

4. Пропускная способность ЛЭП при ее согласовании с электрической нагрузкой увеличивается.

Литература

1. Большанин Г.А. Коррекция качества электрической энергии. Братск: БрГУ, 2007. 120 с.

2. Большанин Г.А. Распределение электрической энергии пониженного качества по участкам электроэнергетических систем. В 2 кн. Братск: БрГУ, 2006. Кн. 1. 807с.

3. Большанин Г.А., Большанина, Л.Ю., Марьясова Е.Г. Особенности распространения электрической энергии по трехпроводной ли-

нии электропередачи // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 3(11). С. 82-89

4. Справочник по проектированию электроснабжения, линий электропередачи и сетей / под ред. Я. М. Большама, В.И. Круповича, М. Л. Самовера. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1974. 695с.

5. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю. Г. Барыбина, Л. Е. Федорова, М. Г. Зименкова. М.: Энергоатомиздат, 1990. 576 с.

6. Чепмен Д. Практическое руководство по качеству электроэнергии [Электронный ресурс].

URL // <http://www.decsy.com/Text/docharm/problem.pdf>. (дата обращения: 15.05.2011).

УДК 621.311.004.12

Г.А. Большанин, Л.Ю. Большанина, Е.Г. Марьясова*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ МНОГОПОЛЮСНИКОВ И СИСТЕМЫ «МАТЛАБ» ПРИ РАСЧЕТЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Рассмотрены особенности распространения электрической энергии пониженного качества по неоднородным линиям электропередачи. Сформулированы законы распространения напряжений и тока по этим линиям. Представлены их графические интерпретации. Предложена методика анализа результатов транспортировки электрической энергии на основе теории многополюсников.

Ключевые слова: линия электропередачи, электрическая энергия пониженного качества, многополюсники, коэффициенты многополюсников, четырехполюсники, восьмиполусники, десятиполюсники, постоянная распространения электромагнитной волны.

Электрическая энергия, распространяемая по современным электроэнергетическим системам, часто отличается пониженным качеством, то есть заметными уровнями несинусоидальности, несимметрии, колебания и отклонения напряжений и токов. В данном случае интерес вызывает транспортировка такой электрической энергии от одного объекта системы электроснабжения к другому. Эта операция обычно реализуется при посредстве линий электропередачи (ЛЭП).

Анализ распределения электрической энергии пониженного качества по ЛЭП имеет свои особенности. В настоящее время определена методика анализа распределения по однородному участку ЛЭП электрической энергии на частоте какой-либо гармонической составляющей [1]. Результаты такого анализа

можно обобщить для всего спектра напряжений и токов. Но лишь для однородного участка ЛЭП.

Однородные ЛЭП – это идеализированный элемент электроэнергетической системы. Абсолютно однородных ЛЭП не существует. Но в каждой линии электропередачи можно выделить хотя бы относительно однородные участки. Границами этих однородных участков служат узлы или точки качественного раздела ЛЭП (изменение марки и взаимного расположения проводов, способа их прокладки, резкое изменение рельефа местности, состав грунта и т. п.). При анализе распределения электрической энергии предлагается представлять ЛЭП в виде цепной схемы, составленной из многополюсников, каждый из

которых замещает однородный участок линии электропередачи [2].

Число полюсов у многополюсников, замещающих однородные участки ЛЭП, зависит от способа исполнения анализируемых линий электропередач. Однородные участки однофазной ЛЭП замещаются четырехполюсниками (рис. 1), однородные участки трехфазных ЛЭП трехпроводного исполнения замещаются восьмиполюсниками (рис. 2), четырехпроводного исполнения – десятиполюсниками (рис. 3) и т. д.

Каждый многополюсник описывается уравнениями, иллюстрирующими связь входных характеристик электрической энергии с выходными. Так, четырехполюсник описывается двумя уравнениями, восьмиполюсник – шестью, десятиполюсник – восемью и т. д.

Например, А-форма уравнений четырехполюсника, замещающего однородный участок однопроводной ЛЭП, выглядит так:

$$\begin{cases} \dot{U}_{1n} = A\dot{U}_{2n} + B\dot{I}_{2n}; \\ \dot{I}_{1n} = C\dot{U}_{2n} + D\dot{I}_{2n}, \end{cases}$$

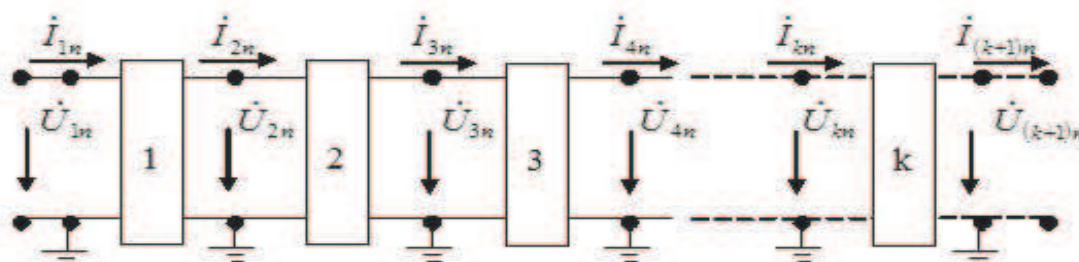


Рис. 1. Вариант представления однопроводной ЛЭП в виде цепной схемы.

