

УДК 621.331.3

А. БЯЛОНЬ, Ю. ФУРМАН (ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА, ВАРШАВА, СИЛЕЗСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ, КАТОВИЦЕ)

Институт железнодорожного транспорта, 04-275 Варшава, Польша, ул. Хлопицкого 50, тел.: +48 22 4731453, факс: +48 22 4731036, эл. почта: abialon@ikolej.pl

Силезский политехнический институт, Кафедра транспорта, Сектор автоматики на транспорте, 40-019 Катовице, Польша, ул. Красинского 8, тел.: +48326034136, эл. почта: andrzej.bialon@polsl.pl

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ВАРИСТОРНЫМИ ОГРАНИЧИТЕЛЯМИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ 3 КВ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Введение

Постоянное развитие сложных систем управления, которые в большой степени состоят из электронных устройств, ясно обуславливает необходимость обеспечения надежной защиты контактной сети от перенапряжений и, тем самым, ограничений уровней перенапряжений в устройствах СЦБ. Прежде всего, это связано с необходимостью ограничения перенапряжений на более низком, чем до сих пор, уровне. В связи с чем, по заказу Польских Железнодорожных Линий (АО ПКП ПЛК), в Институте железнодорожного транспорта выполнялись работы по созданию прототипа системы защиты контактной сети с применением варисторных ограничителей перенапряжений (ОПН). Для проектирования и внедрения в эксплуатацию данной системы велись трудоемкие испытания, как натурные, так и лабораторные. При этом необходимым являлось рассмотрение явления гашения перенапряжений контактной сетью в функции расстояния от источника удара. Возможно, это целесообразнее было бы выполнить в реальных условиях, но для экономии времени и финансов, были проведены лабораторные испытания на разработанной для данной цели лабораторной модели. Модель должна в максимальной степени отражать реальные условия, т.е. выполнять требования по распро-

странению перенапряжений в эксплуатируемой контактной сети.

1. Характеристика модели участка контактной сети

В фазе проектирования модели принято, что она должна соответствовать четырем основным критериям:

- а) состоять из элементов со сосредоточенными параметрами, которые будут соответствовать участкам контактной сети длиной в один километр;
- б) параметры составляющих элементов модели обязательно соответствуют единичным параметрам (L, R, C) 1 км контактной сети,
- в) размещение индуктивных и емкостных элементов модели по отношению друг к другу не должно вызывать индуктивной и емкостной связи,
- г) примененные элементы должны соответствовать необходимым уровням изоляции для взаимодействия с генератором импульсного напряжения с максимальной амплитудой 7 кВ.

Разработанная лабораторная модель восьмикилометрового участка контактной сети состоит из 8 индуктивных элементов и 8 поперечных емкостей (рис. 1). Следует подчеркнуть, что выбранная длина участка и значения электрических параметров отвечали погонным параметрам типовой контактной сети, применяемой на опытном кольце Института железнодорожного транспорта в г. Жмигруд.

