

DOI: 10.30987/conferencearticle_5e02821488b392.59409395
УДК 621.311.001.57

О.А. Топчий, А.Ю. Дракин
(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)
O.A. Topchy, A.Yu. Drakin (Bryansk, Bryansk State Technical University)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАЗРЫВЕ ПРОВОДА В ЛЭП

RESEARCH OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES WHEN A WIRE BREAKS
IN OVERHEAD POWER LINES

В статье рассмотрена актуальность мониторинга атмосферной электромагнитной активности при поиске повреждений в линиях электропередачи. Проведены исследования разрыва провода в линиях электропередачи.

The article considers the relevance of monitoring atmospheric electromagnetic activity for search of fault locations in overhead power lines. The wire breaks in overhead power lines were researched.

Ключевые слова: электромагнитные процессы, разрыв провода, линия электропередачи, мониторинг электромагнитной активности.

Keywords: electromagnetic processes, wire break, overhead power line, monitoring of electromagnetic activity.

Введение

В электроэнергетических системах происходят электромагнитные переходные процессы как при включении и отключении электрических нагрузок, источников питания, отдельных линий электропередачи, так и при авариях и повреждениях.

Наиболее распространенные исследования переходных процессов посвящены определению параметров режима короткого замыкания. Одними из самых опасных видов повреждений в электрических сетях являются обрывы фазных проводов. Повреждения приводят к изменениям нагрузок в энергосистеме, возникновению переходных процессов и перенапряжениям, к отключениям и повреждениям оборудования потребителей.

Большинство повреждений ЛЭП проявляются через электромагнитные явления (разряды, замыкания, распространение волн перенапряжений и т.д.), фиксация и локализация таких электромагнитных явлений при повреждениях ЛЭП является важной задачей разработки дистанционного способа определения мест повреждений (ОМП) воздушных ЛЭП. Несмотря на разнообразие методов и способов [1-2], методы таких ОМП на сегодняшний день недостаточно разработаны.

Цель данной работы – исследование электромагнитных процессов при разрыве провода в воздушной ЛЭП и их применимости к разработке дистанционной системы ОМП.

Исследование электромагнитных процессов при разрыве провода в ЛЭП

При обрыве в линии, в месте разрыва провода в начальный момент образуется большой бросок напряжения, который может фиксироваться системами дистанционного мониторинга. Исследуем электромагнитные процессы при разрыве провода в ЛЭП на примере трехфазной линии передачи электроэнергии «Куйбышевская ГЭС – Москва 220 кВ» длиной $l = 900$ км, в которой известны параметры: $U_{л} = 400$ кВ, частота $f = 50$ Гц; первичные параметры $R_0 = 0,08$ Ом/км; $L_0 = 1,336 \cdot 10^{-3}$ Гн/км; $C_0 = 8,6 \cdot 10^{-9}$ Ф/км; потери в изоляции и на корону составляют $P_0 = 2000$ Вт/км на одну фазу; $G_0 = P_0/U_{\phi}^2 = 3,75 \cdot 10^{-8}$ См/км.

Характеристики линии:
волновое сопротивление

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}} = 397 e^{-j5^\circ 23'} \text{ Ом};$$

коэффициент распространения

$$\gamma = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0) \cdot (G_0 + j\omega C_0)} = 1,073 \cdot 10^{-3} e^{84^\circ 37'} \text{ км}^{-1}.$$

Для исследований ЛЭП с распределенными параметрами рассчитаем установившийся режим. Параметры в конце линии $P_{\text{нагр}} = 300$ МВт; $U_{2\phi} = 220$ кВ; $R_{\text{нагр}} = 484$ Ом. Тогда ток в конце линии при активном сопротивлении нагрузки ($\cos\varphi_2 = 1$) равен $I_2 = 455$ А.

Напряжение и ток в начале линии $\dot{U}_1 = U_{2\phi} \text{ch}\gamma l + I_2 Z_{\text{в}} \text{sh}\gamma l = 222 e^{j47^\circ 30'}$ кВ; $\dot{I}_1 = (U_2 / Z_{\text{в}}) \text{sh}\gamma l + I_2 \text{ch}\gamma l = 549 e^{j63^\circ 10'}$ А.

Для проверки правильности расчетных параметров в программе *Multisim 12.0* смоделируем ЛЭП в установившемся режиме (рис.1). Схему замещения ЛЭП выбираем в виде 9 звеньев, поэтому параметры линии вычисляем на 100 км: $R = 8$ Ом; $L = 0,1336$ Гн; $G = 3,75 \cdot 10^{-6}$ См, $R_2 = 1/G = 267$ кОм; $C = 8,6 \cdot 10^{-7} = 860$ нФ. Нагрузку возьмем чисто активную $Z_{\text{н}} = R_{\text{нагр}} = 484$ Ом, фазовый сдвиг на нагрузке 0° . С тем, чтобы напряжения были приемлемыми для модели ЛЭП напряжение 222 кВ уменьшим в 1000 раз, $U_{\text{ист}} = 222$ В, фазу на источнике задаем расчетную $47,5^\circ$.

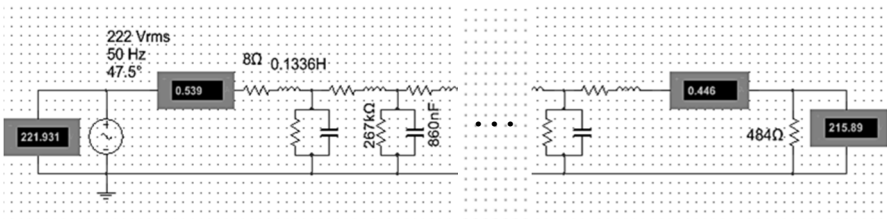
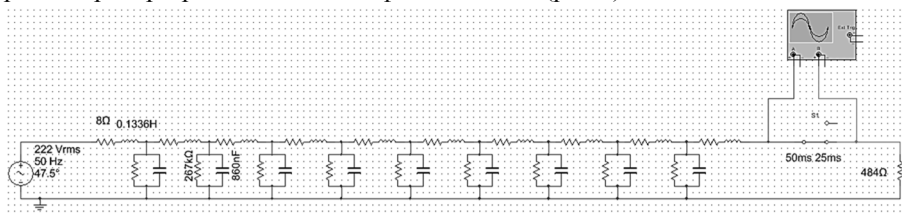


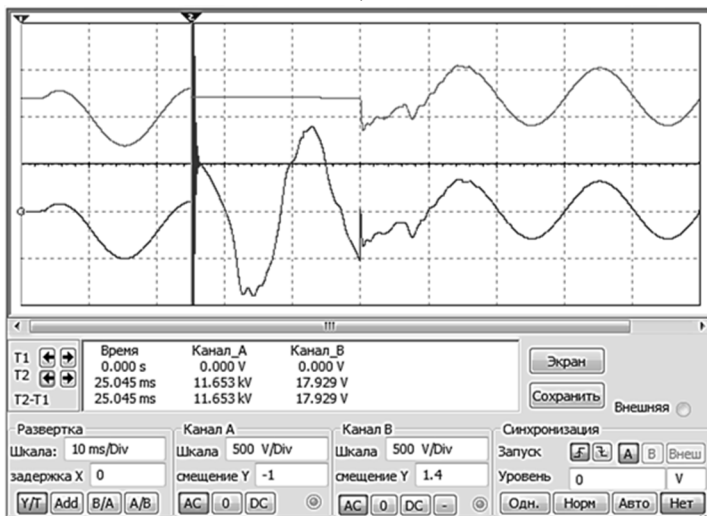
Рис.1. Моделирование установившегося режима ЛЭП

Представленная модель линии адекватна, так как показания приборов сопоставимы с расчетными параметрами линии в установившемся режиме. Погрешность расчетных параметров и модели не превышает 2%.

Полученную модель можно применить для исследования электромагнитных процессов при разрыве провода в ЛЭП. Сначала рассмотрим разрыв в конце однофазной линии (рис.2).



а)



б)

Рис.2. Моделирование разрыва провода однофазной ЛЭП в конце линии:
а – модель ЛЭП; б – осциллограмма броска напряжения

Для этого на модели установим ключ в конце линии перед нагрузкой и подключим осциллограф, один его канал – к сопротивлению нагрузки, другой – к ключу. Задаем время выключения ключа. Один период волны на графике рис.2 составляет 20 мс, чтобы получить максимум тока смещаем момент разрыва провода на $\pi/2$, то есть 90° , что соответствует 5 мс на осциллограмме, таким образом, максимальное значение момента разрыва провода приходится на время выключения ключа $T_{OFF} = 25$ мс. Время включения ключа задаем $T_{ON} = 50$ мс (рис.2).

Уменьшим время развертки напряжения на осциллограмме (рис.3), чтобы увидеть величину броска напряжения и определить частоту колебаний

при разрыве провода. Находим, что $U_{\text{разр}} = 16,3 \text{ кВ}$, частота $f = 1/(20 \cdot 10^{-6}) = 50 \text{ кГц}$.

Максимальный бросок напряжения при разрыве в линии возникает, когда ток в линии достигает максимального значения. Если ток при разрыве проходит через нуль, то броска напряжения не будет. В первый момент разрыва напряжение на ключе $U_{\text{кл}}$ превышает напряжение на источнике $U_{\text{ист}}$ в 74 раза. Полагая модель линейной, если полученные значения напряжения при разрыве перевести в реальные цифры (увеличить в 1000 раз), то бросок будет достигать 16,3 МВ. Однако, необходимо отметить, что такое большое значение напряжения будет, если разрыв приходится на максимальный ток, а если изменять фазу напряжения источника при сохранении всех остальных настроек, бросок будет меньше.

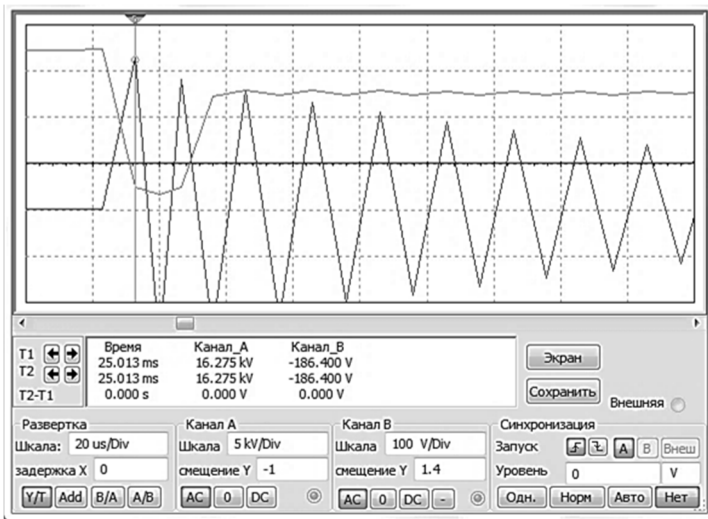


Рис.3. Осциллограмма напряжения в момент разрыва провода (уменьшено время развертки)

Если момент разрыва приходится не на максимум тока, то значения броска будут меньше. Зададим между током и напряжением на нагрузке фазу 10° , для этого изменим величину момента выключения ключа. К периоду волны 20 мс добавим величину, равную $(10^\circ \cdot 10 \text{ мс}) / 180^\circ = 0,55 \text{ мс}$, т.е. $T_{\text{OFF}} = 20,55 \text{ мс}$. Получаем незначительный бросок напряжения по сравнению с разрывом при максимуме, $U_{\text{разр}} = 1,5 \text{ кВ}$, что в 6,8 раз больше напряжения источника (рис.4). Чем ближе к фазе 0° , тем меньше значение броска напряжения, при переходе через фазу 0° , броска напряжения не будет.

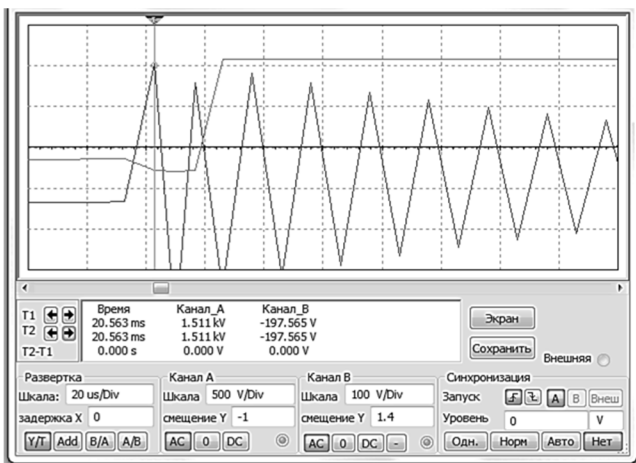


Рис.4. Осциллограмма броска напряжения при разрыве провода в конце ЛЭП при фазе 10° между напряжением и током на нагрузке

Рассмотрим моделирование разрыва провода в середине линии (рис.5). Аналогично, при максимуме тока получаем максимальный бросок напряжения $U_{\text{разр}} = 15,1$ кВ, который превышает напряжение источника в 68 раз (рис.6).

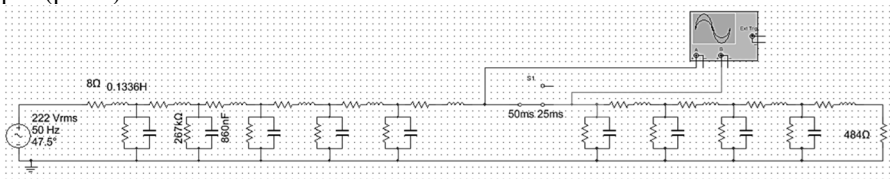


Рис.5. Моделирование разрыва провода однофазной ЛЭП в середине линии

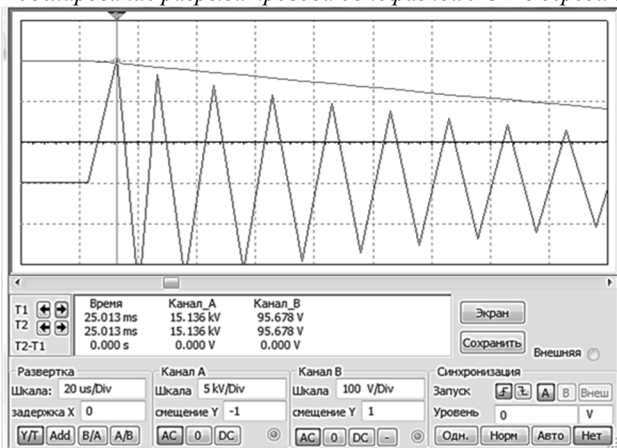


Рис.5. Осциллограмма броска напряжения при разрыве провода однофазной ЛЭП в середине линии

Таким образом, при обрыве провода значение броска напряжения будет зависеть от величины фазы напряжения, на которую приходится момент разрыва. Вероятность того, что момент разрыва в ЛЭП попадет на фазу напряжения большую, отличную от нуля, при фазе $\pm 10^\circ$ составляет $(2 \cdot 80^\circ / 180^\circ) = 0,89$, т.е. вероятность возникновения броска напряжения при разрыве провода в ЛЭП достаточно большая.

Выводы

Электромагнитные переходные процессы, происходящие при обрывах проводов в ЛЭП, могут фиксироваться системами дистанционного мониторинга атмосферных электромагнитных явлений. Проведенные исследования показали, что в момент разрыва провода в линии возникает значительный бросок напряжения, который может быть зафиксирован приемной станцией при дистанционном определении мест повреждений в ЛЭП с применением системы удаленного мониторинга повреждений.

Список литературы

1. *Шалыт, Г.М.* Определение мест повреждения в электрических сетях: учеб. для вузов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с.
2. *Шилин, А.А.* Анализ дистанционных методов определения мест повреждений линий электропередачи / А.А. Шилин, Н.С. Артюшенко // «Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт». – Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2016. – № 3 (15). – С.14-18.

Материал поступил в редколлегию 14.10.19.

DOI: 10.30987/conferencearticle_5e0282149bc3f8.33134220
УДК 531.259

Н.Р. Туркина, Н.А. Бильдюк, А.А. Рак
(г. Санкт-Петербург, Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)
N.R. Turkina, N.A. Bilyduk, A.A. Rak (St. Petersburg, Baltic State Technical University
"VOENMEH" named after D.F. Ustinov)

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЕМКОСТНОГО АППАРАТА С РУБАШКОЙ

FUNCTIONALITY OF THE CHEMICAL HORIZONTAL TANK APPARATUS
WITH A JACKET

Проведены статические расчеты, воздействия рабочего давления на химический горизонтальный емкостной аппарат с рубашкой.

Static calculations of the working pressure effects on the chemical horizontal tank apparatus with a jacket were carried out.

Ключевые слова: емкостный аппарат, статический расчет, напряжения, деформация.

Keywords: capacitive device, static calculation, stresses, deformation.