

О. А. ДАНИЛОВ (ДНУЗТ)

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. Лазаряна,  
вул. Лазаряна 2, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна, тел./факс (096) 2235983, ел. пошта: [fduch@ua.fm](mailto:fduch@ua.fm)

## СПРОЩЕНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАХИСТУ ПО ЗБІЛЬШЕННЮ СТРУМУ

### Вступ

Тягові навантаження електрифікованих залізниць постійного струму, на відміну від навантажень інших споживачів електроенергії, характеризуються особливими властивостями. Їх значення практично весь час змінюються, а зміни носять випадковий і, у більшості випадків, мають швидкозмінний характер. Аварійний режим також характеризується збільшенням струму. Протікання струму короткого замикання, навіть короткочасно, може привести до перепалу контактної мережі. Тягова мережа не має резерву, тому її захист повинний бути безвідмовним і швидкодіючим.

Основним пристроєм для захисту фідерів контактної мережі постійного струму електрифікованих залізниць є швидкодіючі вимикачі (ШВ), в яких реалізований максимальний імпульсний захист (МІЗ). Він реагує не тільки на величину струму, але й на швидкість його зміни. Крім того він автоматично адаптується під попередні значення струму, які протікали до аварії. Однак їхніх можливостей, пов'язаних з визначенням режимів роботи тягової мережі: аварійний або нормальний, недостатньо. Останнім часом все більше впроваджуються мікропроцесорні захисти. Для захисту від аварійних режимів фідерів контактної мережі постійного струму найбільше розповсюдження отримали мікропроцесорні комплекти ЦЗАФ-3,3 [1].

### Аналіз існуючих методів розрахунку

Мікропроцесорний комплект ЦЗАФ-3,3 включає в собі декілька автономних захистів. Захист по збільшенню струму виник, як спроба імітувати роботу МІЗ швидкодіючого вимикача. ШВ з індуктивним шунтом спрацьовує при різних кидках струму в залежності від попереднього навантаження. Чим більше навантаження, тим менший кидок струму викликає відключення ШВ. Для реалізації функції максимального імпульсного струмового захисту в мікропроцесорному захисті ЦЗАФ-3,3 використовується захист по збільшенню струму (ЗПТ). Далі всі скорочення захистів надаються такими, які використовуються в офіційній до-

кументації на ЦЗАФ-3,3 [1]. Для його налаштування необхідно визначити чотири значення:  $T_{и}$  – час вимірювання приросту струму;  $dI_{уст}$  – уставка по збільшенню струму;  $K_{а}$  – коефіцієнт адаптації;  $T_{в}$  – витримка часу на відключення.

Складність визначення цих параметрів полягає в тому, що  $dI_{уст}$  залежить від  $T_{и}$ , а  $K_{а}$  залежить від  $dI_{уст}$  і струмів в нормальному режимі. Існуючі методи для розрахунку цих параметрів, використовують деякі припущення і аналіз відомих навантажень. Але зазначається, що в разі хибних спрацьовувань, необхідно коригувати значення, або провести розрахунки з використанням імітаційного моделювання [2].

Для розуміння, як правильно налаштувати цей захист, необхідно скористуватися графіком спрацьовування з осями струму навантаження та кидків струму. Розробники цього захисту пропонують співвідношення струмів навантаження до кидків струму таке, як зображено на рис. 1 [3]. На цьому рисунку:  $I$  – вісь струмів;  $\Delta I$  – вісь збільшення струмів;  $I_{у}$  – струм уставки максимального струмового захисту (МТЗ);  $\Delta I_{у0}$  – уставка по збільшенню струму.

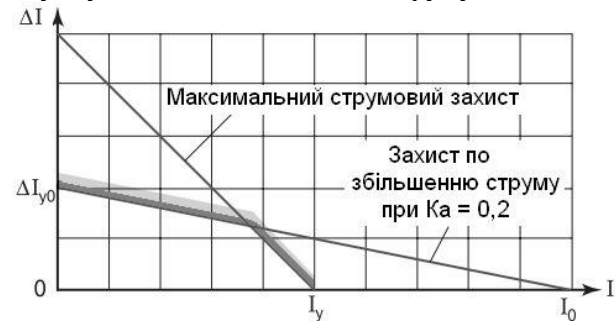


Рис. 1. Характеристика спрацьовування захисту по збільшенню струму

Область спрацьовування захисту позначена широкою смугою.