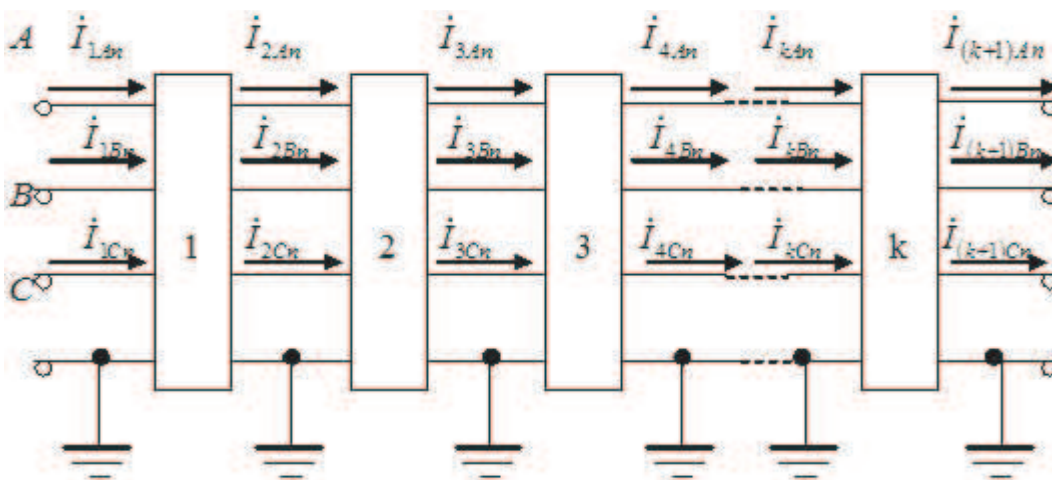


Рис. 2. Вариант представления трехфазной трехпроводной ЛЭП в виде цепной схемы.

где A , B , C и D – коэффициенты четырехполюсника, определяемые вторичными параметрами однородного участка анализируемой линии, то есть из соотношений постоянной распространения волн электромагнитного поля γ_n и соответствующего волнового сопротивления Z_{cn} [2]:

$$\begin{aligned} \dot{A} &= \dot{D} = ch\gamma_n l; \\ \dot{B} &= Z_{cn} sh\gamma_n l; \\ \dot{C} &= \frac{1}{Z_{cn}} sh\gamma_n l, \end{aligned}$$

где l – протяженность исследуемого участка ЛЭП.

Вторичные параметры каждого однородного участка ЛЭП могут быть определены из ее первичных параметров, представляющих собой параметры электрической схемы замещения этого участка.

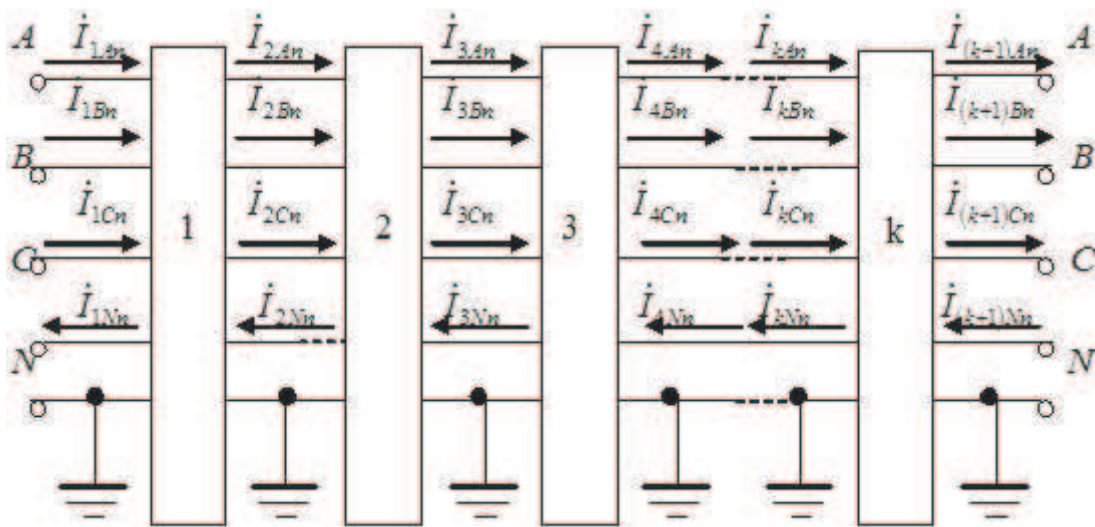


Рис. 3. Вариант представления трехфазной ЛЭП с изолированным нейтральным проводом в виде цепной схемы.