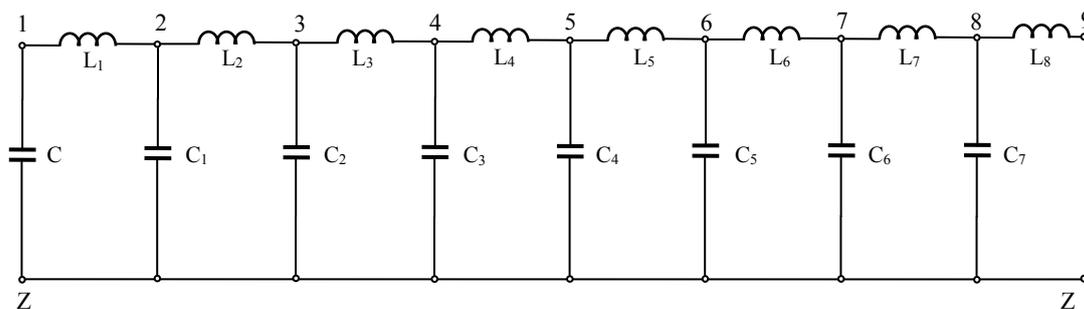


Рис. 1. Электрическая система модели 8 км участка контактной сети

© Бялонь А., Фурман Ю., 2013

Индуктивный элемент, соответствующий 1 км контактной сети, изготовлен в виде катушки с ферритовым разомкнутым сердечником с большой магнитной проницаемостью. Катушка намотана медной проволокой с изоляцией 2 мм. Индуктивность намотанной катушки составляла около $465 \pm 10 \mu\text{H}$ и сопротивление $0,035 \Omega$. Конденсатор, представляющий погонную емкость, изготовлен из двух металлических плиток, разделенных диэлектриком. Емкость таким образом построенного конденсатора, составляла около $10,5 \text{ nF}$ и могла регулироваться.

2. Методика испытаний

Для испытаний использовался генератор, генерирующий импульсы формой $1,2/50\mu\text{s}$ и $10/700\mu\text{s}$ с максимальной амплитудой генерируемого ударного импульса 6,9 кВ. Принятый тестовый импульс $1,2/50\mu\text{s}$ характерен для пе-

ренапряжений, создаваемых в электрической цепи от магнитного поля, вызванного как ударом молнии, так и коммутационными перенапряжениями. Этот импульс широко применяется для исследования устойчивости электрических и электронных устройств. Реальное время воздействия удара молнии в контактную сеть или перенапряжений от волновых процессов может быть значительно большим. Поэтому проводились также испытания для импульса $10/700\mu\text{s}$.

Для определения оптимального расстояния между ОПН в контактной сети, проводились измерения распространения ударного импульса на модели участка контактной сети с нагрузкой варистором. Как приведено на рис. 2, генератор импульсного напряжения (G) присоединен ко входу модели, а ОПН в конце модели.

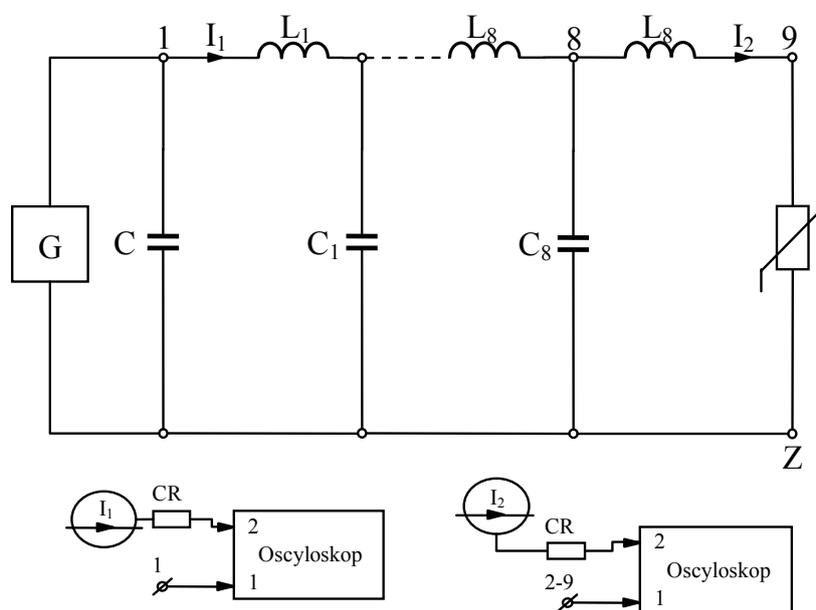


Рис. 2. Схема измерительной системы при нанесении ударных импульсов для модели с нагрузкой варисторного ограничителя перенапряжений

Испытание заключалось в измерениях и регистрации амплитуд ударных импульсов в пунктах $1_Z \div 9_Z$ модели участка контактной сети. Форма амплитуд импульсов напряжения регистрировались с помощью безиндуктивного распределителя напряжения, а форма тока регистрировалась при помощи катушки Роговского.

