульси перенапруг в контактній мережі, часткове пошкодження фільтрового конденсатора, самовідключення одного з двох перетворювачів у тяговому ланцюзі через якісь причини тощо. Перехідний процес у цьому випадку пояснюють діаграми, показані на рис. 1.

Перевищення напруги ΔU_d в тяговому ланцюзі визначається зі співвідношення:

$$\Delta U_d^2 C_Z = I_d^2 L_Z; \quad \Delta U_d = I_d \sqrt{\frac{L_Z}{C_Z}} = I_d \rho_Z,$$

де $\rho_Z = \sqrt{\frac{L_Z}{C_Z}}$ — хвильовий опір фільтра.

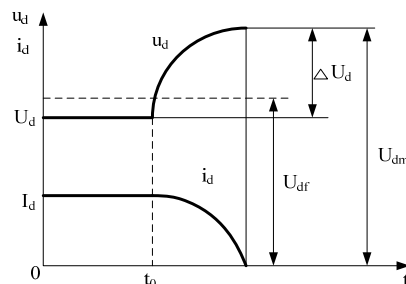


Рис. 1. Криві струму і напруги в аварійному режимі функціонування тягових електротехнічних комплексів двоосних електровозів

Для обмеження зростання напруги в тяговому ланцюзі передбачений IGB транзистор TD, який при $U_d = 1,2U_{d\max}$ підключає до фільтрового конденсатора CZ розрядний резистор RC. Схема заміщення приймає вигляд, показаний на рис. 2. Початкові умови, $t = 0$: $i_{d0} = I_d$, $U_{d0} = U_d = U_N$.

Коли зростання напруги в тяговому ланцюзі виникає внаслідок багаторазових імпульсів перенапруг в контактній мережі, то можлива робота електропривода з частими включеннями-відключеннями IGB транзистора TD для підтримки напруги в тяговому ланцюзі на нормальному рівні, але з обов'язковим контролем температури резистора RC, оскільки його потужність обмежена. У разі перегріву резистора RC схема має бути відключена від контактної мережі розмиканням вхідного автомата.

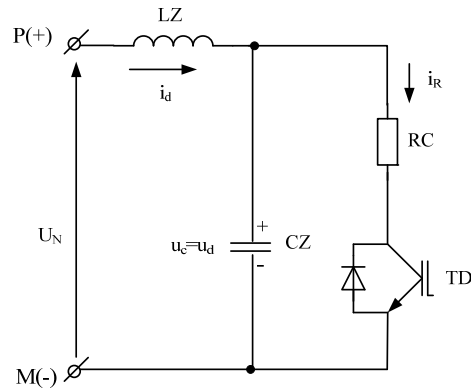


Рис. 2. Схема заміщення розряду фільтрового конденсатора тягових електротехнічних комплексів двоосних електровозів

Крім цього, вузол RC-TD забезпечує також безпеку обслуговуючого персоналу під час оперативного відключення електропривода. На відміну від перенапруг, наднапруга є неконтрольованим процесом і залежить від навантаження, може виникати у разі відключення від електроживлячої мережі споживачів, що призводить до різкого стрибка струму в працюючих споживачів. Однією з причин імпульсів наднапруги в контактній мережі є брязкіт контакту пантографа з контактним проводом. Для захисту від зазначеного явища служить обмежувач напруги, для контролю спрацьовування якого використовується датчик струму. По сигналу датчика в системі моніторингу обчислюється інтегральний показник і якщо він за потужністю перевищує допустиму величину, то відбувається відключення вхідного автомата.

Однак, він має обмежену кількість спрацьовувань, тому послідовно з ним має бути включений датчик типу струмового, який видаватиме в систему управління імпульс при кожному спрацьовуванні обмежувача. Система управління, в свою чергу, відраховуючи кількість імпульсів спрацьовувань, видає попереджувальний сигнал, коли їх число наближається до граничного і коли потрібна заміна обмежувача.

Мережа Петрі каналу захисту від надімпульсів у загальному вигляді показана на рис. 3.

Робота мережі відбувається таким чином. У разі виникнення аварійної ситуації місце P1 отримує фішку $n = 1$, спрацьовує перехід $t1$, місце P2 отримує фішку $n = 1$, в результаті чого спрацьовує перехід $t2$ і місце P2 отримує фішку $n = 1$. Таким чином, в систему управління тяговими двигунами видається сигнал на відключення вхідного автомата перетворювачів (табл. 1).