Основное достоинство цепных схем заключается в возможности объединения двух, трех и более многополюсников в один. Так, в результате объединения первого и второго четырехполюсников получается четырехполюсник, описываемый уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{1n} &= A_{(1-2)n} \dot{U}_{3n} + B_{(1-2)n} \dot{I}_{3n}; \\ \dot{I}_{1n} &= C_{(1-2)n} \dot{U}_{3n} + D_{(1-2)n} \dot{I}_{3n}, \end{aligned} \right\}$$

где $A_{(1-2)n}$, $B_{(1-2)n}$, $C_{(1-2)n}$ и $D_{(1-2)n}$ – коэффициенты четырехполюсника, объединяющего первый и второй четырехполюсники (рис. 1).

Таким образом, можно объединить все многополюсники, замещающие исследуемую ЛЭП. И тогда при известных входных или выходных характеристиках электрической энергии и первичных параметрах однородных участков ЛЭП появляется возможность определения напряжений и токов в любом месте исследуемой линии электропередачи.

Трехфазная трехпроводная ЛЭП представляется в виде совокупности восьмиполюсников, каждый из которых представляет собой отдельный однородный участок ЛЭП (рис. 2). Алгоритм определения первичных и вторичных параметров однородного участка такой ЛЭП изложен в [2, 3]. Причем каждый k -ый однородный участок отличается своими первичными и вторичными параметрами, а также характеризуется тремя постоянными распро-

странения волн электромагнитного поля по линейным проводам на частоте n -ой гармонической составляющей γ_{1nk} , γ_{2nk} , γ_{3nk} по числу пар волн электромагнитного поля, обеспечивающих передачу электрической энергии по трехпроводной ЛЭП.

Каждая пара волн электромагнитного поля представляет собой совокупность падающей и отраженной волн. Падающая волна электрической энергии перемещается от начала однородного участка к его концу, от источника к потребителю. А отраженная волна направлена, наоборот, от конца однородного участка к его началу, от потребителя к источнику [4]. Наличие падающих и отраженных волн подтверждается результатами экспериментальных исследований. Каждая пара волн характеризуется одной и той же постоянной распространения и фазовой скоростью. Наличие таких волн объясняет факт неравномерного распределения электрической энергии вдоль линий электропередачи.

При известных величинах фазных напряжений и линейных токов на входе трехфазной ЛЭП трехпроводного исполнения на частоте n -ой гармонической составляющей \dot{U}_{1An} и \dot{I}_{1An} , \dot{U}_{1Bn} и \dot{I}_{1Bn} , \dot{U}_{1Cn} и \dot{I}_{1Cn} выходные характеристики электрической энергии указанной частоты на k -ом однородном участке в линейном проводе A определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{(k+1)An} = & (\underline{D}_{[1-(k-1)]An} \underline{D}_{Akn} + \underline{C}_{[1-(k-1)]An} \underline{B}_{Akn}) \dot{U}_{1An} - \\ & - (\underline{B}_{[1-(k-1)]An} \underline{D}_{Akn} + \underline{A}_{[1-(k-1)]An} \underline{B}_{Akn}) \dot{I}_{1An} + \\ & + (\underline{N}_{[1-(k-1)]An} \underline{D}_{Akn} + \underline{E}_{[1-(k-1)]An} \underline{B}_{Akn}) \dot{U}_{1Bn} - \\ & - (\underline{O}_{[1-(k-1)]An} \underline{D}_{Akn} + \underline{F}_{[1-(k-1)]An} \underline{B}_{Akn}) \dot{I}_{1Bn} + \\ & + (\underline{P}_{[1-(k-1)]An} \underline{D}_{Akn} + \underline{G}_{[1-(k-1)]An} \underline{B}_{Akn}) \dot{U}_{1Cn} - \\ & - (\underline{Q}_{[1-(k-1)]An} \underline{D}_{Akn} + \underline{H}_{[1-(k-1)]An} \underline{B}_{Akn}) \dot{I}_{1Cn}; \\ \dot{I}_{(k+1)An} = & (\underline{A}_{[1-(k-1)]An} \underline{A}_{Akn} + \underline{B}_{[1-(k-1)]An} \underline{C}_{Akn} + \\ & + \underline{F}_{[1-(k-1)]Bn} \underline{F}_{Akn} + \underline{F}_{[1-(k-1)]Cn} \underline{H}_{Akn}) \dot{I}_{1An} - \\ & - (\underline{C}_{[1-(k-1)]An} \underline{A}_{Akn} + \underline{D}_{[1-(k-1)]An} \underline{C}_{Akn} + \\ & + \underline{E}_{[1-(k-1)]Bn} \underline{F}_{Akn} + \underline{E}_{[1-(k-1)]Cn} \underline{H}_{Akn}) \dot{U}_{1An} + \\ & + (\underline{F}_{[1-(k-1)]An} \underline{A}_{Akn} + \underline{A}_{[1-(k-1)]Bn} \underline{F}_{Akn} + \\ & + \underline{B}_{[1-(k-1)]Bn} \underline{E}_{Akn} + \underline{H}_{[1-(k-1)]Cn} \underline{H}_{Akn}) \dot{I}_{1Bn} - \\ & - (\underline{E}_{[1-(k-1)]An} \underline{A}_{Akn} + \underline{C}_{[1-(k-1)]Bn} \underline{F}_{Akn} + \\ & + \underline{D}_{[1-(k-1)]Bn} \underline{E}_{Akn} + \underline{G}_{[1-(k-1)]Cn} \underline{H}_{Akn}) \dot{U}_{1Bn} + \\ & + (\underline{H}_{[1-(k-1)]An} \underline{A}_{Akn} + \underline{H}_{[1-(k-1)]Bn} \underline{F}_{Akn} + \\ & + \underline{A}_{[1-(k-1)]Cn} \underline{H}_{Akn} + \underline{B}_{[1-(k-1)]Cn} \underline{G}_{Akn}) \dot{I}_{1Cn} - \\ & - (\underline{G}_{[1-(k-1)]An} \underline{A}_{Akn} + \underline{G}_{[1-(k-1)]Bn} \underline{F}_{Akn} + \\ & + \underline{C}_{[1-(k-1)]Cn} \underline{H}_{Akn} + \underline{D}_{[1-(k-1)]Cn} \underline{G}_{Akn}) \dot{U}_{1Cn}, \end{aligned}$$

