

А. БЯЛОНЬ, Ю. ФУРМАН (ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА, ВАРШАВА, ПОЛЬША)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАНИЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В КОНТАКТНОЙ СЕТИ 3 КВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Представил д.т.н., доцент Сыченко В. Г.*

### Введение

Появление перенапряжений в контактной сети вызваны в большей степени коммутационными процессами и молниями. Первые создаются вследствие переключений в цепях тяговых подстанций, а также главных цепях электропоездов и электропоездов. Вторые являются результатом непосредственного удара молнии в контактную сеть или явлением индукции перенапряжений от близких ударов молнии по отношению к контактной сети.

В обоих случаях волна перенапряжения распространяется в двух направлениях от источника, постепенно затухая. На основе исследований в доступной литературе известно, что распределенным параметрам контактной сети свойственна значительная неоднородность. В связи с этим, распространяющаяся волна перенапряжения будет подвергаться отражению от неоднородностей, таких как: анкеровка контактной сети, воздушные стрелки, присоединение постов секционирования и др. Следует обратить внимание, что приведенные в литературе случаи неоднозначно определяют происходящие явления, в том числе степень затухания перенапряжений контактной сетью в функции расстояния от источника.

В связи с выше приведенным на участке контактной сети опытного кольца Института железнодорожного транспорта (ИК) в городе Жмигруд проводились испытания, целью которых было определение степени затухания перенапряжений в контактной сети в функции пути. Данные испытания проводились впервые в Польше.

### Методика испытаний

Длина участка контактной сети опытного кольца ИК, на котором проводились испытания, составляла 7760 м (2 типа сети: 2С120-2С-1 9 секций 7,28 км с изоляцией 25 кВ; УС150-2С150 одна секция 1,09 км с изоляцией 25 кВ). Измерения затухания перенапряжений контактной сети велись для двух вариантов: участок сети без нагрузки и участок сети с нагрузкой сопротивлением 240 Ом и 120 Ом.

Испытания заключались во введении ударных импульсов из ударного генератора в контактную сеть и регистрации амплитуд импульсов напряжения и тока в характерных точках между генератором и концом измерительного участка (каждый километр). Выходное сопротивление используемого генератора составляло 2 Ом, максимальный уровень напряжения ударного импульса составлял 6,9 кВ, стандартный ударный импульс 1,2/50 мкс.

На рис. 1 показано расположение генератора на опытном кольце ИК. Во время измерений контактная сеть опытного кольца была секционирована выключателем № 203, вблизи которого был размещен стационарный стенд с генератором ударов. С помощью осциллографа регистрировались импульсы напряжения и тока в начале испытываемого участка контактной сети. С другой стороны выключателя 203 находился стенд, на котором регистрировались импульсы напряжения в конце участка контактной сети. Измерительные схемы приведены на рисунках 2 - 4, принятые сокращения обозначают: ТЕК - двухканальный измерительный осциллограф, СR- катушка Роговского с передачей напряжения и тока 400мВ/А, В203 - секционный выключатель с номером 203.

Регистрация напряжения ударного импульса для двух вариантов участка контактной сети (без нагрузки и с нагрузкой сопротивлением), проводилась на каждом километре, начиная с генератора и до конца участка контактной сети. Это позволило проиллюстрировать форму ударного импульса и его амплитуды в функции расстояния от ударного генератора. На основе данных регистрации разработаны характеристики затухания амплитуд ударных импульсов на исследуемом участке в функции пути.

Кроме того, регистрировался пробег амплитуды напряжения в начале измерительного участка и ударного тока в конце испытываемого участка контактной сети с нагрузкой сопротивлением 120 Ом и 240 Ом. Данное позволило определить запаздывание волны тока по отношению к волне ударного напряжения.