Як видно з рис. 2, збільшення струму залежить від сталого струму короткого замикання ( $I_{кз}$ ), постійної часу кола к.з. ( $T_{кз}$ ), часу вимірювання ( $T_{и}$ ), струму навантаження ( $I_{нав}$ ), який протікав до виникнення аварії. Ця залежність описується відомою формулою зміни струму [4]

$$i_k = I_H + (I_K - I_H)(1 - e^{-t/T_K}) = I_H + \Delta I(1 - e^{-t/T_K}) \quad (1)$$

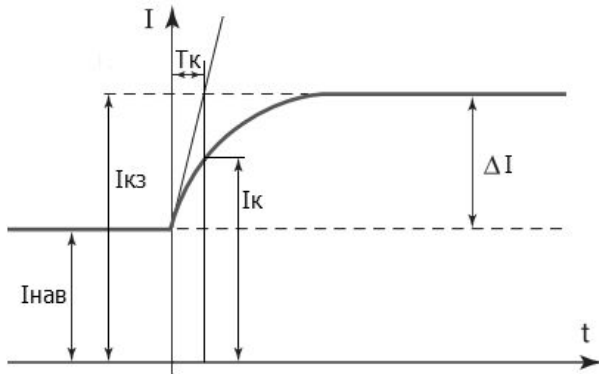


Рис. 2. Характер зміни струму к.з. в залежності від навантаження

Коефіцієнт  $K_a$  відображає зменшення кидків струму при збільшенні струму навантаження. Графічно він є кутом нахилу відрізка  $[\Delta I_{y0}; I_0]$  на рис. 1.

По інструкції вибору уставок [5] коефіцієнт  $K_a$  орієнтовно можна знайти по формулі:

$$K_a = (0,22 \div 0,26)(1,5 \div 2) \frac{\Delta I_{ЕРСмакс}}{0,8 \cdot I_{ЕРСмакс}} \quad (2)$$

де  $\Delta I_{ЕРСмакс}$  – максимальне значення збільшення струму електровоза, А;

$I_{ЕРСмакс}$  – максимальний пусковий струм, А.

Недоліком цієї формули є великий розбіг значення при виборі різних коефіцієнтів (більше 60%) і складність вибору струмів е.р.с. при наявності різних типів електровозів.

По інструкції розрахунку уставок [6] коефіцієнт  $K_a$  рекомендовано визначати по формулі:

$$K_a \leq \frac{(1-a)\Delta I_{y0}}{I_{H,max}} \quad (3)$$

де  $a$  – коефіцієнт від 0,7 до 0,8;

$$\Delta I_{y0} < \frac{I_{k,min}}{1,15} \quad (4)$$

де  $I_{k,min}$  – мінімальний струм к.з.

По цій формулі коефіцієнт  $K_a$  розраховується досить приблизно. Тому потім необхідно виконати перевірку по формулі, в якій є середній струм навантаження і максимальне збільшення струму при нормальному режимі. Як і теж можна підрахувати досить приблизно.

Струм при к.з. залежить від часу. Тому значення збільшення струму при аварії залежить від часу виміру. В обох інструкціях рекомендовано приймати час вимірювання  $T_i$  від 0,1 до

0,5 секунди в залежності від типу контактної мережі.

### Розрахунки та дослідження

Мікропроцесорний захист фідерів контактної мережі постійного струму ЦЗАФ-3,3 включає декілька захистів, які відстежують зміну струму. Всі вони програмуються окремо. Для розрахунку уставок максимального струмового захисту (МТЗ) необхідно розрахувати найбільший опір кола к.з. ( $R_k$ ), мінімальний струм к.з., струм уставки МТЗ ( $I_{устМТЗ}$ ). Для захисту, який реагує на швидкість зростання струму (ЗСНТ) необхідно розрахувати індуктивність кола к.з. ( $L_k$ ). Всі ці величини використовуються для розрахунку параметрів захисту ЗПТ. Тому розрахунок уставок захисту ЗПТ доцільно виконувати після розрахунку захистів МТЗ і ЗСНТ.