где \underline{A}_{Akn} , \underline{B}_{Akn} , \underline{C}_{Akn} , \underline{D}_{Akn} , \underline{E}_{Akn} , \underline{F}_{Akn} , \underline{G}_{Akn} , \underline{H}_{Akn} , $\underline{A}_{[1-(k-1)]An}$, $\underline{A}_{[1-(k-1)]Bn}$, $\underline{A}_{[1-(k-1)]Cn}$, $\underline{B}_{[1-(k-1)]An}$, $\underline{B}_{[1-(k-1)]Bn}$, $\underline{B}_{[1-(k-1)]Cn}$, $\underline{C}_{[1-(k-1)]An}$, $\underline{C}_{[1-(k-1)]Bn}$, $\underline{C}_{[1-(k-1)]Cn}$, $\underline{D}_{[1-(k-1)]An}$, $\underline{D}_{[1-(k-1)]Bn}$, $\underline{D}_{[1-(k-1)]Cn}$, $\underline{E}_{[1-(k-1)]An}$, $\underline{E}_{[1-(k-1)]Bn}$, $\underline{E}_{[1-(k-1)]Cn}$, $\underline{F}_{[1-(k-1)]An}$, $\underline{F}_{[1-(k-1)]Bn}$, $\underline{F}_{[1-(k-1)]Cn}$, $\underline{G}_{[1-(k-1)]An}$, $\underline{G}_{[1-(k-1)]Bn}$, $\underline{G}_{[1-(k-1)]Cn}$, $\underline{H}_{[1-(k-1)]An}$, $\underline{H}_{[1-(k-1)]Bn}$, $\underline{H}_{[1-(k-1)]Cn}$, $\underline{N}_{[1-(k-1)]An}$, $\underline{O}_{[1-(k-1)]An}$, $\underline{P}_{[1-(k-1)]An}$ и $\underline{Q}_{[1-(k-1)]An}$ – коэффициенты k -го восьмиполосника и восьмиполосника, объединяющего с первого по $(k-1)$ -ый однородные участки анализируемой трехфазной трехпроводной ЭЭС пофазно на частоте n -ой гармонической составляющей. Методика определения численных значений этих коэффициентов по первичным и вторичным параметрам линии изложена в [2].

Аналогично определяются напряжения и токи в других проводах трехпроводной ЛЭП.

Анализируя подобным образом цепную схему, составленную из десятиполосников (рис. 3), можно оценить напряжение и токи в ЛЭП четырехпроводного исполнения [2, 5, 6, 7, 8]. Эту методику можно использовать при анализе ЛЭП и с большим количеством линейных проводов. Увеличение токоведущих

частей ЛЭП при таком анализе сопровождается увеличением полюсов у используемых при этом многополюсников.

Расчет результатов транспортировки электрической энергии по неоднородной линии электропередачи значительно упрощается при использовании системы «Matlab». Разработанная авторами программа Non-uniform [9] позволяет рассчитывать значения токов и напряжений для любой гармонической составляющей в любом месте неоднородной ЛЭП, состоящей из трех однородных участков, и получить графическую интерпретацию законов распространения этих характеристик электрической энергии вдоль любого из них.

Исходные данные (погонные омические, индуктивные и емкостные сопротивления, спектральный состав токов и напряжений в начале ЛЭП) здесь представляются в виде элементов глобальных матриц D , $D1$, $D2$, $D3$.