В дальнейшем, для подробных испытаний зоны взаимодействия между ОПН, следовали измерения для различных конфигураций, в которых изменяется расстояние между варисторами и место введения ударных импульсов. В связи с этим были приняты два случая нанесения ударов относительно положения варисторов в разработанной модели:

а) удар посередине между варисторами при переменном расстоянии размещения варисторов, т.е. 2, 4 и 6 км;

б) удар у входа модели, в которой один из варисторов находится в конце модели при расстоянии между варисторами 4 км.

Для первого варианта нанесения удара в измерительной системе, представленной на рис. 3, генератор импульсного напряжения присоединен в пункте 5_Z , а на конечных зажимах модели нет нагрузки. Испытание заключалось в измерении и регистрации амплитуд ударных импульсов в пунктах $1_Z \div 9_Z$ для случая взаимного размещения варисторов в точках 2, 4 и 6 км.

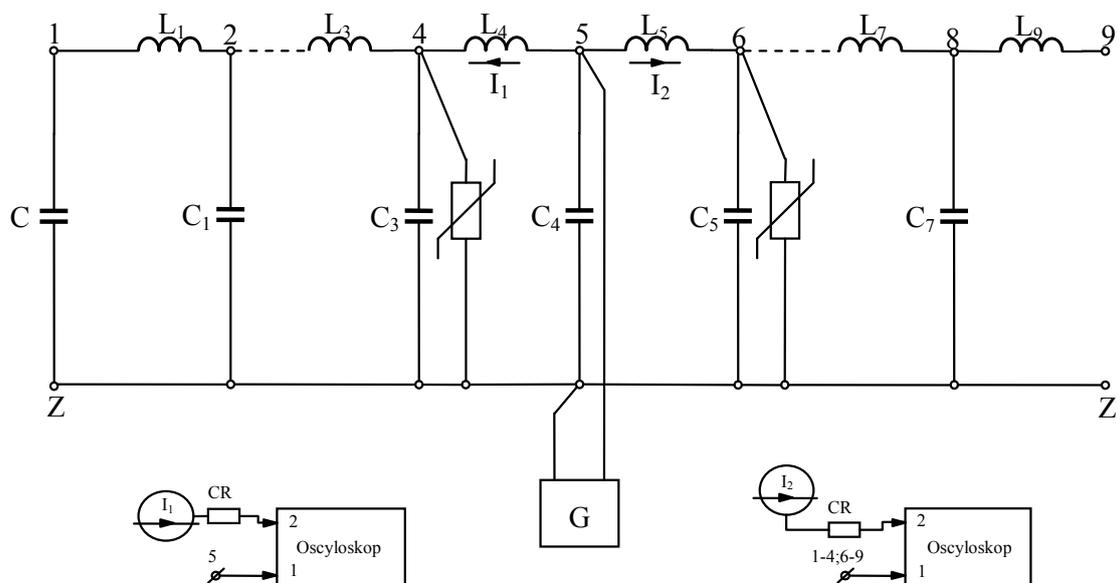


Рис. 3. Схема измерительной системы при нанесении ударных импульсов для модели с нагрузкой варисторного ограничителя перенапряжений

Во втором варианте импульс вводился у входа модели (пункт 1_Z). Как представлено на рис. 4, ОПН находятся в пункте 5_Z и в конце модели (пункт 9_Z), поэтому расстояние между ними составляло 4 км. Аналогично первому

варианту, испытание заключалось в измерении и регистрации амплитуд ударных импульсов в пунктах 1_Z по 9_Z с использованием раньше упомянутых устройств.

