

ИСПЫТАНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ЛАБОРАТОРНОЙ МОДЕЛИ

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

Введение

Внедрение и оценка эффективности новой системы защиты от перенапряжений контактной сети с варисторными ограничителями перенапряжений требует проведения ряда натуральных тестов. Для разъяснения ряда явлений позволяющих разработать систему защиты от перенапряжений контактной сети при помощи варисторных ограничителей необходимым было проведение трудоемких натуральных испытаний на отключенных участках контактной сети. На опытном кольце в г. Жмигруд проводились испытания влияния контактной сети при распространении в ней перенапряжений в функции пути. Для испытаний использовались генератор импульсного напряжения HAEFELY с максимальным уровнем напряжения ударного импульса 6,9 кВ и выходным активным сопротивлением 2 Ω , а также контактная сеть опытном кольца.

В связи с тем, что натурные испытания трудоемкие и дорогостоящие, а также зависят от атмосферических условий (запрещено проведение испытаний при температуре ниже нуля, атмосферных осадках и ночью), была разработана модель контактной сети, соответствующая по процессам распространения перенапряжений параметрам реальной контактной сети.

Построение лабораторной модели

Приняты следующие принципы построения лабораторной модели контактной сети:

- модель, отражающая контактную сеть, должна состоять из элементов со сосредоточенными постоянными,
- по электрическим параметрам модель должна выполнять требования длинной, несимметричной однородной линии,
- модель контактной сети должна состоять из отдельных элементов, представляющих однокิโลметровые участки контактной сети,
- сопротивление индуктивных элементов и соединений в модели должны отвечать сопро-

тивлению участка контактной сети опытном кольца,

- в цепи модели будут вводиться ударные импульсы (по форме идентичные с натурным импульсом) с максимальной амплитудой 6,9 кВ и длительностью 1,2/50 μ сек и 10/700 μ сек,

- использованные элементы должны соответствовать необходимым уровням изоляции для взаимодействия с импульсным генератором,

- индуктивные и емкостные элементы модели должны размещаться таким образом, чтобы предотвратить возможность индуктивной и емкостной связи,

- параметры элементов составляющих модели должны отвечать единичным параметрам одного километра контактной сети,

- при введении в модель импульсов амплитудой 6,9 кВ должна обеспечиваться безопасность персонала и измерительного оборудования.

На основании вышеизложенных принципов была построена лабораторная модель, состоящая из 8 индуктивных и емкостных элементов. Узлы, физически моделирующие участок контактной сети длиной 1 км изготовлены таким образом, что электрические параметры отвечают единичным параметрам контактной сети, используемой на опытном кольце Жмигруд. Приняты следующие параметры однокилометрового модуля модели участка контактной сети: $L = 466 \pm 5 \mu\Gamma$, $R = 0,062 \Omega$, $C = 10,5 \text{ нФ} \pm 5 \text{ нФ}$.

На рис. 1 представлена электрическая схема одного километра контактной сети, принятого в применяемой модели.

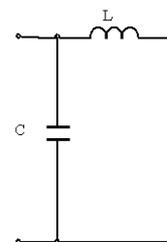


Рис. 1. Электрическая схема модели 1 км участка контактной сети

Индуктивный элемент, соответствующий 1 км контактной сети, изготовлен как катушка, намотанная на открытом ферритовом ядре с большой магнитной проницаемостью. Катушка намотана медным проводом в изоляции диаметром 2 мм. Индуктивность намотанной катушки составляла около $466 \pm 5 \mu\Gamma$, а сопротивление $0,035 \Omega$. Конденсатор, представляющий

распределенную емкость, изготовлен из двух металлических пластин, разделенных диэлектриком. Емкость таким образом построенного конденсатора составляла около $10,5 \text{ нФ} \pm 5 \text{ нФ}$ и могла регулироваться.

Электрическая схема лабораторной модели со значениями применяемых элементов приведена на рис. 2.