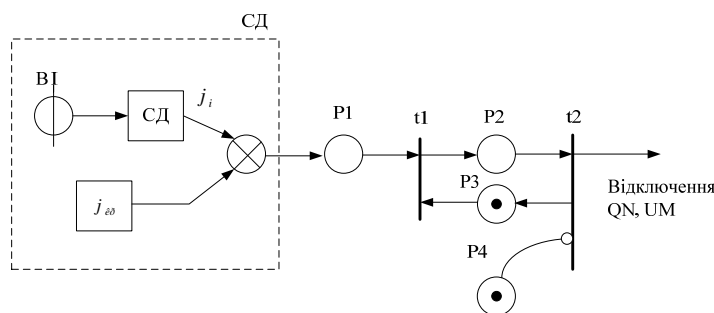


Рис. 3. Мережа Петрі каналу захисту тягових електротехнічних комплексів від наднапруги

Таблиця 1

Позначення по схемі рис. 3

Позиція	Умова — місце	Позиція	Подія — перехід
P1	При $j_i > j_{\text{доп}}$ $n = 1$	$t1$	Спрацьовує захист
P2	Аварійний режим	$t2$	Відключення QN, вхідного автомата
P3	Засувка		
P4	Оператор	—	—

Для утримання апаратів у відключеному стані режим «Аварія» зациклюється через Р3, мережа спрацьовує до упору і зупиняється. Вивід мережі із стопора проводиться оператором зняттям фішки $n = 1$ з Р4 і встановленою в Р4 фішки $n = 0$, що дає заборону на режим «Аварія».

Захист у разі зникнення і подальшого відновлення напруги контактної мережі поданий мережею Петрі на рис. 4 і табл. 2.

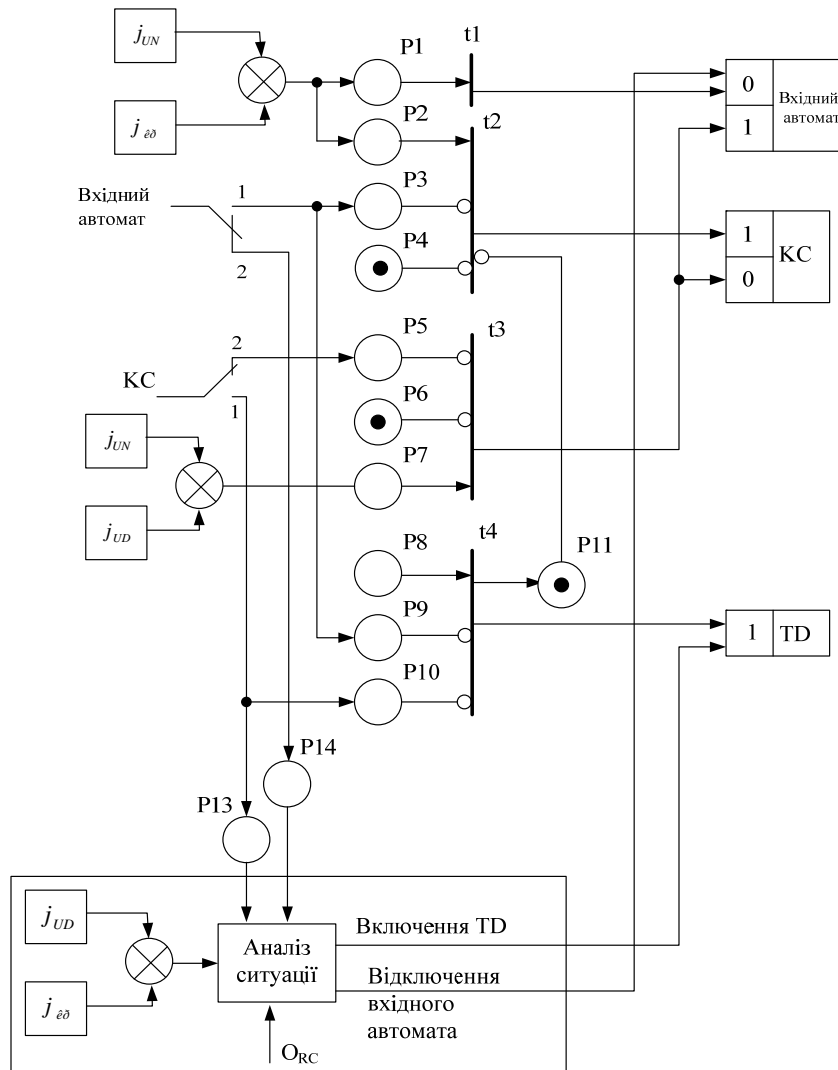


Рис. 4. Мережа Петрі захисту у разі зникнення і відновлення напруги контактної мережі

