

4. Mikhlin V.M., Savin I.G. Minimizatsiya izderzhek na edinitse raboty mashinno-traktornogo parka // Vestnik Rossel'khoz-akademii. – 1998. – № 3.

5. Piskarev A.V. Nadezhnost' tekhnologicheskikh sistem mashinoispol'zovaniya v rastenievodstve: Sovershenstvovanie metodov proektirovaniya i ekspluatatsii na osnove sistemnogo podkhoda: monografiya. – Novosibirsk: NGAU, 2011. – 384 s.

6. Zavora V.A., Belokurenko S.A. Osnovy mashinoispol'zovaniya. – Barnaul, 2012. – 186 s.

7. Goryachev S.A. Novaya struktura - mashinno-tekhnologicheskii kompleks // Sel'skii mekhanizator. – 2011. – № 11. – S. 4-5.

8. Zavora V.A. Mashino-tekhnologicheskie stantsii i ikh tekhnicheskoe obespechenie // Vestnik Chelyabinskii GAU. – 2004. – № 42. – S. 71-73.



УДК 534.1:621.315



**Е.В. Ивойлов, С.М. Слободян**  
Ye.V. Ivoylov, S.M. Slobodyan

## ПРИНЦИП ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ В КОНТРОЛЕ СОСТОЯНИЯ ИНДУКТИВНОСТИ

### THE PRINCIPLE OF GOLDEN SECTIONS IN TESTING INDUCTANCE

**Ключевые слова:** оценка, золотое сечение, входное сопротивление, индуктивность.

Рассмотрены подход и методика дискретного описания топологии структуры и рекуррентного представления прохождения тока и напряжения сигналов в индуктивных структурах, с учётом протекающих в них процессов. Исследованы особенности дискретного представления индуктивных структур и процессов передачи в них сигналов. Обосновано применение разностных уравнений и рекуррентных математических процедур для анализа состояния индуктивных структур при нарушении исходно однородной их топологии и модели топологии катушки индуктивности, учитывающей особенности этих нарушений. Получены выражения разностных уравнений формализованного описания физического принципа действия дискретного эквивалента катушки индуктивности и найдены их решения для одинакового и разного типа реактивности продольного и поперечного сопротивлений этого дискретного эквивалента катушки индуктивности. Как вариант предложена дискретная математическая модель однородной топологии индуктивной структуры в виде дискретного эквивалента катушки индуктивности. Приведено описание модели индуктивной структуры разностными уравнениями как дискретной аппроксимации принципа действия эквивалента катушки индуктивности. Найдены решения этих разностных уравнений для разного типа реактивности продольного и

поперечного сопротивлений дискретной модели эквивалента топологии катушки индуктивности. Решением уравнений найдено, что относительное сопротивление дискретного эквивалента элементарного витка катушки индуктивности с нарушенной топологией совпадает с числовым значением понятия «золотого сечения». Показано, что величина входного сопротивления витковой исходно однородной топологии структуры катушки индуктивности определяется величиной  $z_1$  значения комплексного сопротивления предложенного варианта дискретного эквивалента элементарного витка этой индуктивной структуры. Обосновано, что разностные уравнения и рекуррентные процедуры широко применяют потому, что решать разностные уравнения любой физической задачи гораздо проще, чем дифференциальные уравнения, особенно при знании первых  $N$  значений выходного сигнала исследуемого элемента индуктивной структуры.

**Keywords:** estimation, golden section, input resistance, inductance.

The approach and methodology of structure topology and recurrent view discrete description of the current and voltage signals in inductive structures are considered. It is taking into account the processes in inductive structures. The features of the discrete representation of inductive structures and signaling in them were studied. The application of

difference equations and recurrence mathematical procedures for inductive structures analysis at breakdown of was justified. It was taken the features of breakdown of the basic homogeneous topology and topology inductor model. It was obtained the difference equations expressions for formalized description of the physical principle of the inductors discrete artificial device operation. And their solution for the same and different types of longitudinal and transverse reactivity resistances was found. Alternatively, a discrete mathematical model of homogeneous inductive structure topology for a discrete inductor artificial device was proposed. The description of the inductive structure model by difference equations as a discrete approximation of the inductors artificial device operating principle was given. The solution of these equations for different types of longitudinal