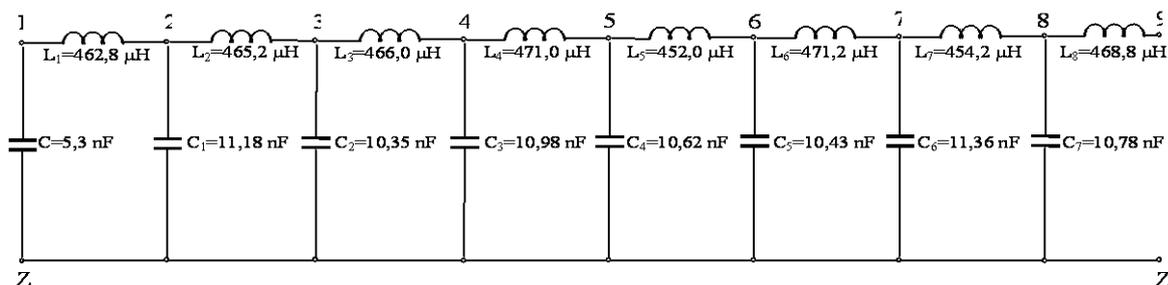


Рис. 2. Электрическая система модели 8 км участка контактной сети

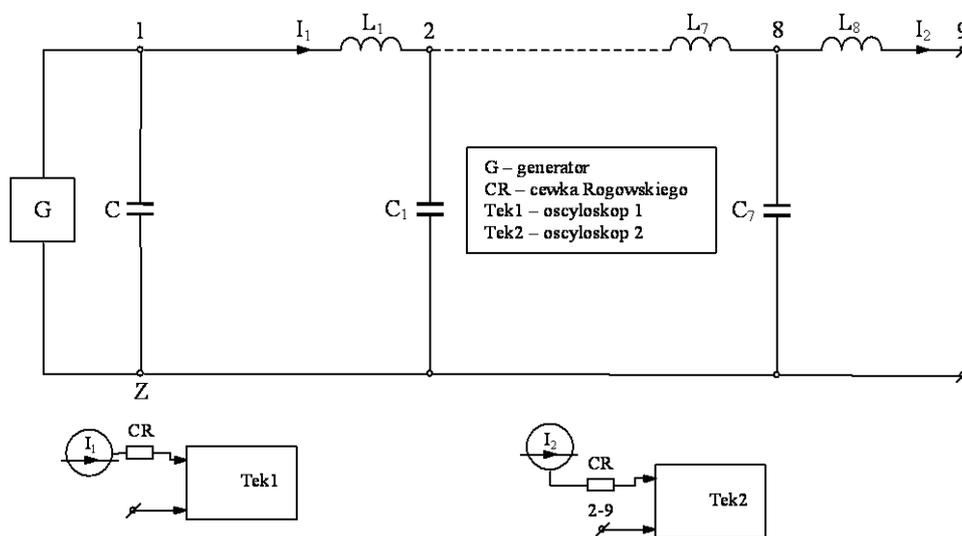


Рис. 3. Схема измерительной системы для проверки лабораторной модели участка контактной сети

Методика и результаты испытаний

При проведении испытаний использовался генератор фирмы HAEFELY, создающий импульсы $1,2/50 \mu\text{сек}$ ($8/20 \mu\text{сек}$), а также $10/700 \mu\text{сек}$ с максимальной амплитудой генерируемого ударного импульса $6,9 \text{ кВ}$. Реализация цели испытаний требовала определения временных зависимостей и происходящих явлений в электрической цепи, отражающей контактную сеть как длинную линию. Лабораторные испытания проводились на модели, заменяющей участок контактной сети длиной около $7,760 \text{ км}$.

После монтажа модели участка контактной сети представленной на рис. 2 на первом этапе проверялись ее основные электрические параметры. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные электрические параметры модели

№ п/п	Параметр	Значение
1	Индуктивность	$3711,2 \mu\Gamma$
2	Сопротивление	$0,32 \Omega$
3	Емкость	81 нФ

Регистрация амплитуд ударных импульсов проводилась параллельно на двух двуканальных осциллографах фирмы ТЕКТРОНИХ тип ТНS720. На рис. 3 показана основная измерительная система. Измерения велись для двух основных вариантов: отсутствие нагрузки на выходе модели и нагрузка сопротивлением 240Ω .

Для построения модели и дальнейших испытаний использовались данные единичных параметров контактной сети, полученные в результате проведенных на опытном кольце Жмигруд испытаний [3]. Сопротивление 240Ω приблизительно отражает импеданс данного участка контактной сети.

Из приведенных осциллограмм (рис. 4, 5) вытекает, что принятая лабораторная модель длинной линии участка контактной сети ведет себя, как натуральный участок контактной сети.

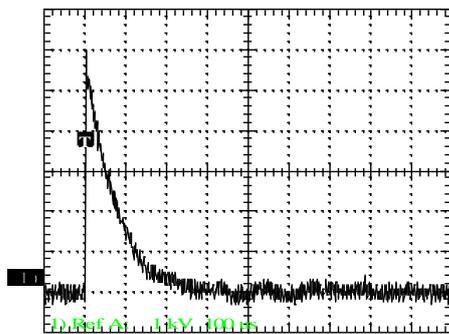


Рис. 4. Осциллограмма напряжения ударного импульса у входа модели участка контактной сети