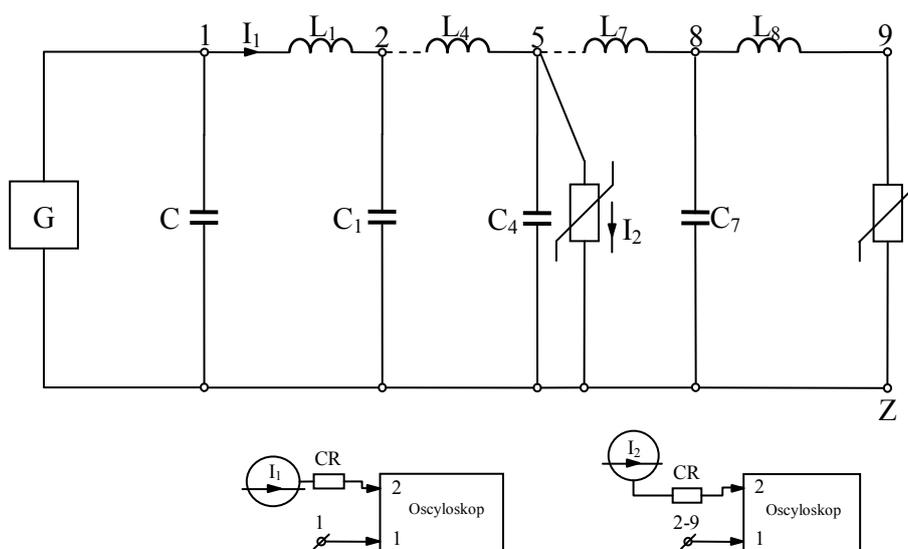


Рис. 4. Схема измерительной системы при введении ударных импульсов для второго варианта

Примененные для испытаний ОПН имеют следующие параметры:

- а) номинальный разрядный ток $8/20 \mu\text{s} - 10 \text{ kA}$;
- б) максимальный разрядный ток $8/20 \mu\text{s} - 40 \text{ kA}$;
- в) напряжение постоянной работы 440 V ;
- г) защитный уровень напряжения при 10 kA ($8/20 \mu\text{s}$) – 1460 V .

При выборе варисторов основной функцией являлась возможность обеспечения их полной проводимости при максимальной амплитуде импульсов, создаваемых примененным генератором.

3. Результаты испытаний

Из анализа зарегистрированных амплитуд импульсов ударного напряжения в отдельных измерительных пунктах модели, разработаны характеристики размещения амплитуд ударных импульсов в функции расстояния для ранее охарактеризованных измерительных систем.

Из анализа характеристик, приведенных на рис. 5 следует, что им свойственны две характерные зоны. Зона, в которой нет активного воздействия варистора на амплитуды ударных

импульсов и зона ограничения амплитуд ударных импульсов ОПН. При ударах импульсом 10/700µs зона активного воздействия варистора на амплитуду ударного импульса удлиняется

по сравнению с импульсом 1,2/50µs. Можно прийти к выводу, что зона активирования варистора увеличивается при росте времени роста ударного импульса.

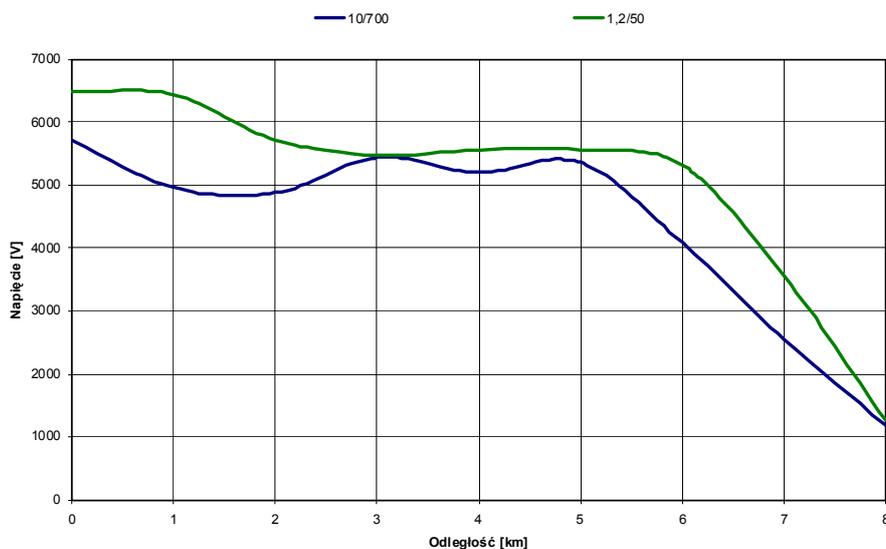


Рис. 5. Распределение амплитуд ударных импульсов (1,2/50 и 10/700 µs) в функции расстояния от генератора для модели контактной сети с нагрузкой варистора