Для каждого однородного участка определяются постоянные распространения электромагнитного поля, фазные напряжения и линейные токи. На рис. 4 представлена графическая интерпретация закона распространения модуля напряжения фазы A на частоте 11-й гармонической составляющей вдоль 2-го однородного участка протяженностью 500 км, входящего в состав неоднородной ЛЭП. Для ее получения был вызван файл исходных данных,

```
>> Dan,
был задан номер гармоники,
>> n=11,
задана длина участка линии,
>> l1=1:500,
была вызвана команда
>> UA2=AspanA2(11,n),
а затем была вызвана команда
>> plot(l1,abs(UA2)),
```

в результате чего был построен нужный график (рис. 4). Он был получен при известных первичных параметрах каждого однородного участка анализируемой трехпроводной ЛЭП и фазных напряжений и линейных токов в начале линии. По оси абсцисс этого графика отложена протяженность ЛЭП; причем, нулевое значение оси абсцисс здесь соответствует началу линии, а ее максимальное значение (500 км) – ее концу.

Подобным образом можно определить и закон распространения вдоль 2-го однородного участка трехпроводной ЛЭП тока в линии A , а также получить его графическую интер-

претацию (рис. 5). Для этого необходимо вызвать команды

```
>> IA2=AstromA2(11,n);
```

```
>> plot(11,abs(IA2)).
```

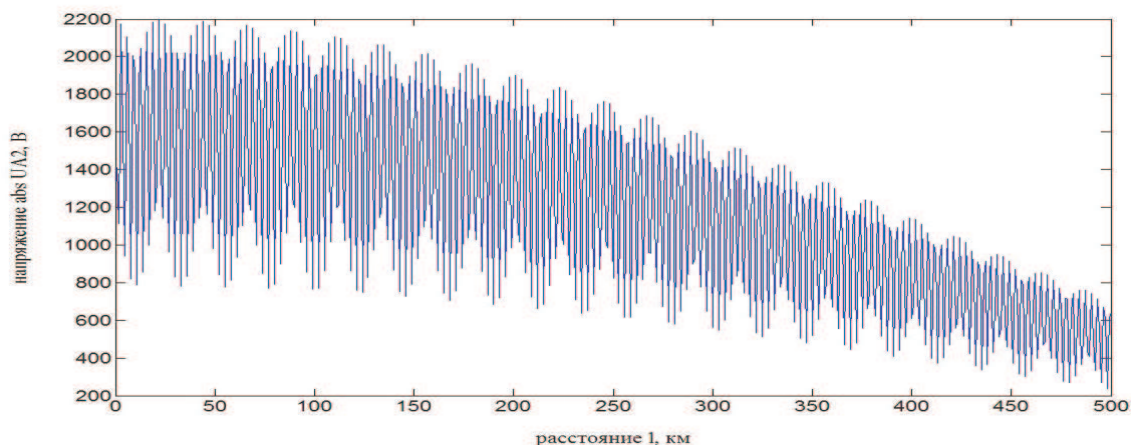


Рис. 4. Графическая интерпретация распределения модуля напряжения фазы *A* вдоль 2-го участка неоднородной трехпроводной ЛЭП на частоте 11-й гармонической составляющей.

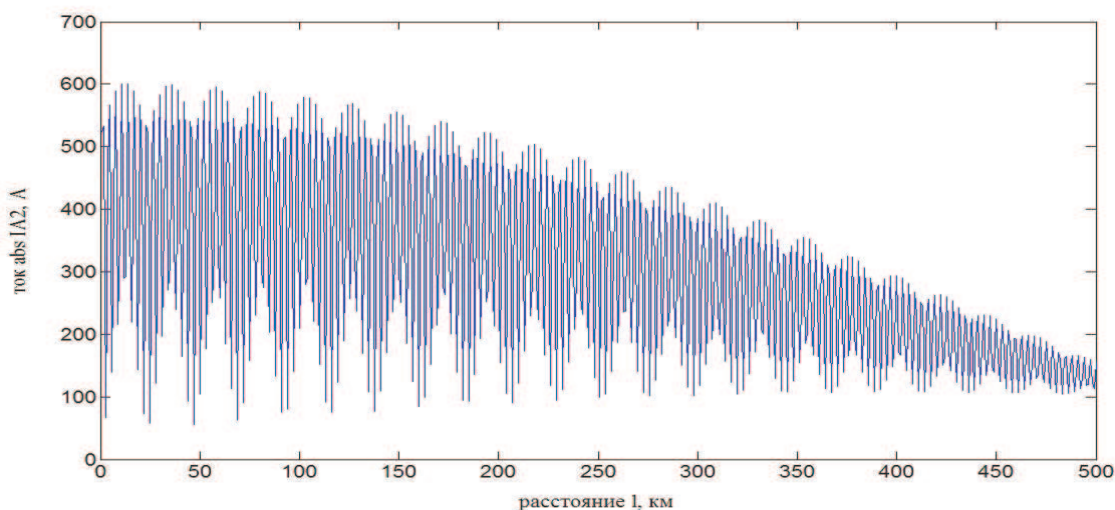


Рис. 5. Графическая интерпретация распределения модуля тока в линии *A* вдоль 2-го участка неоднородной трехпроводной ЛЭП на частоте 11-й гармонической составляющей.