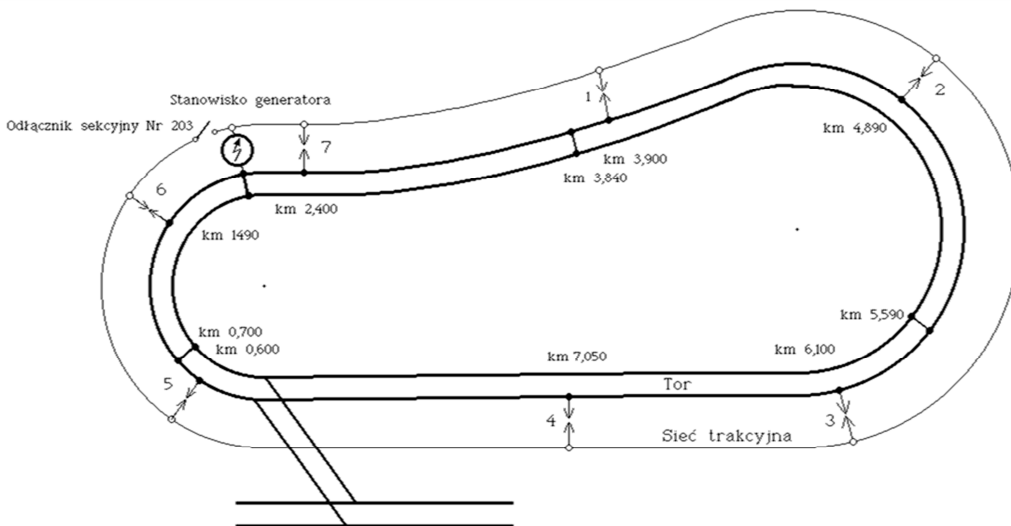


Рис. 1. Схема контактной сети опытного кольца ИК

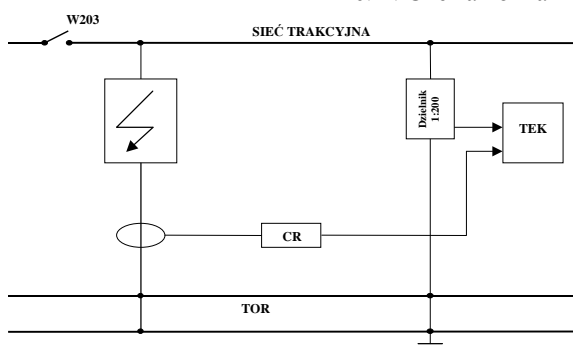


Рис. 2. Измерительная схема на стенде генератора ударов

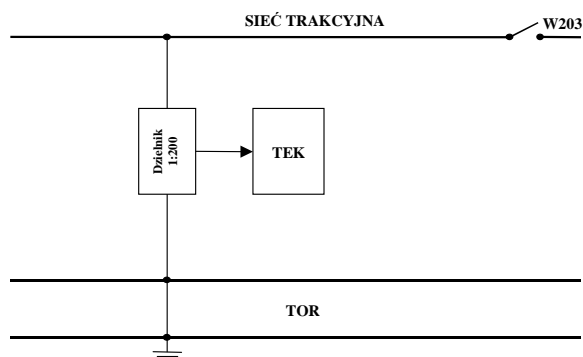


Рис. 3. Измерительная схема в конце участка контактной сети без нагрузки

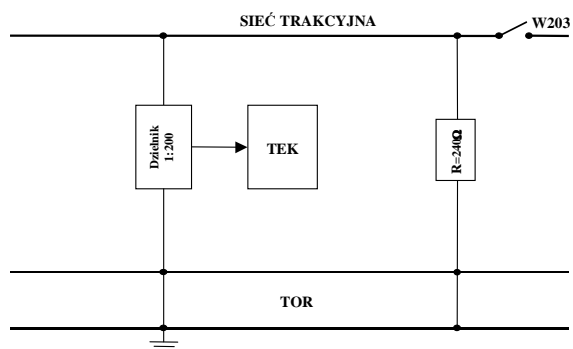


Рис. 4. Измерительная схема в конце участка контактной сети с нагрузкой сопротивлением

### Результаты испытаний

Рисунок 5 представляет пробег зарегистрированного импульса напряжения для первого измерительного варианта (открытая сеть без нагрузки) в начале участка контактной сети (стенд генератора ударов), а рисунок 6 в конце участка. Значение напряжения вводимого удара составляло 5900 В.

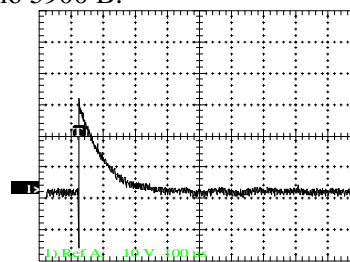


Рис. 5. Пробег напряжения ударного импульса (начало открытого участка контактной сети)

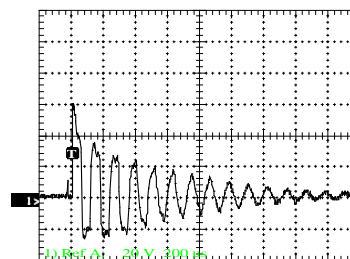


Рис. 6. Пробег напряжения ударного импульса (конец открытого участка контактной сети)

Сравнивая амплитуды напряжения импульсов, показанных на рисунках выше, можно констатировать, что исследуемый участок контактной сети ведет себя как длинная линия без нагрузки. Амплитуда в конце измерительного участка повысилась со значения 5,6 кВ до значения 12,16 кВ, а значение ударного тока у выхода ударного генератора составляло 130 А, что свидетельствует о наличии значительной емкости контактной сети по отношению к рель-

сам. Индуктивность и емкость данного участка сети вызывает возникновение затухающих колебаний частотой около 8,5 кГц.