Предварительное определение расстояния между ОПН в контактной сети требует определения зоны распространения перенапряжений, распространяющихся в оба направления от места удара, когда к сети присоединены ОПН. Результаты измерений распространения ударных импульсов, приведенные на рис. 6 указывают, что при размещении ОПН на расстоянии 2 или 4 км друг от друга, гашение амплитуды ударного импульса от места удара к месту присоединения варисторов линейной формы. Зато при расстоянии, составляющем 6 км, оно нелинейной формы. Данное вытекает из факта, что

варисторы находятся на границе зоны воздействия на амплитуды ударного импульса.

В варианте удара у входа модели, где есть один варистор в конце модели линии, при расстоянии между варисторами 4 км, характеристика ограничения перенапряжений между варисторами, приведенная на рис. 7, иллюстрирует, что варистор, присоединенный в конце модели, является нагрузкой для ударных импульсов. Уровень ограничения ударных импульсов на участке между варисторами сохраняется на уровне напряжения ограничения примененных ОПН.

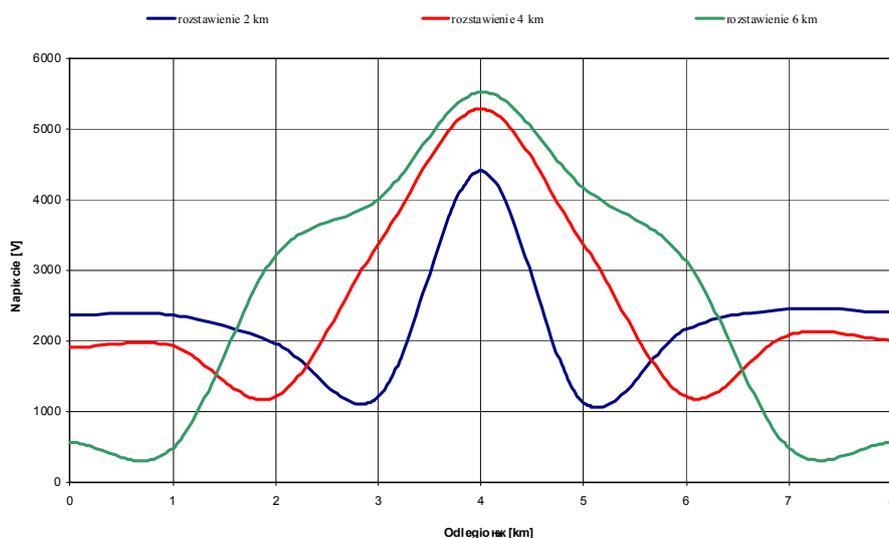


Рис. 6. Характеристики гашения ударных импульсов (10/700 µs) в модели контактной сети при размещении варисторов 2, 4 и 6 км для первого варианта нанесения удара