Имея данные о входных характеристиках на первом участке, минуя расчеты параметров 2-го однородного участка, можно получить характеристики тока и напряжения в конце 3-го участка через коэффициенты восьмиполосника. При этом коэффициенты восьмиполосника, объединяющего 1-й и 2-й участки $KfAa12(11,l2,n), KfAb12(11,l2,n), KfAc12(11,l2,n), KfBa12(11,l2,n), KfBb12(11,l2,n), KfBc12(11,l2,n), KfQc12(11,l2,n)$, определяются в системе «Matlab» в виде представленного ниже модуля типа:

```
function Hb12=KfHb12(11,l2,n)
```

```
Hb12=Kf3Hb1(11,n).*Kf3Ab2(l2,n)+Kf3Ha1(11,n).*Kf3Fb2(l2,n)+...
```

```
Kf3Ac1(11,n).*Kf3Hb2(l2,n)+Kf3Bc1(11,n).*Kf3Gb2(l2,n);
```

Таким образом, можно рассчитывать величины токов и напряжений на любом участке неоднородной ЛЭП любой протяженности на частоте любой гармонической составляющей. Так, ток в конце 3-го (начале 4-го) однородного участка для линии *B* и графическая интерпретация закона его распространения вдоль этого участка (рис. 6) формируются в результате использования следующих команд:

```
>> l1=1:500;  
>> l2=1:500;  
>> l3=1:500;  
>> IB4=AstromB4(l1,l2,l3,n);  
>> plot(l3,abs(IB4)).
```

Поскольку напряжения и токи являются комплексными величинами, можно, кроме модулей, при необходимости определить также их вещественные и мнимые значения. На рис. 7 представлена графическая интерпретация распространения реальной, а на рис.

8 – мнимой части напряжения фазы B на частоте 11-й гармонической составляющей вдоль 3-го однородного участка протяженностью 500 км, входящего в состав неоднородной ЛЭП. Для построения этих графиков были использованы команды:

```
>> IB4=AstromB4(l1,l2,l3,n);  
>> plot(l3,real(IB4));  
>> plot(l3,imag(IB4));
```

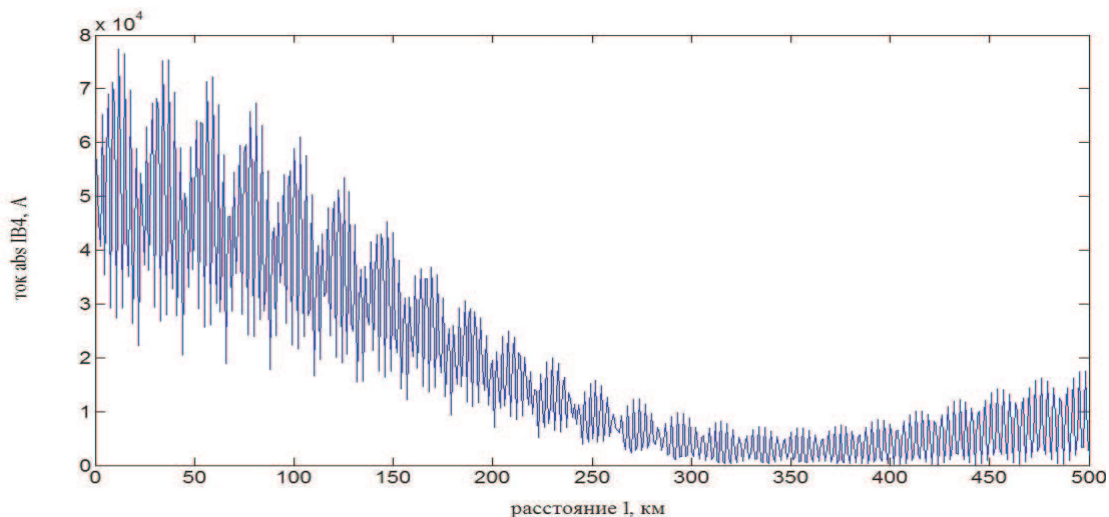


Рис. 6. Графическая интерпретация распределения модуля тока в линии B вдоль 3-го участка неоднородной трехпроводной ЛЭП на частоте 11-й гармонической составляющей.