and transverse reactivity resistances of discrete inductors artificial device topology model was found. Solution of these equations makes clear that the relative resistance of the discrete elementary of inductors artificial device with not breakdown topology concurs with the numerical value of "golden section" concept. It is shown that the value of the input resistance of coil basically homogeneous topology structure of the inductor is determined by the value of the complex resistance  $z_1$  of the discrete elementary of proposed inductors artificial device topology. It was justified that the difference equations and recurrence procedures are widely used because of their simple solving in any physical tasks in contrast with differential equations. It is becoming particularly marked when the first  $N$  values of the output signal of an inductive element are known.

**Ивойлов Евгений Вячеславович**, аспирант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. E-mail: zhekaiv@mail.ru.

**Слободян Степан Михайлович**, д.т.н., проф., Национальный исследовательский Томский политехнический университет. E-mail: sms\_46@ngs.ru.

**Ivoylov Yevgeniy Vyacheslavovich**, Post-Graduate Student, Natl. Research Tomsk Polytechnic University. E-mail: zhekaiv@mail.ru.

**Slobodyan Stepan Mikhaylovich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Natl. Research Tomsk Polytechnic University. E-mail: sms\_46@ngs.ru.

### Введение

Катушка индуктивности как элемент находит широкое применение [1-12]: в реализации электромагнитного принципа бесконтактной передачи энергии в процессе взаимодействия полей катушек индуктивности (трансформатор); при передачи энергии на резонансных частотах с применением контуров ( $LC$ ); в технологиях создания  $IP$ -модулей систем на кристалле, с малой индуктивностью  $\sim 0,1-10$  нГн; в усилителях мощности, активных СВЧ-фильтрах, элементах оптической связи; управления магнитными подшипниками с обратной связью по магнитному потоку (активные подшипники) и т.д. Поэтому вопрос качества индуктивных структур и катушки индуктивности, эффективности их работы часто является определяющим для самого факта действия индуктивного элемента и содержащих его устройств. Индуктивные структуры – базовые элементы блоков бесконтактной передачи энергии, резонансных ( $LC$ ) контуров и шунтов, называемых реакторами в энергетике, и другие системы, основаны на индукционном принципе создания электромагнитного поля как источника воздействия на среды и объекты управления. Один из способов поддержания высокой надёжности элементов техники – эффективный контроль и диагностика их состояния. Методы диагностики состояния индуктивной структуры используют разные участки электромагнитного спектра сигналов: оптический, инфракрасный, акустический, тепловой и т.п. [1-11]. Диагностика и выявление нарушений

элементов индуктивных структур на ранней стадии развития и путей их устранения весьма важны.

**Цель и задачи анализа.** Указанные обстоятельства определяют цель и задачи изложенного ниже анализа и изучения особенностей изменения исходно однородной индуктивной структуры при замыкании витков с целью определения взаимосвязи изменения параметров в преобразованной замыканием индуктивной структуре исходно однородной топологии. Это же определяет и актуальность исследования влияния замыканий витков индуктивной структуры на эффективность заданных ей функций [6-13].

Ниже проведено исследование влияния смены принципа действия индуктивной структуры с однородной топологией витков при наличии в ней нарушения – замыкания смежных витков, меняющего её топологию.

### Основные положения

При исследовании поведения индуктивных структур основное внимание уделяется расчетам токов и напряжений как сигналов, действующих в электрических цепях этих устройств [1-12]. Математически сигналы задаются временной функцией – непрерывной переменной во времени  $t$ . Поведение элементов и систем описывается линейными дифференциальными уравнениями целочисленного порядка с постоянными коэффициентами. Такое представление реакции элементов на действие сигналов равносильно описанию рациональными функциями

ми комплексной частоты некоторым оператором [6-12]. Проблема измерения характеристик и качества состояния индуктивности – основного элемента скользящего токоёмка, электромагнитных устройств ускорения тел и сгустков плазмы, электрических машин и т.п. – актуальна до сих пор. Для диагностики используют широкий класс воздействий. Это требует обобщения описания и анализа особенностей математических моделей индуктивности при декомпозиции, особенно, многозвенных, tandemного или лестничного типа, структур. Расширенное обобщение представляет большой интерес для исследования, оценки возможности и более тонкого анализа и синтеза широкого спектра реальных конструкций индуктивных структур и узлов.