Во втором измерительном варианте (сеть с нагрузкой сопротивлением) проверялось влияние сопротивления включенного в конце измерительного участка на значение амплитуды ударного импульса измеряемое на данном сопротивлении. На рисунках 7 и 8 представлены результаты регистрации амплитуды ударного напряжения соответственно в начале и в конце участка контактной сети с нагрузкой сопротивлением 120 Ом, а на рисунках 9 и 10 для участка контактной сети с нагрузкой сопротивлением 240 Ом.

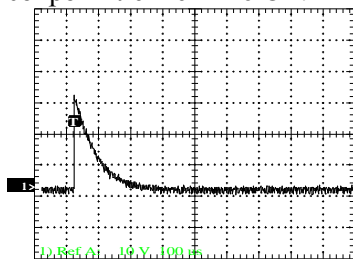


Рис. 7. Пробег напряжения ударного импульса (начало участка контактной сети с нагрузкой сопротивлением 120 Ом)

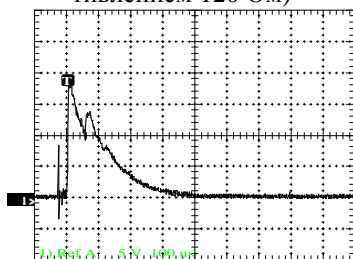


Рис. 8. Пробег напряжения ударного импульса (конец участка контактной сети с нагрузкой сопротивлением 120 Ом)

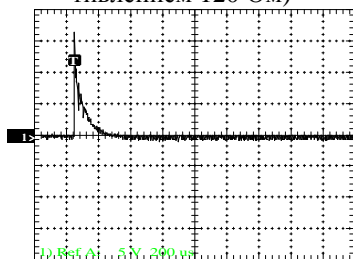


Рис. 9. Пробег напряжения ударного импульса (начало участка контактной сети с нагрузкой сопротивлением 240 Ом)

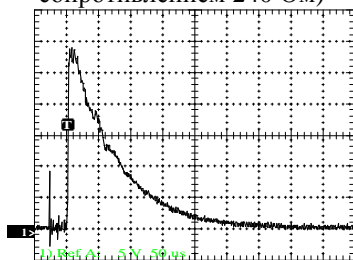


Рис. 10. Пробег напряжения ударного импульса (конец участка контактной сети с нагрузкой сопротивлением 240 Ом)

Анализируя выше полученные осциллограммы, отметим, что в случае нагрузки сопротивлением 120 Ом, в конце участка сети получилась амплитуда 3,88 кВ при уровне амплитуды входного импульса 5,68 кВ (рис.7 и рис. 8). При этом значение включенного сопротивления не равно волновому сопротивлению испытываемого участка контактной сети. Для сопротивления нагрузки 240 Ом измеренная амплитуда импульса составила 6,4 кВ при амплитуде входной 6,16 кВ (рис. 9 и рис. 10). Сравнивая данные значения амплитуд импульсов следует констатировать, что сопротивление нагрузки 240 Ом близко к значению волнового сопротивления данного участка сети. Небольшой рост амплитуды выхода по отношению к амплитуде входа свидетельствует о небольшом отражении волны напряжения от сопротивления нагрузки. Наблюдается несовпадение сопротивления нагрузки и волнового сопротивления, а реальное его значение меньше 240 Ом.

В рамках второго измерительного варианта регистрировались значения амплитуд входного тока и тока, протекающего через сопротивление нагрузки 120 Ом и 240 Ом. В обоих случаях значение амплитуды входного тока составляло 140 А. Но значение амплитуды тока при нагрузке сопротивлением 120 Ом составляло 28 А, а при нагрузке 240 Ом – 25 А (рис. 11 и рис. 12). Такие значительные различия между амплитудами входных и выходных токов вызваны емкостями утечки между контактной сетью и рельсами вдоль измерительного участка.