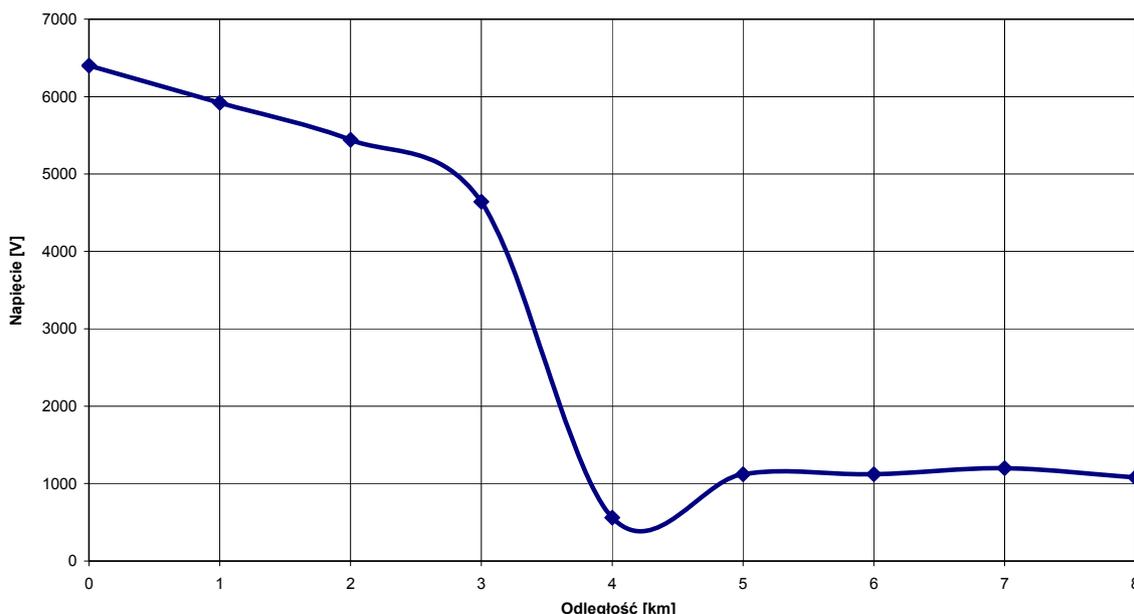


Рис. 7. Характеристики гашення ударних імпульсів (10/700µs) в моделі контактної мережі при розміщенні варисторів 4км для другого варіанта нанесення удару

Выводы

На основе анализа характеристик гашения амплитуд ударных импульсов варисторными ограничителями перенапряжений можно прийти к выводу, что оптимальное расстояние варисторов может составлять около 4 км. В случае однородной сети (без стрелок, пересечений, ответвлений) построенной в зоне с низкой изокоауричностью возможно пробовать увеличить расстояние.

Приведенные выводы получены на основе лабораторных испытаний на специально разработанной для этой цели модели. Их целесообразно уточнить в натурных испытаниях с применением варисторов для защиты от перенапряжений контактної мережі при использовании генератора импульсного напряжения с импульсной амплитудой не менее 15 кВ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Budowa i poligonowe badania prototypowego systemu ochrony przed przepięciami z ogranicznikami warystorowym*. Praca IK 3889/10 Warszawa, 2011.
2. Białoń A., Laskowski M., Pajka P., Zawadka Ł., *Koncepcja ochrony sieci trakcyjnej 3kV DC przed przepięciami pochodzenia atmosferycznego i komutacyjnego*. TTS nr 9/2012.

3. *Opracowanie nowego systemu ochrony sieci trakcyjnej przed przepięciami, badania eksploatacyjne nowego systemu, określenie lokalizacji podłączenia ochrony od urządzeń sterowania trakcja i urządzeń sterowania ruche.Etap1*. Praca CNTK 4291/10 Warszawa, 2007.

4. Adamski D., Białoń A., Furman J., Kazimierczak A., Laskowski M., Zawadka Ł., *Problematyka tłumienności przepięć w sieci trakcyjnej 3kVDC*. Logistyka 3/2012

5. Białoń A., Furman J., *Surgest tests conducted in the contact system I lab environment* Elektryfikacja transportu Ukraina 3/2012.

6. Mikulski, J. Młyńczak J., Pawelak. M. *Ochrona antykradzieżowa sieci trakcyjnej*. Computer systems aided science and engineering work in transport, mechanics and electrical engineering. TRANSCOMP 2010. 14th International conference, Zakopane, Poland, 6 XII - 9 XII 2010. Conference proceedings. [Dokument elektroniczny]. Poznań : Instytut Logistyki i Magazynowania, 2010, s. 2257-2265, (Logistyka; nr 6, dod.: Logistyka - nauka).

7. Ким Е.Д., Сыченко В.Г. Защита от перенапряжений тяговых сетей постоянного тока: методология выбора ОПН. Вестник Днепропетровского национального технического университета железнодорожного транспорта им. ак. В. Лазаряна, Вып. 37 – 2011, – с. 82-93

Поступила в печать 01.09.2013.