При аналитическом обобщении не менее важно оценить адекватность пренебрежения некоторыми, иногда считающимися не столь существенными, параметрами и характеристиками принятых исследователем моделей. Это необходимо, во-первых, для уточнения с большим вниманием в анализе к некоторым свойствам индуктивных структур (их линейности и инвариантности) и, во-вторых, что важно, на адекватности пренебрежений малого влияния некоторых параметров при оценке и диагностике состояния даже простейшей индуктивности. Часто именно пренебрежение малым влиянием параметра, а также смена типа индуктивных структур элементов и систем ведет к параметрическим колебаниям и, как следствие, к возникновению неконтролируемого, так называемого, детерминированного хаоса в критических узлах и граничных режимах работы элементов и систем [7-10].

**Дискретное представление процессов.** Широкое развитие элементов и средств микропроцессорной и компьютерной техники, используемых в средствах измерения и диагностики процессов, вызывает интерес к рассмотрению особенностей дискретного во времени режима работы средств, математических методов и описания процессов, основанных на дискретном представлении тестовых сигналов. В микропроцессорных средствах сигналы не непрерывные функции времени, а дискретны – вида счетных последовательностей. Их отсчеты обозначают:  $x[n]$ ,  $y[n]$ ,  $z[n]$ ,  $\xi[n]$  и т.д. [12]. Квадратные скобки указывают на то, что заключенная в них переменная дискретного времени  $n$  принимает на временной оси целые значения: ..., -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, ... Представление дискретных сигна-

лов аналогично непрерывным: в виде графиков, таблиц, формул [13].

Дискретная основа построения моделей физических процессов и дискретный образ принципа действия свойственны многим физическим явлениям и элементам. Пример: периодичность расположения витков индуктивных структур катушек, дросселей, реакторов, трансформаторов. К дискретным моделям приводит математическая формализация многих структур со свойственной им регулярностью представления и отображения в пространстве, в том числе дискретизация непрерывных сигналов с высокой (не ниже интервала дискретизации Найквиста и Котельникова) периодичностью следования отсчетов – выборки функции изменения процесса. Компьютеры способны решать сложные задачи вида описания многомерных систем нелинейными дифференциальными уравнениями, неразрешимых другим путём. Компьютерное моделирование практически заменило стадию создания макетов при проектировании систем. В описании устройств и систем, принцип действия которых основан на дискретном представлении сигналов и математических моделей, часто применяют разностные уравнения или рекуррентные процедуры – аналоги непрерывных дифференциальных уравнений. Многие особенности решения разностных уравнений в общей постановке являются отражением линейных дифференциальных уравнений. Численное интегрирование дифференциальных уравнений включает разностные уравнения при замене производных разностными выражениями [13-14]:

$$\dot{x}(t) = \frac{dx(t)}{dt} = \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t},$$

где  $\Delta t$  – приращение (интервал) времени между двумя смежными отсчетами непрерывной функции, подлежащей дискретизации.

Линейное разностное уравнение  $N$ -порядка с постоянными коэффициентами, устанавливающее связь дискретных отсчетов входного сигнала – воздействия  $x[n]$  некоторого элемента с выходным сигналом  $y[n]$  – реакции элемента на входное воздействие, имеет вид [12-14]:

$$\sum_{m=0}^N a_m y[n+m] = \sum_{l=0}^N b_l x[n+l]. \quad (1)$$

Ему соответствует функция передачи индуктивного элемента:

$$\tilde{\Phi}(\xi) = \sum_{l=0}^N b_l \xi^l / \sum_{m=0}^N a_m \xi^m,$$

где  $\xi = y/n$ .