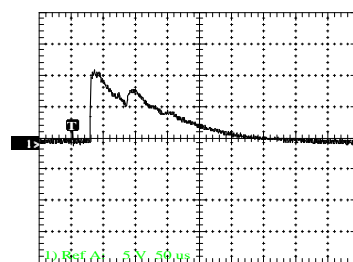


Рис. 11. Пробег амплитуды тока в конце участка контактной сети с нагрузкой сопротивлением 120 Ом

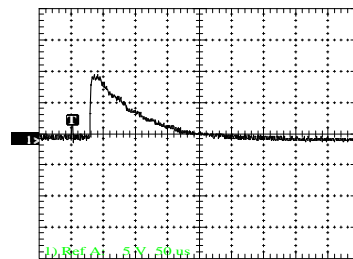


Рис. 12. Пробег амплитуды тока в конце участка контактной сети с нагрузкой сопротивлением 240 Ом

## Характеристики затухания перенапряжений контактной сети в функции пути

Способ размещения элементов защиты контактной сети от перенапряжений требует знания распространения амплитуд ударных импульсов в функции пути, а также влияния неоднородности испытуемого участка контактной сети как: анкеровка контактной сети, воздушные стрелки и виадук на распространение

данных импульсов. В связи с этим на основе результатов ранее проведенных испытаний разработаны характеристики распространения амплитуд ударных импульсов (рисунок 13). Красным цветом обозначена характеристика для испытуемого участка контактной сети без нагрузки, синим цветом для участка с нагрузкой сопротивления 240 Ом.

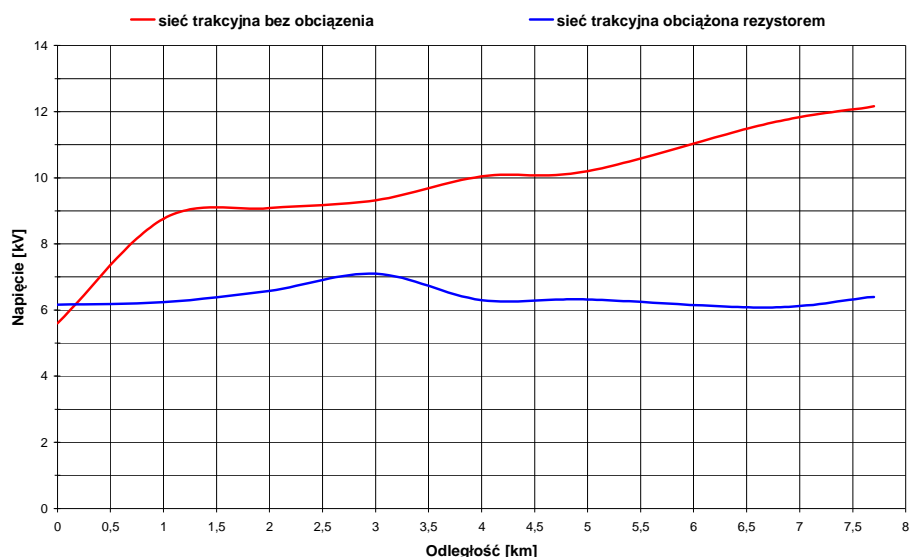


Рис. 13. Размещение амплитуд ударных импульсов в функции пути для испытуемого участка контактной сети

## Выводы

Рассматриваемый участок открытой контактной сети в приближении характеризуется свойствами, аналогичными однородной длинной линии. Вследствие интерференции импульса напряжения отраженного от незагруженного конца участка сети с импульсом генератора происходит рост амплитуд ударных импульсов в функции пути.

Анализируя пробеги следует заметить, что характеристика размещения амплитуд ударных импульсов в функции пути для сети с нагрузкой сопротивлением 240 Ом имеет два характеристических места. В первом месте (3 км от генератора) происходит рост амплитуды напряжения ударного импульса. Это вызвано наличием виадука, что, в свою очередь, вызывает местное увеличение емкости контактной сети до земли и непосредственно рельсовых нитей, вызывая неоднородность. Во втором месте (в конце измерительного участка) увеличивается амплитуда импульса. Это связано с несовпадением значения сопротивления нагрузки и значения волнового сопротивления данного участка контактной сети.

Приведенные результаты позволяют констатировать, что однородная (т.е. без перекрестков, стрелок и др.) контактная сеть в меньшей степени уменьшает ударные импульсы напряжения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Praca CNTK 1002/24: Ochrona przeciwprzebieciowa i przeciwporazeniowa w urzadzeniach srk z elementami elektronicznymi, Warszawa, 1994.
2. Praca CNTK 4291/10: Opracowanie nowego systemu ochrony sieci trakcyjnej przed przebieciami, badania eksploatacyjne nowego systemu, okrešlenie lokalizacji podlaczzenia ochrony od urzadzeń sterowania trakcja i urzadzeń sterowania ruchu. Etap1 Warszawa, 2007.
3. Praca IK 3889/10: Budowa i poligonowe badania prototypowego systemu ochrony przed przebieciami z ogranicznikami warystorowym. Etap1 Warszawa, 2011.

**Ключевые слова:** перенапряжения, затухание, контактная сеть.

**Ключові слова:** перенапруги, згасання, контактна мережа.

**Keywords:** surge, damping, contact network.