Для розрахунку  $K_a$  необхідно визначити збільшення струму для різних навантажень за деякий постійний проміжок часу  $T_i$ . Проаналізувавши багато осцилограм різних к.з., було прийняте рішення про доцільність приймати час вимірювання ( $T_i$ ) рівний постійній часу кола к.з. ( $T_k$ ). Це дозволяє спростити розрахунок:

$$(1 - e^{-t/T_k}) = (1 - e^{-T_i/T_k}) = (1 - e^{-1}) = 0,632 \quad (5)$$

Для розробки формул уставок використаємо графічне зображення на рис 3.

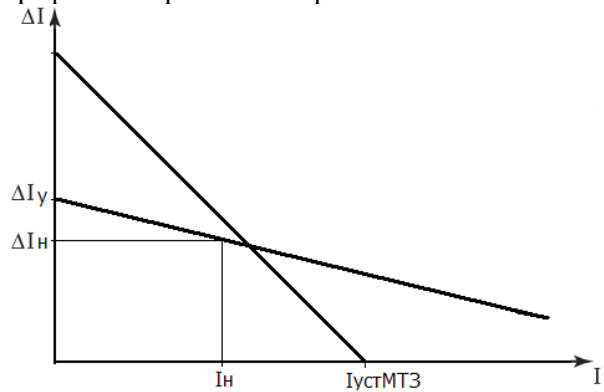


Рис. 3. Графік для визначення уставок ЗПТ

Коефіцієнт адаптації графічно відображає кут нахилу. Для прямої  $I_{устМТЗ}$   $K_a=1$ . Для прямої  $\Delta I_y$  коефіцієнт адаптації можна знайти по формулі:

$$K_a = (\Delta I_y - \Delta I_H) / R_k \quad (6)$$

де  $\Delta I_y$  – мінімальне збільшення струму к.з. при відсутності навантаження;

$\Delta I_H$  – мінімальне збільшення струму к.з. при навантаженні  $I_H$ ;

$I_H$  – середнє навантаження фідера.

Для розрахунку приймаємо, що  $T_{и}=T_{к}$ . Тоді отримаємо:

$$\Delta I_{y} = 0,632(0,95U_{xx} - U_{д}) / R_{к}, \quad (7)$$

де  $U_{xx}$  – напруга холостого ходу на шинах +3,3кВ, (В);

$U_{д}$  – падіння напруги в дузі (можна приймати 200 В), (В);

$R_{к}$  – опір кола к.з.

0,95–коефіцієнт, який враховує 5% зниження напруги в енергосистемі;

0,632 – частка збільшення струму за час  $t=T_{к}$ .

$$\Delta I_{y} = 0,632(0,95U_{xx} - I_{н} \cdot R_{п} - U_{д}) / R_{к}, \quad (8)$$

де  $I_{н}$  – середнє навантаження фідера;

$R_{п}$  – внутрішній опір підстанції.

Розрахунок по цим формулам дозволяє достатньо просто і, в той же час, точно визначити параметри захисту по збільшенню струму. Всі дані вже відомі з попередніх розрахунків при визначенні параметрів для максимального струмового захисту.

Постійна часу  $T_{к}$  залежить від відстані між підстанцією і точкою к.з. Зі збільшенням відстані  $T_{к}$  зменшується. Це пояснюється тим, що відношення індуктивності реактора до опору підстанції більше, ніж відношення індуктивності тягової мережі до її опору. Для розрахунку уставок релейного захисту завжди беруть найгірші ситуації. За менший час струм зросте на

менше значення. Крім того захист ЗПТ повинен захищати всю лінію без мертвих зон. Тому  $T_{к}$  необхідно розраховувати на всю довжину лінії, яку захищає захист. Для перевірки цього методу розрахунку використовувались експериментальні данні штучних к.з. двоколіїної дільниці з тяговою мережею М120+2МФ100+Р65.