Разностные уравнения как рекуррентные процедуры широко применяют потому, что решать разностные уравнения гораздо проще, чем дифференциальные уравнения, особенно зная первые  $N$  значений выходного сигнала исследуемого элемента. При этом (1) принимает вид:

$$y[n+N] = \sum_{l=0}^N b_l x[n+l] - \sum_{m=0}^N a_m y[n+m],$$

откуда, зная входной сигнал и предшествующую реакцию элемента  $y[n]$ ,  $y[1]$ , ...,  $y[N-1]$ , легко находится  $y[n]$ . Последовательной итерацией находят любой отсчет  $y[N+1]$ ,  $y[N+...]$ . При использовании разностных уравнений для аппроксимации решений дифференциальных уравнений важен выбор  $\Delta t$  интервала взятия дискретных выборок. При большом  $\Delta t$  погрешность аппроксимации может быть велика; при малом  $\Delta t$  – растёт число итераций и объем вычислений, в результате падает быстродействие и эффективность применяемых алгоритмов и методов оценки параметра.

Реакцию исследуемой структуры при нулевом входном воздействии (собственные свойства структуры) определит решение уравнения (1) при нулевых начальных условиях:

$$\sum_{m=0}^N a_m y[n+m] = 0; \quad y[n] = \sum_{m=1}^N A_m \xi_m^n,$$

где  $\xi_m^n$  – совокупность  $N$  корней характеристического уравнения  $\sum_{m=0}^N a_m \xi_m^n = 0$ ;

$A_m$  – совокупность  $N$  постоянных, соответствующих начальным условиям.

**Дискретный эквивалент индуктивной топологии.** Индуктивную структуру с периодической топологией витков можно представить эквивалентной схемой однородной цепи тандемного типа из  $L$  и  $C$  элементов. Эквивалентная схема в дискретном представлении показана на рисунке 1.

Электрические токи и напряжения в многозвенной цепи эквивалентной индуктивной структуры соответствуют системе уравнений:

$$\begin{cases} U[n+1] = U[n] - i[n] \cdot z_1 \\ i[n+1] = i[n] - z_2^{-1} \cdot U[n+1] \end{cases} \quad (2)$$

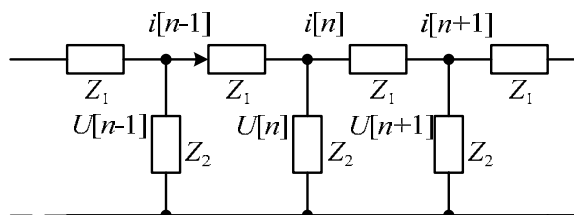


Рис. 1. Дискретный эквивалент индуктивности

Решением первого уравнения системы относительно  $i[n]$  и подстановкой, вместо  $i[n]$  и  $i[n+1]$ , результата во второе уравнение система уравнений приводится к однородному разностному уравнению относительно  $U[n]$ :

$$z_2 U[n+2] - (2z_2 + z_1) U[n+1] + z_2 U[n] = 0. \quad (3)$$

Уравнение (3) – описание дискретного эквивалента индуктивности однородной многозвенной цепью. Нормировка уравнения по  $z_2$  дает:

$$U[n+2] - (2 + z_1/z_2) U[n+1] + U[n] = 0. \quad (4)$$

При тождестве  $z_1 = z_2$  и граничных условиях ( $U[0] = U$ ;  $U[n] \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$ ) для  $z_1$  и  $z_2$  – одного типа реактивности уравнение имеет вид:

$$U[n+2] - 3U[n+1] + U[n] = 0. \quad (5)$$

При разной реактивности  $z_1 = -z_2$  и тех же граничных условиях получим другое частное уравнение:

$$U[n+2] - U[n+1] + U[n] = 0. \quad (6)$$

Это уравнение второго порядка имеет единственное граничное условие [ $(n \approx 0)$  в области первых витков индуктивности]. Прямое его решение не дает реального результата [12-14].

