

### Цитированная литература

1. Долгов, А. Ю. Повышение эффективности статистических методов контроля и управления технологическими процессами изготовления микросхем : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Алексей Юрьевич Долгов ; МГАПИ. – Москва, 2000. – 16 с. – Текст : непосредственный.

2. Долгов, А. Ю. Повышение точности оценок параметров контрольной выборки малого объема / А. Ю. Долгов. – Текст : непо-

средственный // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 6(58). – С. 119–123.

3. Долгов, Ю. А. Методы повышения точности вычисления параметров выборки малого объема (метод точечных распределений) / Ю. А. Долгов. – Текст : непосредственный // Вестник Приднестровского университета. Сер. : Физико-математические и технические науки. – 2010. – № 1(36). – С. 232–242.

4. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с. – Текст : непосредственный.

УДК 621.31+519.6(075.8)

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ХАРАКТЕРИСТИК К РАСЧЕТУ ТРЕХФАЗНЫХ ЛИНИЙ

Ф.М. Ерхан, В.К. Римский, Р.А. Слобозиян

*Изложен точный метод расчета переходных и установившихся процессов в многопроводных линиях без потерь при произвольных начальных и граничных условиях. В качестве примеров приведены результаты расчетов пропускной способности трехфазных линий электропередачи с волновой длиной  $\lambda/2$ ,  $\lambda/4$ ,  $\lambda/8$ ,  $\lambda/16$  в режиме бегущих и смешанных волн при разнесенных и близких фазных проводах.*

**Ключевые слова:** телеграфные уравнения, метод характеристик, переходные и установившиеся процессы, линии электропередачи, генерируемая и передаваемая мощность, взаимовлияние проводов.

## USAGE OF THE CHARACTERISTICS METHOD TO CALCULATE THREE-PHASE LINES

F.M. Erhan, V.K. Rimsky, R.A. Slobozian

*The article reveals the exact method for calculating transient and steady-state processes in multi-wire lines without losses under arbitrary initial and boundary conditions. As examples, the authors give the results of calculating the throughput of three-phase lines with a wavelength of  $\lambda/2$ ,  $\lambda/4$ ,  $\lambda/8$ ,  $\lambda/16$  in the mode of traveling and mixed waves with separated and close phase wires.*

**Keywords:** telegraph equations, method of characteristics, transient and steady-state processes, power lines, generated and transmitted power, mutual influence of wires.

### Введение

Трехфазная система энергоснабжения является величайшим изобретением чело-

вечества, но, как ни странно, она изучена слабо. В учебниках по электроснабжению, теоретическим основам электротехники да и в других источниках и специальной

литературе отсутствуют элементарные сведения о точных количественных характеристиках процессов передачи мощности по линиям переменного тока различной волновой длины.

Для источника синусоидального напряжения частотой 50 Гц длина волны  $\lambda$  составляет примерно 6000 км, электромагнитная волна пробегает ее за 20 мс.

В технической литературе очень часто утверждается примерно следующее: пропускная способность ЛЭП определяется величиной активной мощности, которую линия может передать при выполнении всех условий, обуславливающих ее нормальную работу; натуральная мощность кабельных линий на порядок больше, чем воздушных; передаваемая мощность зависит от длины линии, волновых характеристик (волнового сопротивления и коэффициента изменения фазы).

Прямо скажем: информация весьма скудная.

В специальной литературе можно встретить много рассуждений общего характера о том, что линии с длиной, близкой к полуволновой, обладают рядом неоспоримых преимуществ по сравнению со всеми остальными. Не меньший интерес вызывает длина  $\lambda/8$ , по которой согласно «анатомии» линии переменного тока нель-

зя передать больше одного номинала мощности [1–3].

Много также говорится об эффекте увеличения натурального тока вследствие сближения фазных проводов. Однако какие-то конкретные численные данные на сей счет отсутствуют, хотя, по нашему мнению, они должны фигурировать в учебной и справочной литературе.

Натуральная мощность, пропускная способность и предельная длина воздушных линий электропередачи (ЛЭП) напряжением 35 кВ и выше приведены в табл. 1.

Поэтому вызывает очевидный интерес определение зависимости передаваемой мощности не только от длины трехфазной электропередачи, но и от ее волнового сопротивления, которое уже не является скалярной величиной, как в случае использования однопроводной модели, а представляет собой матрицу  $Z_B = L^{1/2}C^{-1/2}$ .

## 1. Постановка задачи

Для разрешения обозначенной проблемы нет иного пути, кроме как интегрировать телеграфные уравнения при соответствующих начальных и граничных условиях.

Таблица 1

Пропускная способность и дальность передачи  
линий электропередачи напряжением 35...1150 кВ

Напряжение линии, кВ	Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Передаваемая мощность, МВт		Длина ЛЭП, км	
		натуральная	при плотности тока 1,1 А/мм <sup>2</sup>	предельная при КПД 0,9	средняя между двумя соседними ПС
35	70...150	3	4...10	25	8
110	70...240	30	13...45	80	25
150	150...300	60	38...77	250	20
220	24...400	135	90...150	400	100
<b>330</b>	<b>2·240...2·400</b>	<b>360</b>	<b>270...450</b>	<b>700</b>	<b>130</b>
500	3·300...3·500	900	770...1300	1200	280
750	5·300...5·500	2100	1500...2000	2200	300
<b>1150</b>	<b>8·300...8·500</b>	5200	4000...6000	3000	–

Чтобы максимально обнажить суть вопроса, сформулируем начально-краевую задачу для длинной линии без потерь  $R = G = 0$ :

$$L \frac{\partial \vec{i}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{u}}{\partial x} = 0; \quad C \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{i}}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

где  $C$ ,  $L$  – симметричные матрицы собственных (продольных) и взаимных емкостей и индуктивностей;  $a^2 CL = E$  – единичная матрица, а через скалярную величину  $a$  обозначена скорость распространения волн потенциала и тока.