Внутренний рецензент *Сыченко В. Г.*

Внешний рецензент *Васяк И.*

Применение новых микропроцессорных устройств железнодорожной автоматики требует усовершенствования методологии и средств их защиты. Статья посвящена рассмотрению одного из аспектов данной проблемы, а, именно, усовершенствованию защиты от внешних и коммутационных перенапряжений при применении нового типа защитных устройств – варисторных ограничителей перенапряжения. В статье охарактеризована лабораторная модель участка контактної мережі и описаны ее основные элементы, приведена методика испытаний, рассмотрены различные варианты предварительного размещения варисторных

ограничителей перенапряжений в контактной сети, затем представлены и проанализированы результаты испытаний. Из анализа характеристик гашения амплитуд ударных импульсов варисторными ограничителями перенапряжений показано, что оптимальное расстояние между ними может составлять порядка 4 км.

Ключевые слова: контактная сеть, перенапряжения, варистор, ограничитель перенапряжений, импульс.

УДК 621.331.3

А. БЯЛОНЬ, Ю. ФУРМАН (ИНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ, ВАРШАВА, СІЛЕЗЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ, КАТОВІЦЕ)

Институт залізничного транспорту, 04-275 Варшава, Польща, вул. Хлопіцького 50, тел.: +48 22 4731453, факс: +48 22 4731036, ел. пошта: abialon@ikolej.pl

Силезький політехнічний інститут, Кафедра транспорту, Сектор автоматики на транспорті, 40-019 Катовице, Польща, вул. Красинського 8, тел.: +48326034136, ел. пошта: andrzej.bialon@polsl.pl

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ МІЖ ВАРИСТОРНИМИ ОБМЕЖУВАЧАМИ ПЕРЕНАПРУГИ ДЛЯ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ 3 КВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

Застосування нових мікропроцесорних пристроїв залізничної автоматики вимагає удосконалення методології та засобів їх захисту. Стаття присвячена розгляду одного з аспектів даної проблеми, а саме, удосконалення захисту від зовнішніх і комутаційних перенапруг при застосуванні нового типу захисних пристроїв – варисторних обмежувачів перенапруги. У статті охарактеризована лабораторна модель ділянки контактної мережі та описано її основні елементи, наведено методику випробувань, розглянуті різні варіанти попереднього розміщення варисторних обмежувачів перенапруг в контактній мережі, представлені і проаналізовані результати випробувань. З аналізу характеристик гасіння амплітуд ударних імпульсів варисторних обмежувачів перенапруг показано, що оптимальна відстань між ними може становити близько 4 км.

Ключові слова: контактна мережа, перенапруги, варистор, обмежувач перенапруги, імпульс.

Внутрішній рецензент *Сиченко В. Г.*

Зовнішній рецензент *Васяк І.*

UDC 621.331.3

A. BIALON, U. FURMAN (INSTITUTE OF RAILWAYS, WARSAW, SILESIAN TECHNICAL UNIVERSITY, KATOWICE)

Institute of railways, 04-275 Warsaw, Poland, 50 Chlopitskogo Street, tel.: +48 22 4731453, fax: +48224731036, e-mail: abialon@ikolej.pl

Silesian technical university, Department of Transport, Transport Automation Sector, 40-019 Katowice, Poland, 8 Krasinskogo Street, tel.: +48326034136, e-mail: andrzej.bialon@polsl.pl

LABORATORY METHOD OF DETERMINING OPTIMAL DISTANCE BETWEEN VARISTOR SURGE PROTECTORS ON 3 KV DC CATENARY

Application of new microprocessor devices railway automation requires improvement methodology and tools for their protection. The article discusses one aspect of the problem as well as the improvement of protection from external and switching surges in the application of a new type of protective devices which are varistor voltage limiters. The article described a laboratory model of the contact network and described its main elements, describes a method of testing the various options considered prior organize varistor overvoltage in the contact system, and then present and analyze the test results. From the analysis of the characteristics of the shock pulse amplitude blanking varistor surge arresters shown that the optimal distance between them can be about 4 km.

Keywords: contact network, overvoltage, varistor, overvoltage limiter, pulse.

Internal reviewer *Sychenko V. G.*

External reviewer *Vasyak I.*