Однородное разностное уравнение с постоянными коэффициентами имеет решение вида [14]:

$$U[n] = Ay^n, \quad (7)$$

где  $y$  – комплексное число. Решение уравнения имеет параболическое либо экспоненциальное поведение, определяемое параметрами  $A$ ,  $y$  и  $n$ .

Для нахождения и последующего анализа решения уравнения (7), в двух частных случаях, используем известные методики

решений однородных разностных уравнений [13-14].

1. Случай многозвенной индуктивной структуры с реактивностями  $z_1$  и  $z_2$  одного типа ( $z_1 = z_2$ ). Подставляя (7) в уравнение (5), получим:

$$Ay^{n+2} - 3Ay^{n+1} + Ay^n = Ay^n(y^2 - 3y + 1) = 0. \quad (8)$$

При  $U[n] = Ay^n \neq 0$  находим корни решения второго сомножителя:

$$y^2 - 3y + 1 = 0. \quad (9)$$

Число действительных корней уравнения зависит от знака дискриминанта; дискриминант уравнения  $D < 0$  – имеем два корня. Решение этого уравнения:

$$y_{1,2} = (3 \pm \sqrt{5})/2$$

или  $y_1 \cong 0,38$  и  $y_2 \cong 2,62$ . (10)

2. Разные типы реактивностей  $z_1$  и  $z_2$ .

При разных реактивностях  $z_1$  и  $z_2$  из (6) решаем уравнение вида:

$$y^2 - y + 1 = 0. \quad (11)$$

Дискриминант  $D = 1 + 1/4 = 1,25 > 0$  положителен, имеем два мнимых корня:

$$y_{3,4} = (1 \pm j\sqrt{3})/2. \quad (12)$$

Мнимые корни решения указывают на наличие элементов разного типа реактивности в многовитковой топологии индуктивной структуры. Наличие мнимых корней решения однородного разностного уравнения модели индуктивности говорит о том, что в определенных условиях нарушение топологии ее витков или при определенных частотах тестового воздействия реакция индуктивной структуры будет неравновесной с сильным влиянием случайных резонансных явлений. Это факт возможной неустойчивости поведения эквивалента индуктивной структуры.

При линейности исходного однородного разностного уравнения (3)-(6), используя частные его решения и следуя классическому подходу [12-15], общее решение для обоих случаев реактивностей  $z_1$  и  $z_2$  запишется суммой двух компонент частных решений:

$$1) U[n] = Ay_2^n + By_1^n = A \cdot 0,38^n + B \cdot 2,62^n; \quad (13)$$

$$2) U[n] = Ay_4^n + By_3^n = A \cdot [(1 - j\sqrt{3})/2]^n + B \cdot [(1 + j\sqrt{3})/2]^n. \quad (14)$$

С увеличением  $n$  первые слагаемые в (13) и (14) стремятся к нулю; вторые, наоборот, растут. Здесь  $A$  и  $B$  – постоянные интегрирования, которые определяются из заданных граничных и начальных условий.

Для установленных в задаче и задаваемых при  $n=0$  начальных и граничных усло-

виях передачи сигнала индуктивной структурой – многозвенной цепью, второе слагаемое по начальным условиям в обоих уравнениях должно быть равно нулю, т.е.  $B \equiv 0$ . Тогда искомое решение в обоих случаях определит зависимость  $U[n] = Ay_{2,4}^n$  [14].

В результате общее решение однородного разностного уравнения:

1) для реактивностей  $z_1$  и  $z_2$  одной природы:

$$U[n] = U \cdot 0,38^n, \text{ при } n \geq 0; \quad (15)$$

2) для реактивностей  $z_1$  и  $z_2$  разной природы:

$$U[n] = [(1 - j\sqrt{3})/2]^n \cdot U, \text{ при } n \geq 0. \quad (16)$$

Численно изменение выходного сигнала структуры в зависимости от входного согласно (15) и (16) представлено в таблице.