На отправном конце (в начале линии)  $x = 0$  источник синусоидального напряжения моделируется граничными условиями, представленными зависимостью

$$\begin{aligned} u_1(0, t) &= U_0 \sin(2\pi ft), \\ u_2(0, t) &= U_0 \sin(2\pi ft - 2\pi/3), \\ u_3(0, t) &= U_0 \sin(2\pi ft + 2\pi/3). \end{aligned} \quad (2)$$

В конце (на приемном конце) линии  $x = l$  задаем значение ожидаемой чисто активной нагрузки в виде мгновенных ожидаемых величин, и мгновенное значение напряжения в любой момент времени в любой точке ЛЭП определится так:

$$\vec{u}(l, t) = R_l \vec{i}(l, t). \quad (3)$$

Если уравнение (3) представить в виде покоординатной записи, то получим выражения для начала линии и для конца линии, по которым можно определить значение напряжения линии:

$$u_1(l, t) = R_{11} i_1(l, t) + R_{12} i_2(l, t) + R_{13} i_3(l, t); \quad (4)$$

$$u_2(l, t) = R_{21} i_1(l, t) + R_{22} i_2(l, t) + R_{23} i_3(l, t);$$

$$u_3(l, t) = R_{31} i_1(l, t) + R_{32} i_2(l, t) + R_{33} i_3(l, t). \quad (5)$$

Для симметричной нагрузки типа «звезда» при выполнении условий

$$\begin{aligned} R_{12} = R_{21} = R_{13} = R_{31} = R_{23} = R_{32} = 0; \\ R_{11} = R_{22} = R_{33} = R_s \end{aligned} \quad (6)$$

имеется один параметр, который при  $R_s = 0$  моделирует режим короткого замыкания (КЗ), а при  $R_s = \infty$  моделирует режим холостого хода (ХХ – нагрузка отключена).

При выполнении условия

$$R_l = Z_B = \sqrt{L/C} = L^{1/2} \cdot C^{-1/2} \quad (7)$$

в линии реализуется режим бегущих волн: полное поглощение всей подводимой к нагрузке энергии (вся энергия передается в нагрузку прямой волной).

Если нагрузка присоединяется одновременно к трем фазам, то согласно закону Кирхгофа следует задать такие граничные соотношения, которые соответствуют условиям:

$$\begin{aligned} u_1(l, t) = u_2(l, t) = u_3(l, t) = u(l, t), \\ i(l, t) = i_1(l, t) + i_2(l, t) + i_3(l, t), \\ u(l, t) = R_s \cdot i(l, t). \end{aligned} \quad (8)$$

## 2. Метод характеристик

Если умножить скалярно первое уравнение системы (1) на  $a^2 C$ , а второе – на  $a$ , то получится система уравнений:

$$a^2 CL \frac{\partial \vec{i}}{\partial t} + a^2 C \frac{\partial \vec{u}}{\partial x} = 0; \quad aC \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + a \frac{\partial \vec{i}}{\partial x} = 0. \quad (9)$$

Если сложим, а затем вычтем полученные результаты, то с учетом соотношения  $a^2 CL = E$  получим эквивалентную систему уравнений:

$$\frac{\partial \vec{i}}{\partial t} \pm aC \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} \pm a \frac{\partial \vec{i}}{\partial x} + a^2 C \frac{\partial \vec{u}}{\partial x} = 0. \quad (10)$$

Если ввести обозначения  $\vec{I}^\pm \equiv \vec{i} \pm aC\vec{u}$ , то дифференциальные выражения (10) можно представить в виде уравнения

$$\frac{\partial \bar{I}^{\pm}}{\partial t} \pm a \frac{\partial \bar{I}^{\pm}}{\partial x} = 0. \quad (11)$$

Из общего решения формулы  $\bar{I}^{\pm} = \bar{\varphi}(x \mp at)$  следует, что введенные римановы инварианты сохраняют постоянные значения  $\bar{I}^{\pm} \equiv \bar{i} \pm aC\bar{u} = \text{const}$  вдоль прямых  $dx/dt = \pm a$ , называемых характеристиками гиперболической системы дифференциальных уравнений (1).

Для расчета искомых функций в краевой точке ( $x = 0$ ) используются инварианты  $\bar{I}^{-} \equiv \bar{i} - aC\bar{u}$ , сохраняющие постоянные значения вдоль семейства прямых с отрицательным наклоном  $dx/dt = -a$ .

Вместе с тремя заданными граничными условиями они образуют систему из шести алгебраических уравнений с шестью неизвестными в любой точке дискретизации по времени на прямой ( $x = 0$ ). Таким же образом используется инвариант  $\bar{I}^{+} \equiv \bar{i} + aC\bar{u}$  для нахождения временных значений токов и напряжений в приемнике.

Отсюда следует, что режим бегущих волн, когда сопротивление приемника согласуется с сопротивлением линии и не генерирует отраженных волн, может быть реализован только при выполнении условия (7), что графически представлено на рис. 1.