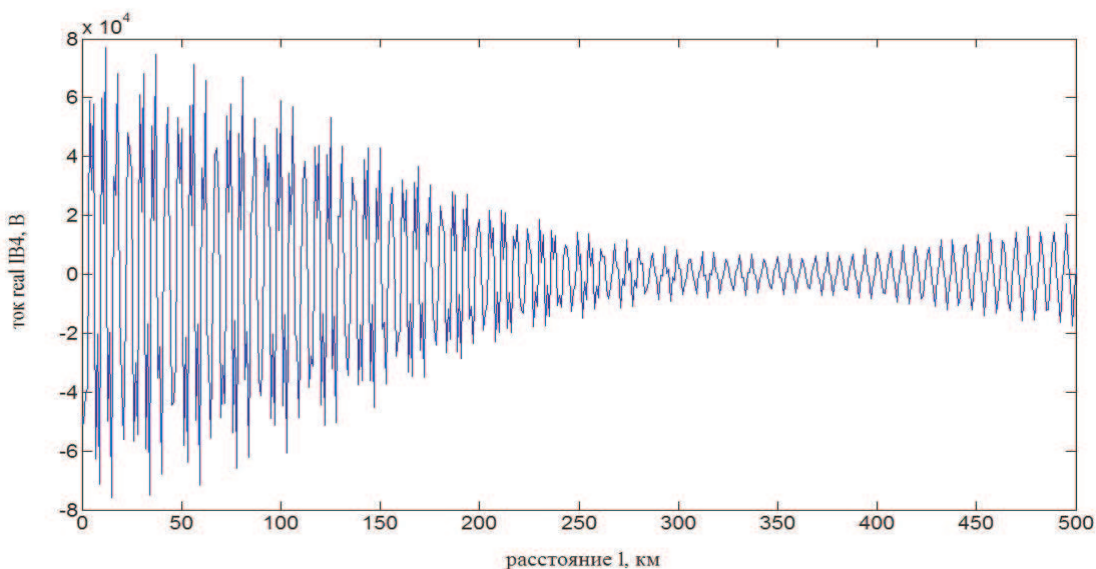


Рис. 7. Графическая интерпретация распределения реальной части тока в линии B вдоль 3-го участка неоднородной трехпроводной ЛЭП на частоте 11-й гармонической составляющей.

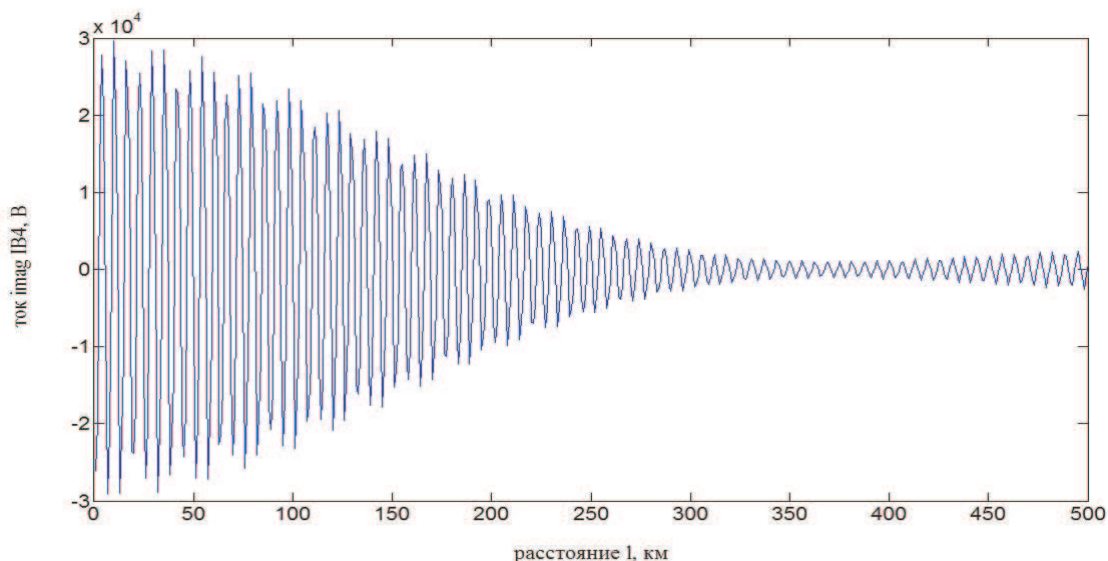


Рис. 8. Графическая интерпретация распределения мнимой части тока в линии B вдоль 3-го участка неоднородной трехпроводной ЛЭП на частоте 11-й гармонической составляющей.

Так, используя теорию многополюсников и операционную систему «Matlab», можно прогнозировать распространение электрической энергии любого качества по неразветвленной линии электропередачи.

Выводы

1. Расчету результатов транспортировки электрической энергии предшествует представление линии электропередачи в виде совокупности однородных участков.
2. При расчете результатов транспортировки электрической энергии пониженного качества целесообразно использовать теорию многополюсников. Для этого каждый однородный участок следует представить в виде многополюсника с последующим анализом составленной таким образом схемы.
3. Число полюсов у многополюсников зависит от количества линейных проводов: чем больше линейных проводов в линии электропередачи, тем больше полюсов у соответствующих многополюсников.
4. Расчет результатов транспортировки электрической энергии пониженного качества громоздок и значительно упрощается путем использования пакета прикладных программ «Matlab».