Таблица

Относительное изменение выходного сигнала структуры

$n$	0	1	2	3	4
$0,38^n$	1	0,38	0,1444	0,054872	0,020851
$e^{-jn/3}$	1	0,351106	0,123276	0,043283	0,015197

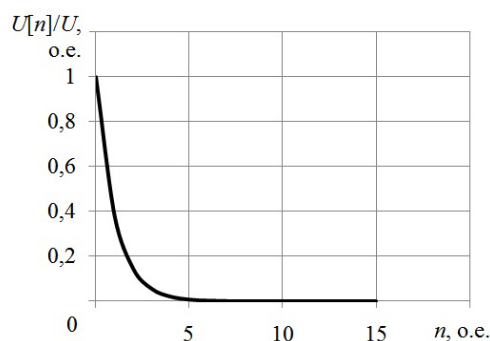


Рис. 2. Выходной сигнал эквивалента для продольного и поперечного сопротивлений одного типа реактивности

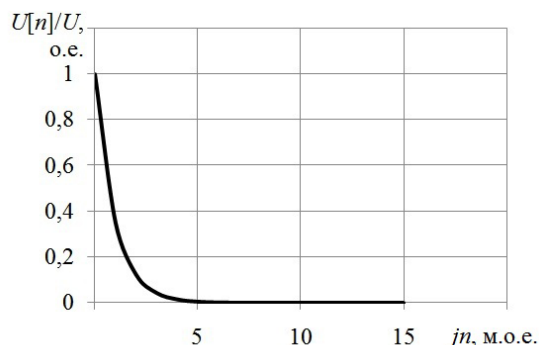


Рис. 3. Выходной сигнал эквивалента для продольного и поперечного сопротивлений разного типа реактивности

Графики отражают быструю сходимость изменения выходного сигнала дискретного эквивалента с ростом витков структуры (рис. 2, 3).

Ток  $i[0]$  и входное сопротивление  $z_{ex} = U/i[0]$  эквивалента индуктивности найдутся из уравнения входного контура при  $n = 1$ :

$$1) U = i[0] \cdot z_1 + V[1] = i[0] \cdot z_1 + 0,38 \cdot U; \quad (17)$$

$$2) U = i[0] \cdot z_1 + V[1] = i[0] \cdot z_1 + \left[ \frac{1 - j\sqrt{3}}{2} \right] \cdot U. \quad (18)$$

или  $1) z_{ex} = U/i[0] = z_1 + \left[ \frac{3 - \sqrt{5}}{2} \right]; \quad (19)$

$$2) z_{ex} = z_1 + \left[ \frac{1 - j\sqrt{3}}{2} \right]. \quad (20)$$

Опуская алгебраические преобразования, получим: при одном типе реактивности элементов  $z_1$  и  $z_2$  входное сопротивление многовитковой индуктивной структуры определяется «золотым сечением»:

$$z_{ex} = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} z_1; \quad (21)$$

при разном типе реактивности  $z_1$  и  $z_2$  – соотношением:

$$z_{BX} = z_1 e^{-j\sqrt{3}}. \quad (22)$$

Из (21) и (22) следует, что входное сопротивление индуктивной структуры – линейная функция комплексного сопротивления  $z_1$ , отражающего свойства топологии витков индуктивной структуры с коэффициентом, численно равным корням решения линейного разностного уравнения описания многовитковой индуктивной структуры. Сопротивление  $z_2$  в такой структуре является отражением протекающих в ней физических процессов: ионизация, неидеальная изоляция, частичные разряды, утечки тока и многое другое. Сопротивление  $z_2$  можно считать «паразитным» фактором, отражающим качество индуктивности и ее принципа действия.

Коэффициент пропорциональности в выражениях (21) и (22) для сопротивлений  $z_1$  и  $z_2$  одной природы реактивности равен:

$$z_{ex}/z_1 = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}. \quad (23)$$

Для сопротивлений  $z_1$  и  $z_2$  разной природы реактивности:

$$z_{BX}/z_1 = e^{-j\sqrt{3}}. \quad (24)$$

Любопытный факт: входное сопротивление индуктивной структуры определяется комплексным сопротивлением эквивалента элементарного витка этой структуры  $z_1$ . Причем, его значение является «золотым сечением» этого сопротивления.