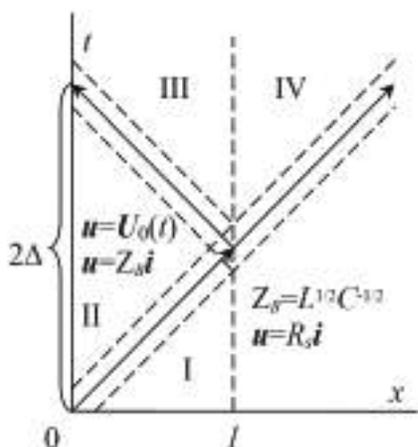


Рис. 1. Конфигурация волновых фронтов на плоскости  $xt$  в линии длиной  $l$

Метод характеристик, являясь главным составным элементом *PaPuRi*-алгоритма, носит в основном иллюстративный характер. В частности, он позволяет получить формулу для определения входных токов в многопроводной линии электропередачи, когда известны входные напряжения:

$$\bar{i} = aC\bar{u}. \quad (11a)$$

### 3. Результаты вычислительных экспериментов

Поскольку любому установившемуся режиму всегда предшествует нестационарный волновой процесс, то и их расчет следует проводить в рамках единого подхода, по единообразным формулам, в той же последовательности, какая имеет место в реальности. Установившееся или квазиустановившееся распределение тока и напряжения в электрической цепи должно получаться в качестве следствия стационарирования переходного процесса и никак иначе.

Рассмотрим вначале трехфазные линии без учета взаимовлияния фазных проводов  $C = L = E$  с целью установить зависимость передаваемой мощности от значения нагрузочного сопротивления.

На рис. 2 представлена динамика изменения генерируемой и передаваемой мощности для полуволновой линии ( $l = \lambda/2$ ) при значениях сопротивления  $R_s = 1; 1/5; 5$ , что позволяет сразу обнаружить обратную пропорциональную зависимость передаваемой мощности от варьируемого параметра:  $P_1 = 1,5; 7,5; 0,3$ .

Если в качестве номинальной принять мощность  $P_0 = 1,5$ , то для идеальных электропередач ( $l = 1/2\lambda, 1\lambda, 3/2\lambda, 2\lambda, \dots$ ) получим формулу  $P_1(R_s) = P_0/R_s$ .

Таким образом, по линиям с волновой длиной, кратной  $\lambda/2$ , можно передать неограниченную мощность в режиме, близком к КЗ:  $R_s \rightarrow 0$ .

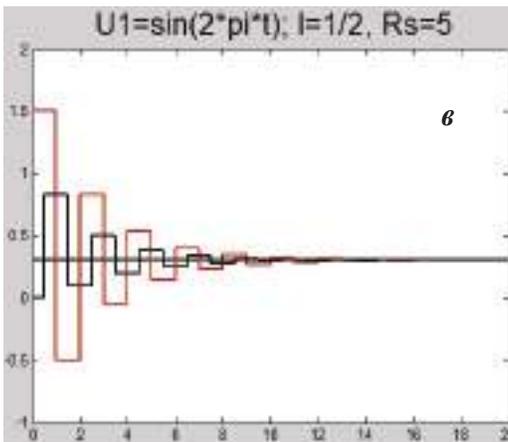
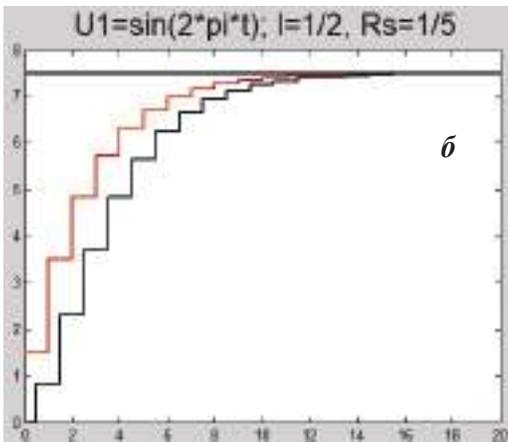
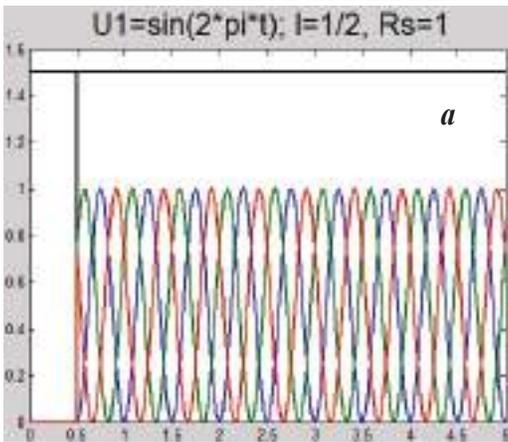


Рис. 2. Динамика изменения генерируемой и передаваемой мощности для полуволновой линии  $l = 1/2 \lambda$  при следующих значениях нагрузочного сопротивления: а -  $R_s = 1$ ; б -  $R_s = 1/5$ ; в -  $R_s = 5$

Для четвертьволновой линии ( $l = \lambda/4$ ) получается прямо пропорциональная зависимость передаваемой и потребляемой мощности от нагрузочного сопротивления:  $P_1(R_s) = P_0 R_s$  (рис. 3).

При значении нагрузки  $R_s = 1/5$ ; 5 получаются в точности такие же значения мощности, как при  $R_s = 5$ ;  $1/5$  для полуволновой линии ( $l = \lambda/2$ ).