Час вимірювання в пристрої ЦЗАФ-3,3 можна виставляти від 0 до 990 мс з інтервалом 10 мс. Інтервал 10 мс достатньо великий і може вносити похибки між розрахунками і реальною роботою захисту. В захисті МРЗС діапазон часу від 0 до 500 мс з інтервалом 1 мс, який забезпечує точне налаштування часу вимірювання згідно з розрахунками.

### Висновки

Мікропроцесорний захист по швидкості зростання струму імітує роботу швидкодіючого вимикача з індуктивним шунтом. Він мав бути одним з основних захистів фідерів контактної мережі постійного струму. Враховуючи складність і неоднозначність розрахунків уставок, на практиці він майже не використовується.

Приймаючи час вимірювання рівний постійній часу кола короткого замикання, можна значно спростити розрахунки без внесення додаткової похибки.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Устройство цифровых защит и автоматики фидеров ЦЗАФ-3,3. Руководство по эксплуатации 1СР.251.208-01РЭ. С-Петербург, Издательство НИИЭФА-ЭНЕРГО, 2005 г. – 74 с.
2. Кузнецов, С.М. Выбор уставок электронных защит с коррекцией на имитационной модели / С.М. Кузнецов, И.С. Демиденко, А.В. Гашкова [и др.], Транспорт: Наука, Техника, Управление // ВИНТИ.– 2011.–№12.– С. 22-24.
3. Гречишников, В.А. Сравнительный анализ существующих максимально-импульсных защит, реализуемых в блоках микропроцессорных защит БЗ-М1 или ЦЗАФ-3,3 / В.А. Гречишников., В.Н. Пупынин. Журнал «Электро», 2004 №3. – С. 11-14.
4. Фигурнов Е.П. Релейная защита: Учебник. В 2ч. Ч.2. 3-е изд. Перераб. И доп. [Текст] / Е.П. Фигурнов.-М.:ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 604 с.
5. Инструкция по выбору уставок защит терминала ЦЗАФ-3,3.(дополнение к части 1-ой «Руководящих материалов по релейной защите систем тягового электроснабжения», ЦЭ ОАО «РЖД», 2005 г)-М., 2009. – 51 с.
6. Инструкция о порядке расчета и выбора уставок защиты тяговой сети постоянного тока, 2012. – 96 с.

### REFERENCES

1. Ustroystvo tsifrovyyih zaschit i avtomatiki fiderov TsZAF-3,3. Rukovodstvo po ekspluatatsii [Device of digital defence and automats of фидеров of ЦЗАФ- 3,3. Guidance on exploitation] 1SR.251.208-01RE. S-Peterburg, Izdatelstvo NIIЕFA-ENERGO, 2005. 74 p.
2. Kuznetsov, S.M. Vyibor ustavok elektronnyih zaschit s korrektsiyey na imitatsionnoy modeli [Choice of setpoints of electronic protection with a correction on a simulation model], Transport: Nauka, Tehnika, Upravlenie // VINITI, 2011, no. 12, pp. 22-24.
3. Grechishnikov, V.A., Pupyinin V.N. Sravnitelnyiy analiz suschestvuyuschih maksimalno-impulsnyih zaschit, realizuemyih v blokah mikroprotsessornyih zaschit BZ-M1 ili TsZAF-3,3 [Comparative analysis of existing maximally-impulsive protection, realized in blocks microprocessor protections BZ-M1 or CZAF-3,3] «Elektro», 2004, no 3, pp. 11-14.
4. Figurnov E. P. Releynaya zaschita: Uchebnik. [Relay protection. Textbook] V 2ch. Ch.2. 3-e izd. Pere-rab. I dop. .-M.:GOU «Uchebno-metodicheskiy tse-ntр po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte» [Educational methodical center is by education on a railway transport], 2009. 604 p.
5. Instruksiya po vyiboru ustavok zaschit terminala TsZAF-3,3.(dopolnenie k chasti 1-oy «Rukovodyaschih materialov po releynoy zaschite sistem tyagovogo el-

Надійшла до друку 14.10.2014.