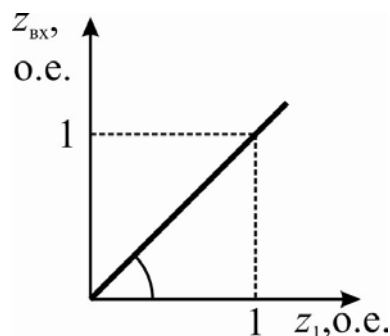


Рис. 4. Коэффициент пропорциональности для сопротивлений одной природы реактивности

Другими словами, продольное сопротивление элементарного витка – ступени многовитковой топологии эквивалента индуктивности является большей долей «золотого сечения», делящего входное полное сопротивление индуктивной структуры на две части (продольную  $z_1$  и поперечную  $z_2$ ) так, что отношение полного входного сопротивления структуры к большей части продольного сопротивления ступеньки – витка равно отношению значения продольного сопротивления к их разности (т.е. меньшей части).

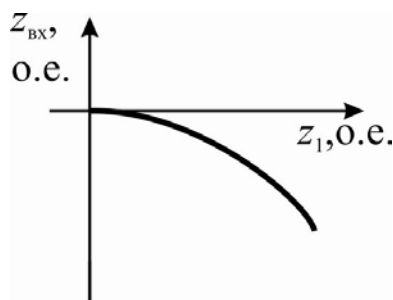


Рис. 5. Коэффициент пропорциональности для сопротивлений разной природы реактивности

Для однотипных  $z_1$  и  $z_2$  получим:

$$\frac{z_{ex}}{z_1} = \frac{z_1}{z_{ex} - z_1} = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}; \quad (25)$$

для разнотипных  $z_1$  и  $z_2$ :

$$z_{BX}/z_1 = e^{-j\sqrt{3}}. \quad (26)$$

### Выводы

Рассмотрены особенности дискретного представления индуктивных структур и процессов, протекающих в них, с обоснованием применения разностных уравнений и рекуррентных процедур для анализа поведения индуктивных структур и модели топологии индуктивности. Предложена дискретная математическая модель однород-

ной топологии индуктивной структуры в виде дискретного эквивалента индуктивности. Получены разностные уравнения дискретной аппроксимации принципа действия эквивалента катушки индуктивности и найдены их решения для разной реактивности продольного и поперечного сопротивлений дискретного эквивалента. Найдено, что относительное сопротивление эквивалента элементарного витка индуктивности с ненарушенной топологией совпадает с численным значением понятия «золотого сечения».

#### Библиографический список

1. Deeva V.S., Elgina G.A., Lapshin V.B., Slobodyan M.S., Slobodyan S.M. Identification of space contact for dynamics medium // [Digests 2014 International Conference on Informatics, Networking and Intelligent Computing (INIC2014), Shenzhen, China. – P. 323-325.
2. Елгина Г.А., Ивойлов Е.В., Слободян С.М. Оценка влияния замыканий в резонансном шунте электрической сети // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10 (120). – С. 119-126.
3. Елгина Г.А., Ивойлов Е.В., Слободян С.М. Влияние замыканий на свойства индуктивности // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2014. – № 5. – С. 21-25.
4. Костюков А.Ф., Никольский О.К., Черкасова Н.И. Анализ методов диагностики технического состояния и ресурса электроустановок // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 1. – С. 100-103.
5. Saleh S.H. Diagnosis of mixed eccentricity in 400 kW induction machine based on inspection of stator current spectrums // Renewable Energies and Power Quality. – 2014. – № 12. – pp. 12-18.
6. Motoshkin V.V., Slobodyan S.M. Spectral Properties of Variofocal Membrane Mirror // Instruments and Experimental Techniques. – New York, 1984. – № 4. – Pt. 2. – P. 964-966.
7. Slobodyan S.M. Optimization of a Bimorph Drive in Optical Measuring Systems with Feedback // Measurement Techniques. Springer US. – 2003. – Vol. 46. – № 1. – P. 28-34.
8. Slobodyan S.M. Optimizing phase-space scanning for a dynamic system monitoring chaotic media // Measurement Techniques. Springer US. – 2006. – Vol. 49. – № 1. – P. 1-6.