Таким образом, и по идеальной четвертьволновой линии ( $l = \lambda/4$ ) можно передать сколь угодно большую мощность, но уже в режиме, близком к ХХ:  $R_s \rightarrow \infty$ .

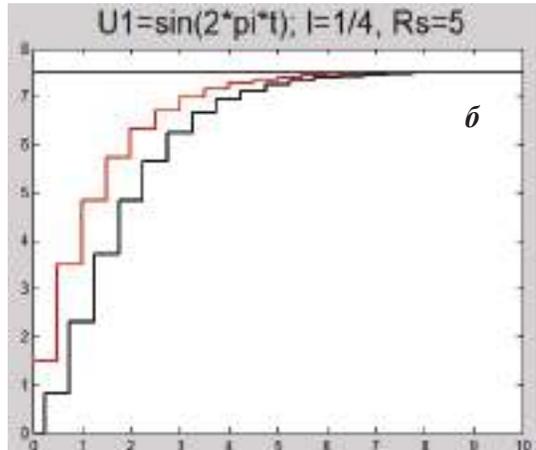
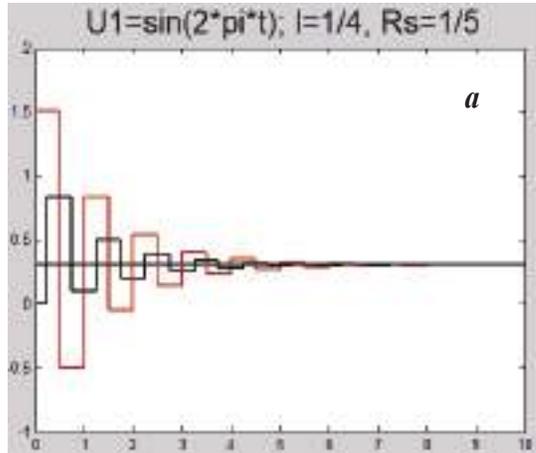


Рис. 3. Динамика изменения генерируемой и передаваемой мощности для четвертьволновой линии ( $l = \lambda/4$ ) при значениях нагрузочного сопротивления: а -  $R_s = 1/5$ ; б -  $R_s = 5$