Запропонована схема працює так. У разі зниження напруги контактної мережі нижче критичного рівня в Р1 встановлюється фішка $n = 1$, спрацьовує перехід $t2$, відключається автомат (замикається блок-контакт 1) і відключаються перетворювачі тягових двигунів. У Р3 встановлюється фішка $n = 1$, таким чином перехід $t2$ підготовлений до спрацьовування, яке відбувається при відновленні напруги контактної мережі. При цьому в Р1 встановлюється $n = 0$, а в Р2 $n = 1$, завдяки чому відбувається включення контактора КС (замикається його блок-контакт 2). У Р5 встановлюється фішка $n = 1$, готуючи перехід $t3$ до спрацьовування. При цьому відбувається плавний заряд фільтрового конденсатора CZ і коли напруга на ньому досягне рівня напруги контактної мережі в Р7 встановиться фішка $n = 1$ і станеться спрацьовування переходу $t3$ на відключення контактора і включення вхідного автомата і перетворювачів.

У системі на рис. 4 передбачено також розряд конденсатора фільтра до нуля у разі відключення системи тягового електропривода для того, щоб уникнути ураження струмом обслуговуючого персоналу під час проведення профілактики. Для цього оператору досить натисненням кнопки (в Р8 вводиться фішка $n = 1$) забезпечити спрацьовування переходу $t4$, оскільки Р9 і Р10 вже мають фішки $n = 1$ (замкнуті блок-контакти 1). При цьому в Р11 встановлюється

$n = 0$, забороняючи спрацювання переходу Т2 на включення К1с. Спрацювання переходу Т4 спричиняє включення транзистора ТD і розрядження CZ через RC.

Таблиця 2

Позначення по схемі рис. 4

Позиція	Умова — місце	Позиція	Подія — перехід
P1	$n = 1$, якщо $j_{UN} < j_{кр}$	$t1$	відключення QN, перетворювачів
P2	$n = 1$, якщо $j_{UN} > j_{кр}$		
P3	$n = 1$, якщо відключений QN (замкн.1)	$t2$	включення КС
P4	оператор		
P5	$n = 1$, якщо включений К1С (замкн.2)	$t3$	відключення КС, включення QN, перетворювачів
P6	оператор		
P7	$n = 1$, якщо $j_{UD} \geq j_{UN} - \Delta$		
P8	оператор, $n = 1$, якщо натиснуті кнопки «розряд конденсатора»	$t4$	включення ТD для розряда конденсатора
P9	$n = 1$, якщо включений QN (замкн.1)		
P10	$n = 1$, якщо включений КС (замкн.1)	$t5$	включення ТD
P11	Блокування включення КС, $n = 0$ у разі спрацювання $t4$		
P12	$n = 1$, якщо $j_{UD} \geq j_{кр}$	$t6$	відключення QN
P13	$n = 1$, якщо включений К1С (замкн. 1)		
P14	$n = 1$, якщо включений QN (замкн. 2)		
P15	$n = 1$, якщо $j_{ORC} \geq j_{кр}$		

Висновки

Виконано аналіз можливих нештатних режимів роботи ТЕТК.

Досліджено найнебезпечніші аварійні ситуації, що виникають в процесі роботи тягових промислових двоосьових електровозів, за допомогою методу мереж Петрі.

Запропоновано мережі Петрі захисту обладнання ТЕТК від розглянутих аварійних ситуацій, що дозволять у подальшому розробити функціональну схему комплексної системи захисту устаткування промислових двовісних електровозів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Синчук И. О. Исследование аварийных и псевдоаварийных ситуаций в тяговых электроприводах переменного тока с помощью базовых сетей Петри / И. О. Синчук // Техническая электродинамика. — 2008. — Ч. 4. — С. 76—78.
2. Котов В. Е. Сети Петри / В. Е. Котов. — М. : «Наука», 1984. — 158 с.
3. Синчук О. Н. Сети Петри как аппарат для исследования аварийных режимов в тяговых электротехнических комплексах / О. Н. Синчук, В. О. Черная // Вісник Кременчуцького державного університету імені М. Остроградського. — Кременчук : КДУ, 2010. — Вип. 3/2010 (62), ч. 1. — С. 128—131.
4. Синчук О. Н. Системы управления рудничным электровозным транспортом / О. Н. Синчук, Т. М. Беридзе, Э. С. Гузов и др. — М. : Недра, 1993. — 225 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 14.10.11
Рекомендована до друку 2.01.12

Синчук Олег Миколайович — професор, **Чорна Вікторія Олегівна** — асистент.

Кафедра систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук