

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В ДВУХПРОВОДНЫХ ЛИНИЯХ

Чижов К.А., Быковская Л.В.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

В мощных линиях передачи электрической энергии на большие расстояния, в телефонных и телеграфных линиях, в антеннах радиотехнических устройств и других аналогичных установках, линейные размеры которых соизмеримы с длиной волны электромагнитного колебательного процесса, все изменения и превращения энергии электромагнитного поля распределены вдоль всей линии [1].

Параметры линии зависят от типа линии (воздушная, кабельная), геометрических размеров и расположения её проводов, их материала и частоты приложенного напряжения.

Согласно данным, опубликованным на сайте министерства энергетики РФ [2], потребление электроэнергии в целом по России в 2015 году составило 1036,4 млрд. кВт•ч. Очевидно, что спрос на эксплуатацию ЛЭП велик. Согласно статистическим данным на территории РФ [3] более 20% (по протяженности) воздушных линий электропередачи напряжением 220-500 кВ эксплуатируется свыше 40 лет, 67% – свыше 25 лет. Значительная протяженность ЛЭП требует проведения реконструкции, следовательно, встаёт ряд вопросов, связанных с проведением данного мероприятия. К примеру, выбор оборудования, которое придёт на смену старому. Очевидно, что новое оборудование должно превосходить старое по качественным показателям. Продуктивная модернизация достигается за счёт проведения исследований, по результатам которых анализируются показатели качества и эффективности того или иного оборудования, а также разрабатываются пути совершенствования этих качеств.

Детальным образом достоинства и недостатки устройств только практическими исследованиями не выявить. Выявить их с высокой точностью можно путём проведения исследований физических процессов, протекающих в этих устройствах. В настоящее время физические процессы, протекающие в электроустановках, описаны в мельчайших подробностях, следовательно, остаётся только грамотно использовать эти знания в совокупности с использованием современных технологий. С развитием компьютерных технологий моделирование физических процессов при проведении исследований осуществляется в виртуальном виде, а уже затем, при необходимости, в реальном. Данная логическая цепочка послужила основой для выбора темы исследования.

Как говорилось ранее, необходимость в передаче электроэнергии велика, так же отмечено то, что значительный объём устройств для передачи электроэнергии отслужил свой срок и требует замены, что подчёркивает необходимость проведения исследований в данной области. Эта необходимость существует в настоящее время, значит, она является актуальной, как и выбранная область и тема исследования.

Для исследования процессов передачи электромагнитной энергии в двухпроводной линии необходимо создать математическую модель, которая

позволяла бы устанавливать связь между величинами на входе и выходе такой линии. Прежде чем приступить к созданию такой математической модели, необходимо исследовать физическую модель двухпроводной линии, представленной на рисунке 1.

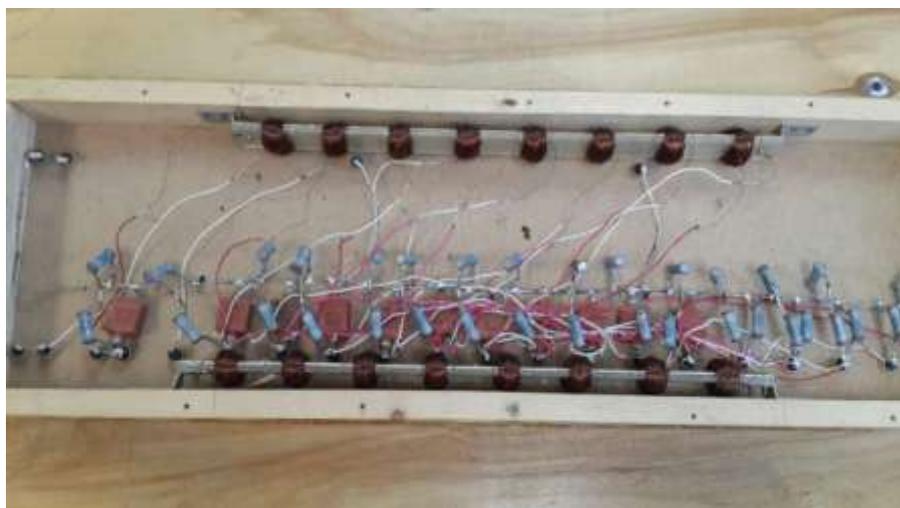


Рисунок 1 – Физическая модель двухпроводной линии

Модель состоит из шестнадцати четырехполюсников. Суммарная емкость каждого четырехполюсника $C_0=0,015$ мкФ, активное сопротивление провода индуктивной катушки $r_0=9$ Ом, индуктивность $L=4$ мГн. Электрическая схема двухпроводной линии приведена на рисунке 2.

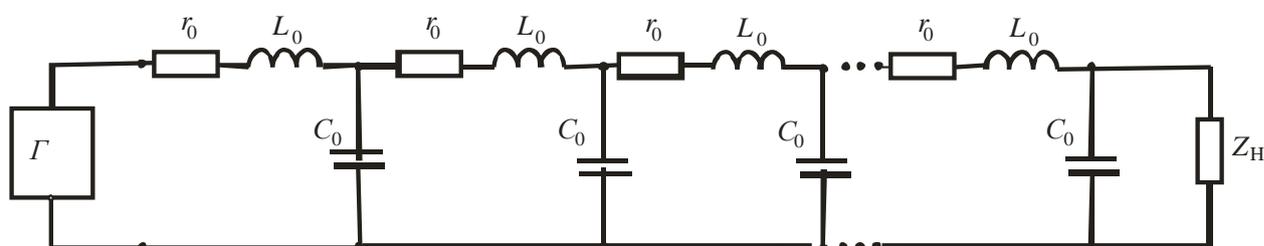


Рисунок 2 - Электрическая схема двухпроводной линии

Источником синусоидального напряжения служит генератор сигналов ГЗ-123, позволяющий изменять частоту питающего напряжения в диапазоне частот от 10 Гц до 200 кГц. При изменении частоты питающего напряжения можно добиться изменения длины волны, так как $\lambda = 2\pi/\beta$, где $\beta = \omega/v$. Здесь v - фазовая скорость распространения волны вдоль линии [4].

При подготовке к выполнению эксперимента были определены следующие величины: волновое (характеристическое) сопротивление, коэффициент фазы для одного звена цепочки линии на частоте $f=10$ кГц, параметры (длина l , волновое сопротивление Z_B и коэффициент фазы β) линии, эквивалентной одному четырёхполюснику и длину линии, эквивалентной цепочке из 16 звеньев.

При расчётах были приняты следующие допущения: фазовая скорость волны принимается равной скорости света, так как линия относится к воздушным и пренебрегли величиной r_0 , так как $\omega L_0 \gg r_0$.

Экспериментально были определены распределения действующего значения напряжения цепочки в режимах холостого хода - конец линии разомкнут, $\dot{I}_2 = 0$; $Z_H = \infty$, короткого замыкания - линия замкнута на её конце - $\dot{U}_2 = 0$; $Z_H = 0$ и при согласованной нагрузке - однородная линия в конце замкнута на нагрузку, сопротивление которой равно характеристическому (волновому) сопротивлению линии ($Z_H = Z_B$), рисунок 3.1-3.3.

Напряжения в узловых точках схемы замещения, соответствующие точкам по длине линии, измерялись электронным вольтметром. Проведенные опыты были подтверждены расчетами в системе Mathcad.

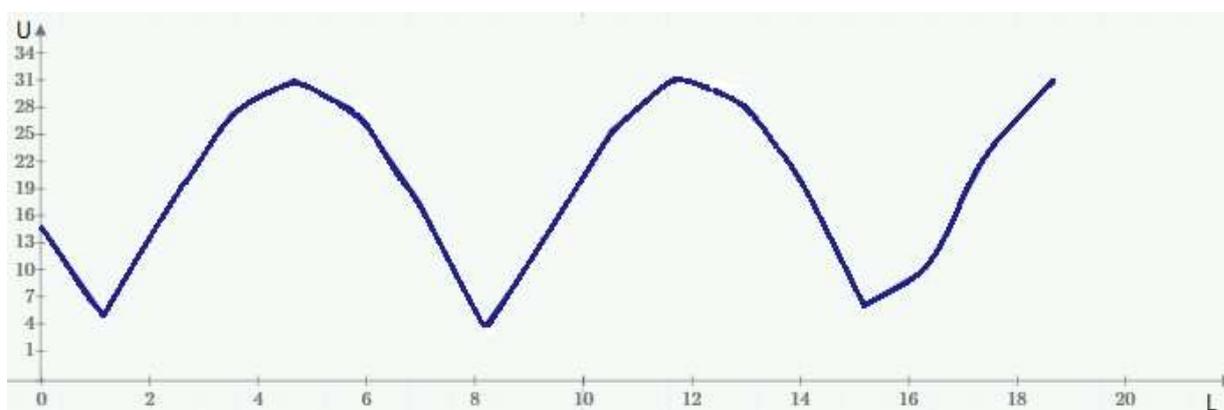


Рисунок 3.1 - Распределения действующего значения напряжения при холостом ходе

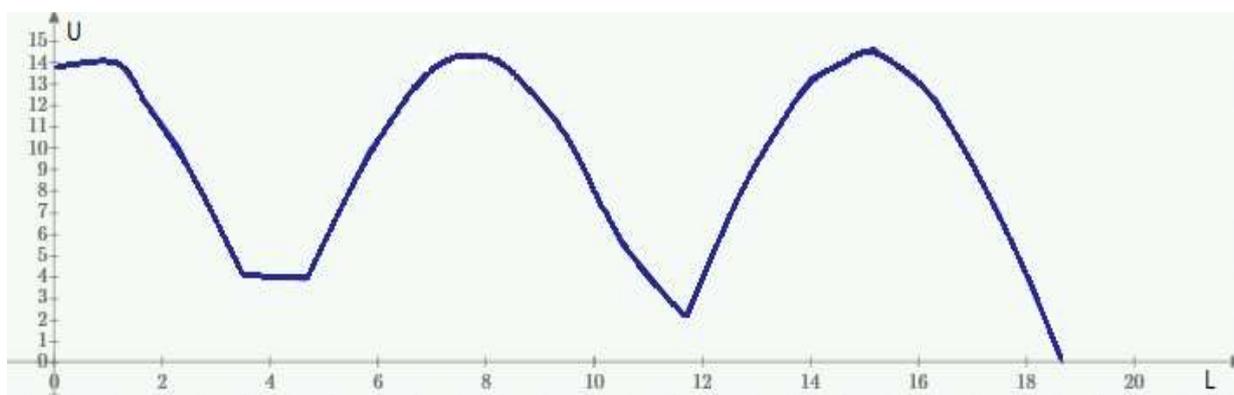


Рисунок 3.2 - Распределения действующего значения напряжения в режиме короткого замыкания

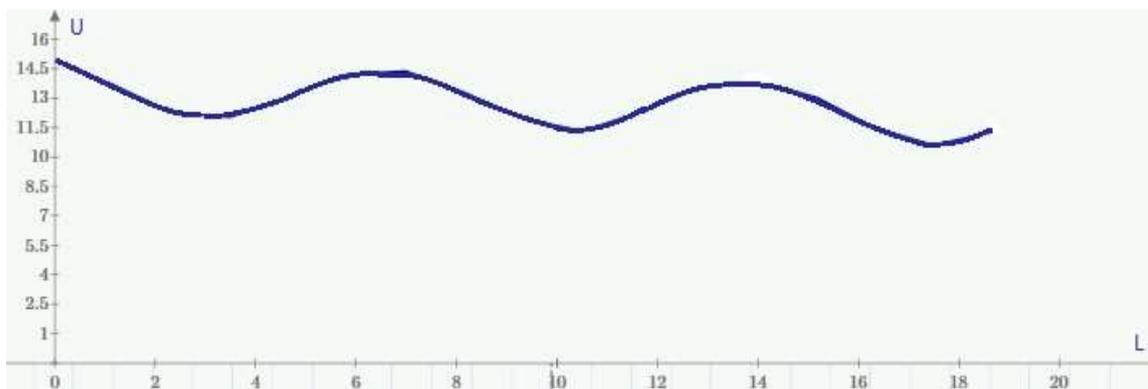


Рисунок 3.3 - Распределения действующего значения напряжения в режиме согласованной нагрузки

Условия отражения волны от конца линии, а, следовательно, и распределение напряжения и тока вдоль линии, зависят от того, в каком режиме работает линия, то есть на какое сопротивление замкнута линия на конце.

В режимах холостого хода и короткого замыкания, как известно [1], имеет место наложение двух незатухающих бегущих волн с одинаковыми амплитудами, то есть, образуются стоячие волны, что и было подтверждено экспериментально.

В согласованном режиме напряжение и ток падающей волны по мере передвижения от начала к концу линии монотонно убывают по величине (вследствие потерь), одновременно с этим у них будет изменяться фаза в сторону отставания.

Проведенные эксперименты позволяют использовать вышеописанную физическую модель двухпроводной линии в качестве образца для определения истинности её математического аналога.

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : Учебник. – 10-е изд. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с.
2. Потребление электроэнергии в ЕЭС России в 2015 году уменьшилось на 0,5 % по сравнению с 2014 годом [Электронный ресурс] : Министерство энергетики, 2016. URL: <http://minenergo.gov.ru/node/3851> (дата обращения: 30.10.2016).
3. Лебедева Ю.В., Шевченко Н.Ю., Бахтияров К.Н. Техническое состояние электрических сетей России и перспективы их развития // Современные проблемы науки и образования. – 2013.–№4.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9808> (дата обращения: 30.10.2016).
4. Быковская Л.В. Электрические цепи с распределёнными параметрами: методические указания для расчетно-графической работы/ Л.В.Быковская, В.В.Быковский. - Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2009. - 31 с.