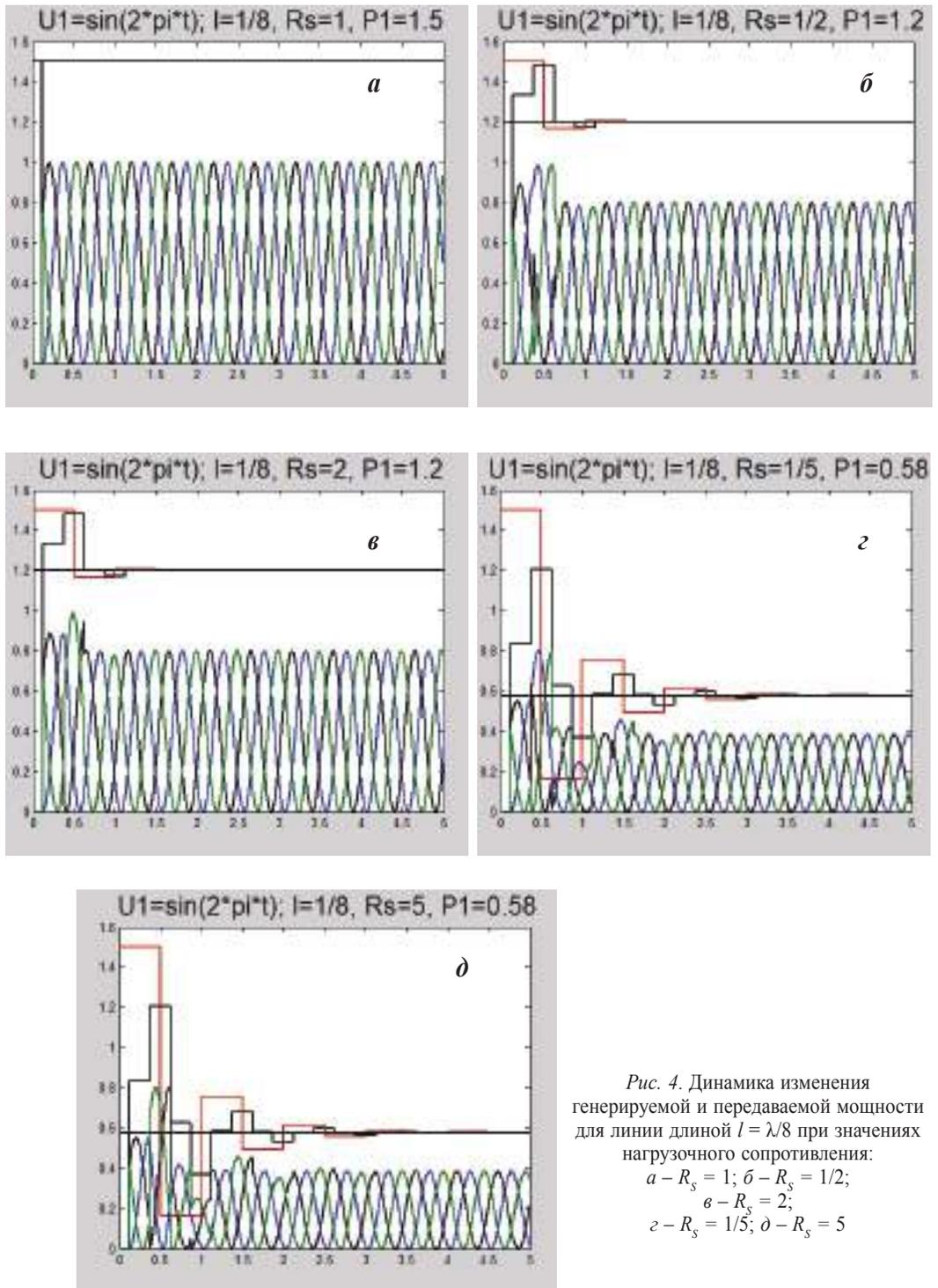


Рис. 4. Динамика изменения генерируемой и передаваемой мощности для линии длиной  $l = \lambda/8$  при значениях нагрузочного сопротивления:  
 $a - R_s = 1; б - R_s = 1/2;$   
 $в - R_s = 2;$   
 $г - R_s = 1/5; д - R_s = 5$

Обратимся теперь к линии с волновой длиной  $l = \lambda/8$ .

При таком варианте (рис. 4) нас ожидает первый не совсем приятный сюрприз в виде уравнения типа  $P_1(R_S) = P_1(1/R_S)$ .

Что же получается? По линии длиной  $l = \lambda/8$ , т. е. вдвое меньшей, чем четверть-волновая ( $l = \lambda/4$ ), нельзя в принципе передать больше одного номинала мощности, что достигается только в режиме бегущих волн  $P_1(1) = P_0 = 1,5$ .

Таковыми же «мертвыми» нагрузочными узлами оказываются линии электропередачи с длиной волны  $l = \lambda/8; 3\lambda/8; 5\lambda/8$ , на что было указано еще в работах [1–4].

При проведении повторных расчетов, но уже с учетом взаимовлияния горизонтально расположенных проводов задаем матрицы реактивных параметров трехфазной линии в виде соотношений:

$$C = \begin{pmatrix} 31.98 & -22.99 & -4.04 \\ -22.99 & 50.90 & -22.99 \\ -4.04 & -22.99 & 31.98 \end{pmatrix} \text{ нФ/км;}$$

$$Z_B = \begin{pmatrix} 281 & 212 & 188 \\ 212 & 257 & 212 \\ 188 & 212 & 281 \end{pmatrix} \text{ Ом;} \quad (12)$$

$$C = \begin{pmatrix} 2.64 & -1.90 & -0.33 \\ -1.90 & 4.21 & -1.90 \\ -0.33 & -1.90 & 2.64 \end{pmatrix};$$

$$Z_B = \begin{pmatrix} 1.01 & 0.76 & 0.68 \\ 0.76 & 0.93 & 0.76 \\ 0.68 & 0.76 & 1.01 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Для однопроводной модели линии электропередачи технические параметры принимают значения:

$$C = 12,10 \text{ нФ/км, } L = 0,9348 \text{ мГн/км,} \\ a = 297 \text{ 336 км/с, } Z_B = 278 \text{ Ом} \\ \text{или } C = L = a = Z_B = 1.$$

Численные значения матриц были рассчитаны достаточно точно на основе решения полевой задачи для уравнений электростатики [5].

Представим графически зависимость от времени генерируемой и передаваемой мощности для трехфазных линий длиной  $l = \lambda/2; \lambda/4; \lambda/8; \lambda/16$  со сближенными фазами при двух вариантах нагрузочных сопротивлений:  $R_S = Z_B; 1$  (рис. 5–8).

Когда линия электропередачи замкнута на согласованную нагрузку  $R_S = Z_B$ ,

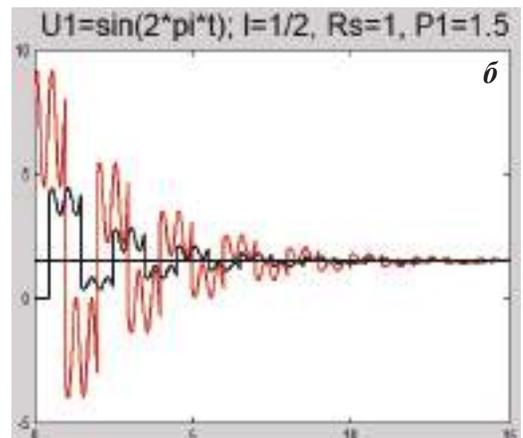
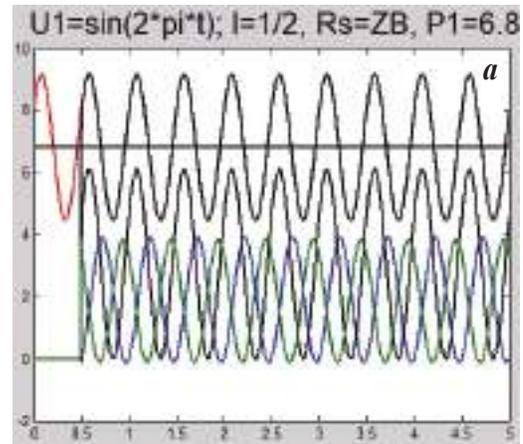


Рис. 5. Динамика изменения генерируемой и передаваемой мощности для полуволновой линии ( $l = \lambda/2$ ) со сближенными фазами при значениях нагрузочного сопротивления: а –  $R_S = Z_B$ ; б –  $R_S = 1$

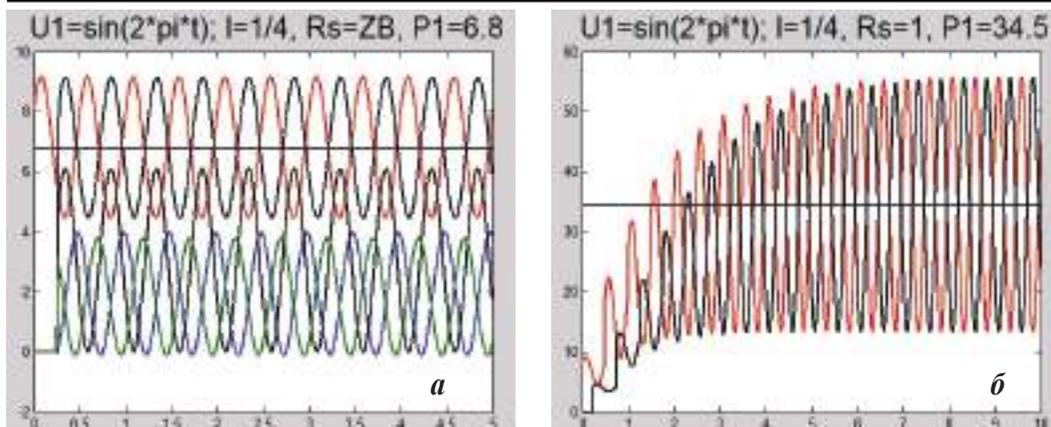


Рис. 6. Динамика изменения генерируемой и передаваемой мощности для четвертьволновой линии ( $l = \lambda/4$ ) со сближенными фазами при значениях нагрузочного сопротивления: а -  $R_s = Z_B$ ; б -  $R_s = 1$

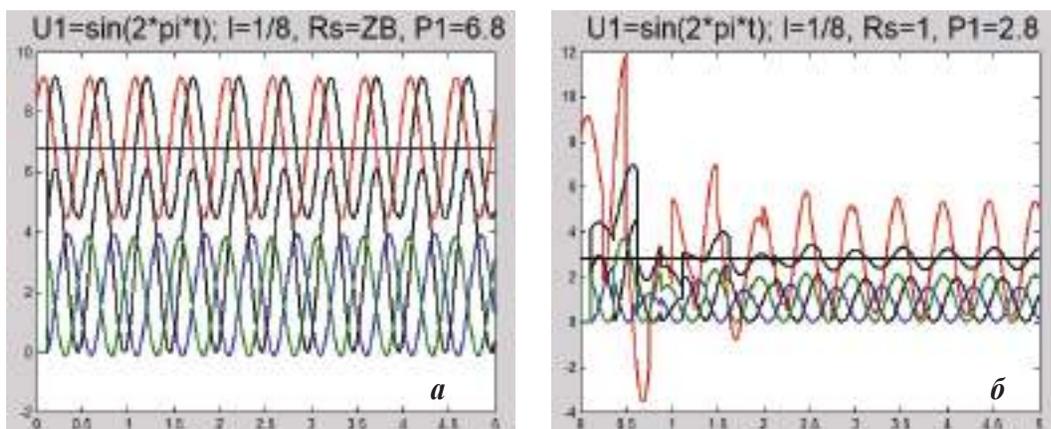


Рис. 7. Динамика изменения генерируемой и передаваемой мощности для линии длиной  $l = \lambda/8$  со сближенными фазами при значениях нагрузочного сопротивления: а -  $R_s = Z_B$ ; б -  $R_s = 1$

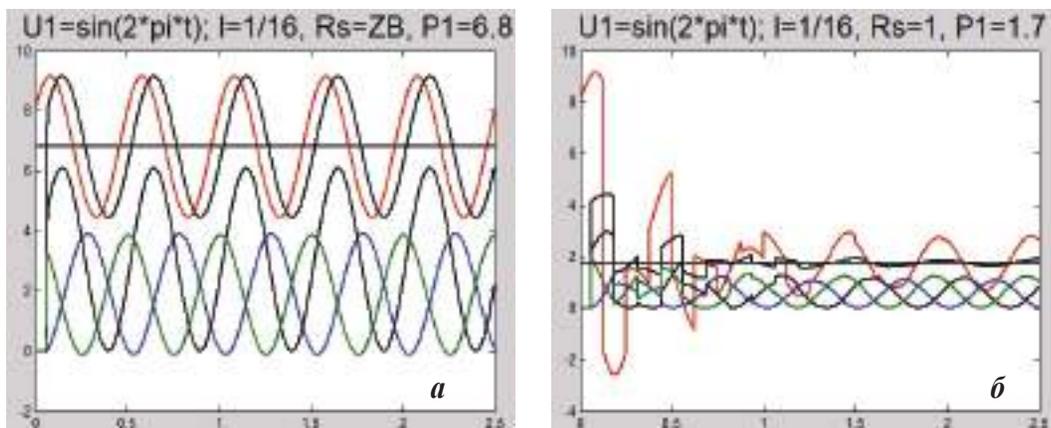


Рис. 8. Динамика изменения генерируемой и передаваемой мощности для линии длиной  $l = \lambda/16$  со сближенными фазами при значениях нагрузочного сопротивления: а -  $R_s = Z_B$ ; б -  $R_s = 1$

то во всех четырех случаях получают-ся идентичные результаты:  $P_1(Z_B) = 4,55$   $P_0 = 6,83$ .

Полученные значения передаваемой мощности показывают, что максимально возможная передаваемая мощность составляет более четырех с половиной номиналов.

Если для определения приведенных первичных параметров трехфазной линии электропередачи воспользоваться приближенными формулами, не учитывающими геометрию поперечных сечений проводов [4, 6, 7], то численные значения реактивных параметров трехфазной линии электропередачи представленных расчетных матриц в виде соотношений примут численные значения, представленные матрицами:

$$C = \begin{pmatrix} 29.27 & -20.78 & -2.08 \\ -20.78 & 43.87 & -20.78 \\ -2.08 & -20.78 & 29.27 \end{pmatrix} \text{ нФ/км;}$$

$$Z_B = \begin{pmatrix} 278 & 212 & 170 \\ 212 & 278 & 212 \\ 170 & 212 & 278 \end{pmatrix} \text{ Ом;} \quad (14)$$

$$C = \begin{pmatrix} 2.42 & -1.72 & -0.17 \\ -1.72 & 3.63 & -1.72 \\ -0.17 & -1.72 & 2.42 \end{pmatrix};$$

$$Z_B = \begin{pmatrix} 1 & 0.76 & 0.61 \\ 0.76 & 1 & 0.76 \\ 0.61 & 0.76 & 1 \end{pmatrix}. \quad (15)$$

В таком варианте аналитические расчеты показывают, что максимально возможная передаваемая мощность отличается от идеального варианта, но тоже составляет более четырех с половиной номиналов и соответственно равна  $P_1(Z_B) = 4,03$   $P_0 = 6,04$ .

Как видим, погрешность не является столь значительной (фатальной) и ею можно пренебречь при проведении инженерных расчетов, так как она не превышает 5 % ( $\Delta < 5\%$ ).

Колебания мощности можно значительно снизить, если, например, для четвертьволновой линии ( $l = \lambda/4$ ) уменьшить величину фазного напряжения срединного провода в 1,75 раза для  $R_S = Z_B$  и в 4 раза для  $R_S = 1$ , но при этом, конечно же, уменьшается и среднее за период значение мощности (рис. 9).

При треугольном расположении фаз линии электропередачи матрицы собствен-

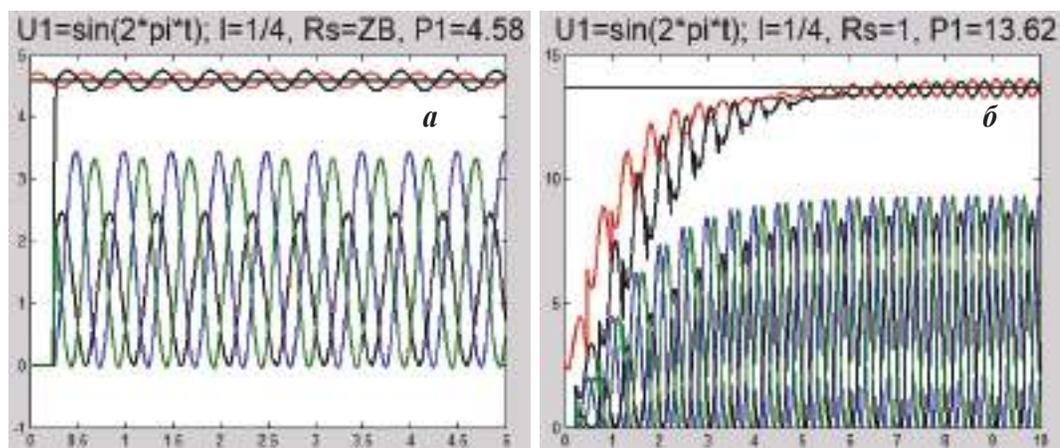


Рис. 9. Динамика изменения генерируемой и передаваемой мощности для линии длиной  $l = \lambda/4$  со сближенными фазами при уменьшении фазного напряжения срединного провода в 1,75 (а) и 4 (б) раза

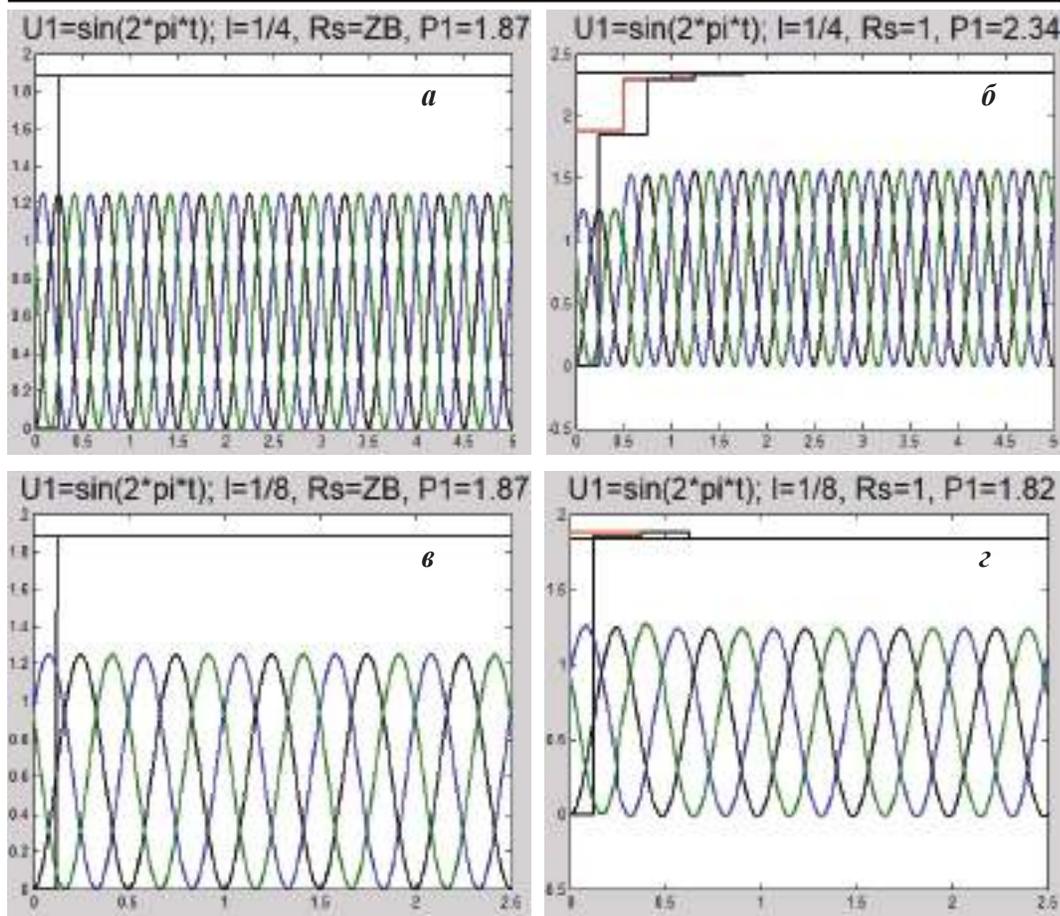


Рис. 10. Динамика изменения генерируемой и передаваемой мощности для линий длиной  $l = \lambda/4$  (а, б) и  $\lambda/8$  (в, г) при треугольном расположении фазных проводов

ных и взаимных емкостей такой линии и волновых сопротивлений могут быть представлены уравнениями:

$$C = \begin{pmatrix} 1 & -0.25 & -0.25 \\ -0.25 & 1 & -0.25 \\ -0.25 & -0.25 & 1 \end{pmatrix};$$

$$Z_B = \begin{pmatrix} 1.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.4 & 1.2 & 0.4 \\ 0.4 & 0.4 & 1.2 \end{pmatrix}. \quad (16)$$

В таком случае эффект увеличения передаваемой мощности за счет сближенных фаз значительно ослабевает (рис. 10).

## Вывод

Проведен предварительный параметрический анализ влияния длины трехфазной линии электропередачи и ее нагрузочного сопротивления на передаваемую мощность в переходном и установившемся режимах. Сразу встает вопрос: как на практике реализовать режим бегущих волн, чтобы вся подводимая к нагрузке электромагнитная энергия полностью ею поглощалась? Для этого нужны, как минимум, два потребителя, один из которых подключается по схеме «звезда», а другой – по схеме

«треугольник». Для решения рассмотренных задач с учетом потерь в линии уже надо использовать *PaPuRi*-алгоритм [5], который дает столь же точные результаты, как и метод характеристик.

### Цитированная литература

1. Как увеличить передаваемую мощность в десятки раз / В. К. Римский, В. П. Берзан, В. И. Пацюк [и др.]. – Кишинев : Типография АНМ, 2007. – 178 с. – Текст : непосредственный.

2. Волновые явления в неоднородных линиях. Т. 4. Параметрические цепи / В. К. Римский, В. П. Берзан, В. И. Пацюк [и др.]. – Кишинев : Типография АНМ, 2008. – 552 с. – Текст : непосредственный.

3. Волновые явления в неоднородных структурах. Т. 5. Теория и методы расчета

электрических цепей, электромагнитных полей и защитных оболочек АЭС / В. К. Римский, В. П. Берзан, В. И. Пацюк [и др.]. – Кишинев : Типография АНМ, 2008. – 664 с. – Текст : непосредственный.

4. Erhan, F. M. Bazele teoretice ale electrotehnicii / F. M. Erhan. – Chisinau : UASM, 2009. – 675 p.

5. Берил, С. И. *PaPuRi*-алгоритм, тесты, молниеотвод, шифратор (должен знать каждый выпускник технического вуза планеты) / С. И. Берил, В. К. Римский, А. Э. Алхазов. – Кишинев : РИЦ МолдГУ, 2018. – 264 с. – Текст : непосредственный.

6. Erhan, F. M. Bazele teoriei circuitelor electrice / F. M. Erhan. – Chisinau : UASM, 2015. – 786 p.

7. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – Москва : ЮРАЙТ, 2016. – 768 с. – Текст : непосредственный.

УДК 519.878

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РЕКОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ПМР

Ф.Ю. Бурменко, Е.А. Царюк, А.А. Цыулян

*Рассмотрена проблема обеспечения надежной работы и безопасной эксплуатации газораспределительной сети. Комплексное исследование состояния и развития сетей газоснабжения, методов реконструкции и факторов позволит выбрать оптимальный метод реконструкции распределительных газопроводов.*

**Ключевые слова:** газораспределительные сети, реконструкция газопроводов, методы восстановления.

## MODELING OF THE PROCESS OF SELECTING THE OPTIMAL OPTION FOR RECONSTRUCTION OF DISTRIBUTION GAS PIPELINES IN THE PMR

F.Y. Burmenko, E.A. Tsaryuk, A.A. Tsyulyan

*The article discusses the problem of ensuring reliable operation and safe operation of the gas distribution network. A comprehensive study of the state and development of gas supply networks, reconstruction methods and factors will allow us to choose the optimal method for the reconstruction of gas distribution pipelines.*

**Keywords:** gas distribution networks, reconstruction of pipelines, restoration methods.