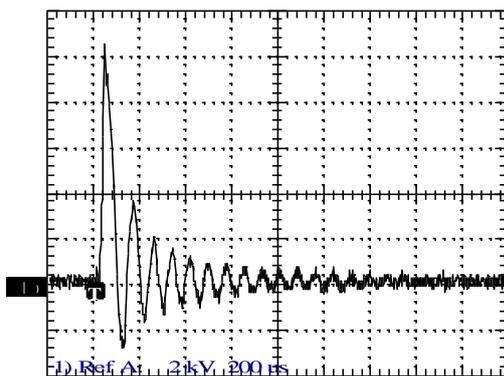


Рис. 5. Осциллограмма напряжения ударного импульса на конце без нагрузки модели участка контактной сети

При сравнении осциллограмм обнаружено двойное увеличение амплитуды импульса на выходе по отношению к амплитуде входного импульса лабораторной модели в результате отражения волны напряжения от конца длинной линии. При отсутствии элемента нагрузки длинной линии на ее выходе наблюдались колебания. Аналогичные колебания и двойное увеличение амплитуды наблюдались во время натуральных испытаний на контактной сети без нагрузки (в городе Жмигруд). Это свидетельствует о сравнительных электрических свойствах, как лабораторной модели, так и натурального участка контактной сети. Следует подчеркнуть, что на разработанной модели получены результаты задержки волны тока по отношению к волне ударного напряжения как на участке контактной сети опытного кольца в

городе Жмигруд. (около $30 \mu\text{сек}$ – осциллограммы на рис. 6 и 7).

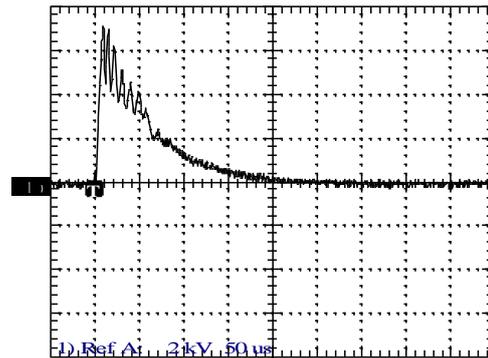


Рис. 6. Осциллограмма импульсного ударного напряжения в конце модели участка контактной сети нагруженного сопротивлением 240Ω

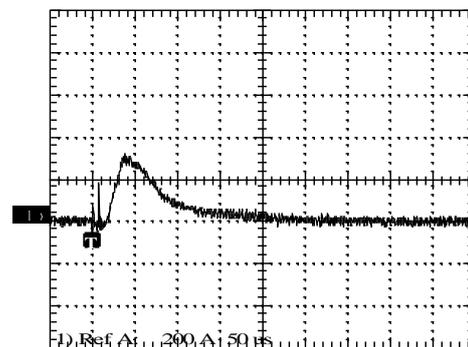


Рис. 7. Осциллограмма импульсного ударного тока в конце модели участка контактной сети нагруженного сопротивлением 240Ω

Проведены также испытания с нагрузкой выхода лабораторной модели сопротивлением 240Ω . С проведенных испытаний вытекает, что не обнаружены отличия измеренного затухания лабораторной модели длинной линии по отношению к натурному участку контактной сети в городе Жмигруд.

Характеристики, иллюстрирующие распределение амплитуд ударных импульсов в функции расстояния от генератора ударов приведены на рис. 8, 9. На рис. 10 представлена характеристика размещения амплитуд ударных импульсов вдоль участка контактной сети, полученная в результате измерений на опытном кольце.

Характеристика, приведенная на рис. 9, получена на основе регистрации амплитуд в отдельных измерительных точках модели в функции расстояния от ударного генератора.

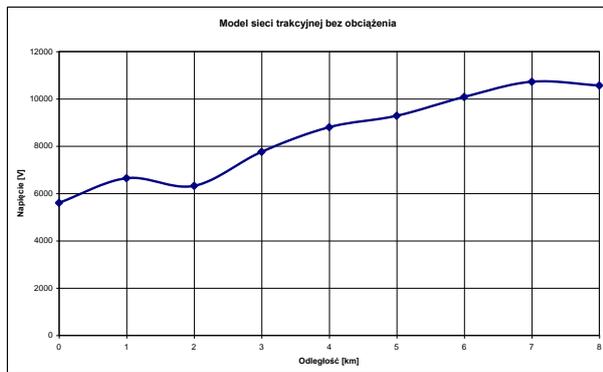


Рис. 8. Размещение амплитуд ударных импульсов (1,2/50μсек) в функции расстояния от генератора для модели контактной сети без нагрузки