Литература

1. Большанин Г.А. Способ прогнозирования гармонических составляющих электриче-

ской энергии по неразветвленным участкам электроэнергетической системы: пат. 2210154, Рос. Федерация. № 2001106402; заявл. 06.03.01; опубл. 10.08.03. Бюл. № 22. 14 с.

2. Большанин Г.А. Распределение электрической энергии пониженного качества по участкам электроэнергетических систем. В 2 кн. / Г.А. Большанин. Братск, 2006. 807 с.

3. Большанин Г.А. Особенности распространения электрической энергии трехпроводной линии электропередачи. // Г. А. Большанин, Л.Ю. Большанина, Е. Г. Марьясова. // Системы. Методы. Технологии. – 2011. – №11. – С. 82-89.

4. Большанин, Г.А. К вопросу о волновой теории передачи электрической энергии по линиям электропередачи. / Г. А. Большанин, Л.Ю. Большанина, Е. Г. Марьясова. // Системы. Методы. Технологии. – 2010. – №3. – С. 71-76.

5. Большанин, Г. А. Распределение электрической энергии пониженного качества по однородному участку линии электропередачи четырехпроводного исполнения. / Г.А. Большанин, Л. Ю. Большанина. – Электро. – 2008. – №4. – С. 17-20.

6. Большанин, Г. А. Расчет параметров электрической энергии в трехфазной линии электропередачи четырехпроводного исполнения в операционной системе «Matlab». / Г. А. Большанин, Е.Г. Марьясова – Естественные и инженерные науки – развитию регио-

нов Сибири: материалы IX (XXXI) Всероссийской научно-технической конференции. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2010. – С 84.

7. Большанин, Г. А. Применение операционной системы «MATLAB» для расчета параметров электрической энергии трехфазной линии электропередачи четырехпроводного исполнения. / Г. А. Большанин, Л. Ю. Большанина, Е.Г. Марьясова – Труды Братского государственного университета: Сер.: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: в 2 т. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2010. – Т.2. – С 73-79.

8. Большанина, Л. Ю. Расчет параметров трехфазной четырехпроводной линии элект-

тропередачи (FOUR-WIRE v. 1.00) (Программа для ЭВМ). / Л. Ю. Большанина, Г. А. Большанин, Е.Г. Марьясова – № 2010615868 от 8.09.2010.

9. Марьясова, Е.Г. Расчет параметров неоднородной трехфазной трехпроводной линии электропередачи (Non-uniform v. 1.00): Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010615868 / Е.Г. Марьясова, Г.А. Большанин, Л.Ю. Большанина. – 2010614162, Заявл. 13.07.10; Рег. 08.09.10.

УДК 621.865.8

*В.В. Лузгин, С.Л. Витковский**

АНАЛИЗ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Предлагаются структурная схема системы зажигания, обобщенная схема замещения трансформатора импульсов и его физико-математическая модель, на основании которых приводится анализ диагностической информации функциональных связей элементов системы зажигания и ее переходных процессов. Рассмотрены взаимосвязи величин структурных параметров элементов системы зажигания с характером проявления их постепенных отказов. Излагается сущность методов диагностирования системы зажигания, разработанных авторами.

Ключевые слова: диагностическая информация, переходные процессы, система зажигания, обобщенная схема трансформатора импульсов системы зажигания, физико-математическая модель.

Если состояние объекта диагностики при заданной глубине диагноза определено, то он обладает критическим свойством, заключающимся в том, что все приходящие извне возмущения известны или измеряются (в противном случае они должны быть пренебрежимо малы для заданной глубины диагноза), т.е. объект диагностики является информационно плотным [1].

Чтобы решить вопрос, является ли система зажигания как часть двигателя информационно плотной, составим ее структурную схему (рис. 1).

Согласно приведенной структурной схеме система зажигания состоит из прерывателя PP , трансформатора импульсов $ТИ$ и высоковольтного разрядника $ВР$. Двигатель $Д$ и система зажигания подвержены возмущениям $В$ окружающей среды. Возмущения $В$ можно не учитывать, если в процессе диагностирования

они не оказывают существенного влияния на переходные процессы системы зажигания.

Прерыватель PP , включающий в себя привод $П$, контакты $К$ и устройства опережения зажигания $УОЗ$, генерирует неравномерную последовательность импульсов $ПИ$, длительность, частота и фаза которых определяются состоянием входящих в него устройств и состоянием двигателя. Постоянная составляющая сдвига фазы импульсов θ , относительно начальной фазы коленчатого вала (точки ВМТ), определяется состоянием $УОЗ$ и возмущений со стороны двигателя по моменту нагрузки M_n и скорости вращения коленчатого вала $n_{кв}$. Неравномерность длительности и фазы импульсов при постоянной скорости вращения коленчатого вала определяется кинематической погрешностью цепи от коленчатого вала до распределителя, которая является интегральной оценкой и характеризует состояния: зубчатой передачи от коленчатого

* - автор, с которым следует вести переписку.