9. Slobodyan M.S., Slobodyan S.M., Tsupin A.A. Optical deflector of a wave-front tilt corrector // Journal Optical Technologies. – 2008. – V. 75. – № 5. – P. 301-305.

10. Слободян М.С., Слободян С.М. Консольный пьезопривод // Датчики и системы. – 2003. – № 3. – С. 47-48.

11. Слободян М.С., Шишигин С.А., Слободян С.М. Метод диагностики акустического датчика // Измерительная техника. – 2008. – №7. – С. 65-67.

12. Сиберт У. Цепи, сигналы, системы: в 2-х частях. – М.: Мир, 1988. – Ч. 1. – 336 с.; Ч. 2. – 360 с.

13. Гельфонд А.И. Исчисление конечных разностей. – М.: URSS, 2012. – 376 с.

14. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1984. – 832 с.

#### References

1. Deeva V.S., Elgina G.A., Lapshin V.B., Slobodyan M.S., Slobodyan S.M. Identification of space contact for dynamics medium // [Digests 2014 International Conference on Informatics, Networking and Intelligent Computing (INIC2014), Shenzhen, China. – P. 323-325.
2. Elgina G.A., Ivoilov E.V., Slobodyan S.M. Otsenka vliyaniya zamykaniy v rezonansnom shunte elektricheskoi seti // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 10 (120). – S. 119-126.
3. Elgina G.A., Ivoilov E.V., Slobodyan S.M. Vliyanie zamykaniy na svoystva induktivnosti // Elektronika i elektrooborudovanie transporta. – 2014. – № 5. – S. 21-25.
4. Kostyukov A.F., Nikol'skii O.K., Cherkasova N.I. Analiz metodov diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya i resursa elektroustanovok // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 1. – S. 100-103.
5. Saleh S.H. Diagnosis of mixed eccentricity in 400 kW induction machine based on inspection of stator current spectrums // Renewable Energies and Power Quality. – 2014. – No.12, p. 12-18.
6. Motoshkin V.V., Slobodyan S.M. Spectral Properties of Variofocal Membrane Mirror // Instruments and Experimental Techniques. New York. – 1984. – No. 4. – Pt. 2. – P. 964-966.
7. Slobodyan S.M. Optimization of a Bimorph Drive in Optical Measuring Systems with Feedback // Measurement Techniques. – Springer US. – 2003. – Vol. 46. – No. 1. – P. 28-34.

8. Slobodyan S.M. Optimizing phase-space scanning for a dynamic system monitoring chaotic media // *Measurement Techniques*. – Springer US. – 2006. – Vol. 49. – No. 1. – P. 1-6.

9. Slobodyan M.S., Slobodyan S.M., Tsupin A.A. Optical deflector of a wave-front tilt corrector // *Journal Optical Technologies*. – 2008. – V. 75. – No. 5. – P. 301-305.

10. Slobodyan M.S., Slobodyan S.M. Konsol'nyi p'ezoprivod // *Datchiki i sistemy*. – 2003. – № 3. – S. 47-48.

11. Slobodyan M.S., Shishigin S.A., Slobodyan S.M. Metod diagnostiki akusticheskogo datchika // *Izmeritel'naya tekhnika*. – 2008. – № 7. – S. 65-67.

12. Sibert U. Tsepi, signaly, sistemy. V 2-kh chastyakh. – M.: Mir, 1988. – Ch.1. – 336 s.; Ch. 2. – 360 s.

13. Gel'fond A.I. Ischislenie konechnykh raznostei. – M.: URSS, 2012. – 376 s.

14. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike. – M.: Nauka, 1984. – 832 s.