**Ключові слова:** тягова мережа, захист релейний мікропроцесорний, постійний струм, вимикач швидкодійний, струмовий захист.

ektrosnabzheniya» [Instruction on the choice of set-points of protection terminal of CZAF- 3,3.(adding to part of 1th "Leading materials on relay defence of the systems of hauling power supply"], TsE OAO «RZhD», 2005 g), Moscow, 2009, 51 p.

6. Instruktsiya o poryadke rascheta i vyibora ustavok zaschityi tyagovoy seti postoyannogo toka [Instruction about the order of calculation and choice of setpoints of defence of traction network of direct-current], 2012, 96 p.

Внутрішній рецензент *Сиченко В. Г.*

Зовнішній рецензент *Андрієнко П. Д.*

Захист контактної мережі постійного струму відіграє важливу роль в забезпеченні надійності роботи електропостачання залізниць. Нові мікропроцесорні захисти фідерів контактної мережі постійного струму включають в собі декілька незалежних захистів. Для налаштування захисту по збільшенню струму необхідно визначити параметри, які знаходяться в залежності між собою. Тому уставка для цього захисту може розраховуватися в декілька циклів підбором коефіцієнтів і все одно в процесі експлуатації потребує подальшого уточнення. Мета роботи полягає у визначенні необхідних параметрів для налаштування захисту по збільшенню струму простим на практиці розрахунком, але в той же час достатньо точним. В статті показано, що приймаючи час вимірювання зміни струму кратний постійній часу кола короткого замикання можна достатньо спростити розрахунки і визначити всі параметри для налаштування мікропроцесорного захисту.

**УДК 621.332:621.316.93**

**А. А. ДАНИЛОВ (ДНУЖТ)**

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, г. Днепропетровск, 49010, Украина, тел./факс (096) 2235983, эл. почта: [fduch@ua.fm](mailto:fduch@ua.fm)

## УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЗАЩИТЫ ПО ПРИРАЩЕНИЮ ТОКА

Защита контактной сети постоянного тока играет большую роль в обеспечении надежной работы электрооборудования железных дорог. Новые микропроцессорные защиты фидеров контактной сети постоянного тока включают в себя несколько независимых защит. Для настройки защиты по приращению тока необходимо определить параметры, которые находятся в зависимости между собой. Поэтому уставка для этой защиты может рассчитываться в несколько циклов подбором коэффициентов и все равно в процессе эксплуатации возникает необходимость дальнейшего уточнения. Цель работы заключается в определении необходимых параметров для настройки защиты по приращению тока простым на практике расчетом, но в тоже время достаточно точным. В статье показано, что принимая время измерения тока кратное постоянной времени цепи короткого замыкания можно упростить расчеты и определить все параметры для настройки микропроцессорной защиты.

**Ключевые слова:** тяговая сеть, защита релейная микропроцессорная, постоянный ток, выключатель быстродействующий, токовая защита.

Внутренний рецензент *Сыченко В. Г.*

Внешний рецензент *Андрієнко П. Д.*

**UDC 621.332:621.316.93**

**O. A. DANYLOV (DNURT)**

Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician Lazaryan, 2 Lazaryan Street, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. (0562) 471674, e-mail: [fduch@ua.fm](mailto:fduch@ua.fm)

## SIMPLIFIED METHOD OF CALCULATION OF PARAMETERS OF MICROPROCESSOR DEFENCE ON INCREASE OF CURRENT

Defense of contact network of direct-current plays a large role providing of reliable work of power supply of railways. New microprocessor defense of feeders of contact network of direct-current plug in itself a few independent defense. For tuning of defense on the increase of current not walked around to define parameters which are independence between itself. Therefore a setpoint for this defense can reach in a few cycles by the selection of coefficients and however in the process of exploitation there is a necessity of further clarification.

The purpose of work consists in determination of necessary parameters for tuning of defense on the increase of current by a simple in practice calculation, but in also time suffices exact. It is routine in the article, that accepting time of measuring of current multiple permanent time of chain of short circuit it is possible to simplify calculations and define all of parameters for tuning of microprocessor defense.

**Keywords:** traction network, relay defence, microprocessor, direct current, fast-acting switch, current protection.

Internal reviewer *Sichenko V. G.*

External reviewer *Andrienko P. D.*