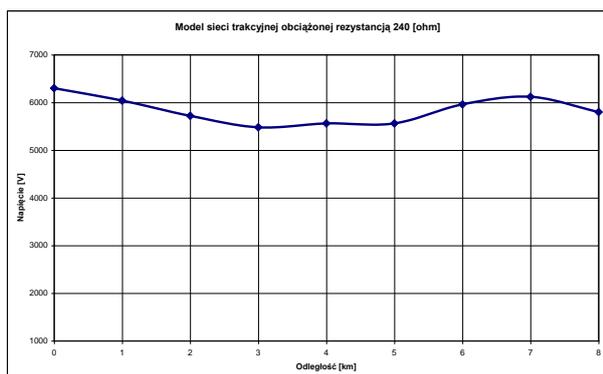


Рис. 9. Размещение амплитуд ударных импульсов (1,2/50μs) в функции расстояния от генератора для модели контактной сети с нагрузкой сопротивления 240 Ω

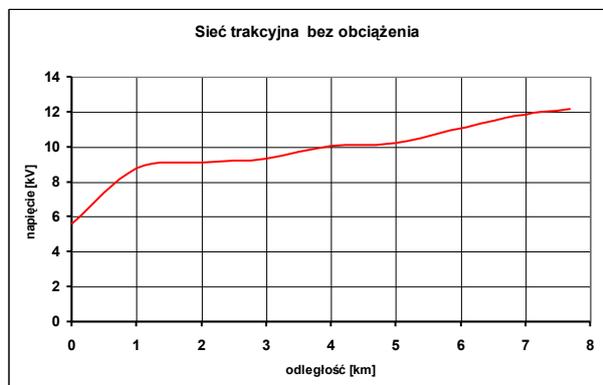


Рис. 10. Размещение амплитуд ударных импульсов в функции пути участка контактной сети опытного кольца

Выводы

Разработанная и изготовленная лабораторная модель участка контактной сети как длинной линии по электрическим параметрам идентична натурному участку контактной сети (участок контактной сети опытного кольца в городе Жмигруд).

Лабораторная модель участка контактной сети дала возможность продолжения испытаний, необходимых для определения оптимальных расстояний между варисторными ограни-

чителями перенапряжений, предохраняющими изоляцию контактной сети от возникающих в ней перенапряжений (в том числе молний). Во время лабораторных испытаний определено взаимодействие варисторных ограничителей во время ударов перенапряжений в контактную сеть. Получены также зависимости взаимодействия рогового разрядника с варисторным ограничителем перенапряжений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Budowa i poligonowe badania prototypowego systemu ochrony przed przepięciami z ogranicznikami warystorowymi. Etap1 Zbadanie i określenie na drodze pomiarowej tłumienności przepięć przez sieć trakcyjną w funkcji drogi. Część 1 Badania terenowe. Praca IK listopad 2011.

2. Budowa i poligonowe badania prototypowego systemu ochrony przed przepięciami z ogranicznikami warystorowymi. Etap1 Zbadanie i określenie na drodze pomiarowej tłumienności przepięć przez sieć trakcyjną w funkcji drogi. Część 2. Badania laboratoryjne. Praca IK grudzień 2011.

3. Opracowanie dopuszczalnych parametrów zakłóceń dla urządzeń srk, łączności i pojazdów trakcyjnych”. Praca CNTK nr 6915/23 Warszawa, 1999 r.

4. Mikulski J., Młyńczak J.: Pomiary parametrów powrotnej sieci trakcyjnej, Materiały XI Międzynarodowej Konferencji „Komputerowe Systemy Wspomagania Nauki, Przemysłu i Transportu” TRANSCOMP, Zakopane, 2007 r.

5. Białoń, J. Furman, A. Kazimierczak Badania uszynień grupowych z wydłużoną długością sekcji XIV Międzynarodowa Konferencja „Komputerowe systemy wspomagania nauki, przemysłu i transportu TRANSCOMP 2010” Zakopane 6 – 9 grudnia 2010 r.; organizatorzy: Wydział Transportu i Elektrotechniki Politechniki Radomskiej, Komitet Transportu Polskiej Akademii Nauk.

6. Adamski D., Białoń A., Furman J., Kazimierczak A., Laskowski M., Zawadka Ł. „Problematyka tłumienności przepięć w sieci trakcyjnej 3kV DC” – IX Konferencja Naukowo-Techniczna Logistyka, Systemy Transportowe Bezpieczeństwo w Transportie, Szczyrk, 17-20 KWIETNIA 2012 r. organizatorzy: Wydział Transportu i Elektrotechniki Politechniki Radomskiej, Komitet Transportu Polskiej Akademii Nauk.

Ключевые слова: контактная сеть, перенапряжения, затухание.

Ключові слова: контактна мережа, перенапруги, згасання.

Keywords: contact network, surge, damping.