

ОПИСАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВО ВРЕМЕНИ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ КАК СЛЕДСТВИЯ ПРОЦЕССОВ НАКОПЛЕНИЯ И ДИССИПАЦИИ ЭНЕРГИИ

Е. И. Алгазин

*Кафедра «Электроника и электротехника», evgeniialgazin@gmail.com;
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»,
г. Новосибирск, Россия*

Ключевые слова: временные соотношения; диссипация; линейная система автоматики; напряжение на конденсаторе; сохранение энергии.

Аннотация: Предложены понятия состояния во времени исследуемой линейной системы автоматики, которые базируются на описании процессов накопления и диссипации энергии, как атрибута времени диссипации, в рассматриваемых системах. Показано, что исследуемый параметр (напряжение на конденсаторе U_C) имеет проекции в каждой структуре временных соотношений рассматриваемого состояния во времени исследуемой линейной системы автоматики.

Введение

В работах [1, 2] предложены структуры временных соотношений: мнимая, описываемая переменной jt ; комплексная – выражением $t + jt$; вещественная – переменной t ; показаны особенности описания и функционирования линейных систем автоматики (ЛСА) в различных структурах временных соотношений.

В настоящей работе расширен набор исследуемых вопросов за счет введения новых понятий: состояний во времени пилотной цепи ЛСА и величины проекции исследуемого параметра (напряжения на конденсаторе U_C) между структурами временных соотношений внутри состояния во времени ЛСА, а также коэффициента перехода из одной временной структуры в другую исследуемого параметра в различных состояниях во времени пилотной цепи ЛСА.

Исследуется состояние исследуемого параметра U_C в зависимости от происходящего процесса накопления энергии, свойственного состоянию прошлого ЛСА, диссипации накопленной энергии, характерной текущему времени, то есть настоящему ЛСА, и процессу сохранения энергии (бездиссипативному процессу) – будущему ЛСА.

Линейная система автоматики может функционировать только при наличии энергии, то есть изначально нужно накопить энергию, а потом уже либо тратить ее, либо сохранять без диссипации.

Следует различать активные и пассивные способы сохранения энергии. Активные основаны на использовании источника питания, компенсирующего диссипацию, пассивные – на исключении сопротивлений из пилотной цепи либо замене резистора на индуктивность в цепи без индуктивного элемента, состоящей из резистора и емкости, предварительно заряженной до напряжения U_0 .

В качестве рабочего языка исследований принят язык электротехники и линейной алгебры. На языке электротехники дано описание пилотных цепей ЛСА и их исследуемых параметров. Термины и понятия линейной алгебры хорошо описывают проекции исследуемого параметра, находящегося во временных структурах.

Цель работы – на новом, более детальном, уровне продолжить исследование пилотных цепей ЛСА и дать описание их поведения и структур временных соотношений с помощью введенных понятий состояния во времени.

Постановка задачи

Дана пилотная цепь ЛСА в виде последовательно соединенных резистивного элемента, обладающего сопротивлением R , емкостного элемента, обладающего емкостью C . Источник питания отсутствует. Емкостный элемент предварительно заряжен до напряжения U_0 . В дальнейшем такая цепь будет называться пилотная цепь $R-C-0-U_0$.

Элементы цепи $R-C-0-U_0$ подобраны так, что в ней происходит апериодический разряд конденсатора на резистор. Предварительно конденсатор заряжается до напряжения U_0 [3].

Приняты следующие допущения:

- все элементы рассматриваемой цепи сосредоточенные и линейны;
- существуют структуры временных соотношений.

Необходимо дать описание причинности процессов в рассматриваемой цепи $R-C-0-U_0$, как следствие процессов накопления и диссипации энергии; предложить способ перехода из рассматриваемого состояния во времени в требуемое во всех трех структурах временных соотношений; обосновать нахождение исследуемого параметра во всех трех временных структурах одновременно.

Пути решения

Предварительно положим, что процессы заряда конденсатора цепи ЛСА, разряда конденсатора данной цепи, отсутствия диссипации и накопления энергии будут называться соответственно прошлым, настоящим и будущим состоянием во времени.

Рассмотрим процессы зарядки и разряда конденсатора во всех трех структурах временных соотношений.

Для структуры jt имеем следующее аналитическое выражение, представляющее состояние исследуемого параметра U_C :

$$U_C = U_0 - U_0 e^{-\frac{1}{RC}jt}.$$

Вещественная и мнимая части U_C описываются соответственно:

$$\operatorname{Re} U_C = U_0 - U_0 \cos \frac{1}{RC}t;$$

$$\operatorname{Im} U_C = U_0 \sin \frac{1}{RC}t.$$

Данное состояние во времени называется будущее со смещением, так как в полученных аналитических выражениях отсутствуют процессы диссипации, а в вещественной части есть смещение U_0 .

Состояние во времени, назовем его будущее (потому, что нет диссипации), в структуре jt описывается следующим образом:

$$U_C = U_0 e^{-\frac{1}{RC}jt};$$

$$\operatorname{Re}U_C = U_0 \cos \frac{1}{RC}t;$$

$$\operatorname{Im}U_C = -U_0 \sin \frac{1}{RC}t.$$

Для структуры $t + jt$ имеем следующие аналитические выражения для U_C :

$$U_C = U_0 - U_0 e^{-\frac{1}{RC}t} e^{-\frac{1}{RC}jt};$$

$$\operatorname{Re}U_C = U_0 - U_0 e^{-\frac{1}{RC}t} \cos \frac{1}{RC}t;$$

$$\operatorname{Im}U_C = U_0 e^{-\frac{1}{RC}t} \sin \frac{1}{RC}t.$$

Такое состояние во времени – настоящее, так как присутствует диссипация. Состояние настоящее (для разряда конденсатора) в структуре $t + jt$ опишем как:

$$U_C = U_0 e^{-\frac{1}{RC}t} e^{-\frac{1}{RC}jt};$$

$$\operatorname{Re}U_C = U_0 e^{-\frac{1}{RC}t} \cos \frac{1}{RC}t;$$

$$\operatorname{Im}U_C = -U_0 e^{-\frac{1}{RC}t} \sin \frac{1}{RC}t.$$

Для структуры t исследуемый параметр U_C представим следующим образом:
– прошлое

$$U_C = U_0 - U_0 e^{-\frac{1}{RC}t};$$

– настоящее

$$U_C = U_0 e^{-\frac{1}{RC}t};$$

– будущее, которое реализуется следующим образом: в момент времени t_1 в пилотной цепи R–C–0– U_0 меняем R на L (индуктивность) и получаем цепь L–C–0– U_0 , где U_C представлено аналитическим выражением

$$U_C = U_C(t_1) \sin \left(\frac{1}{\sqrt{LC}}t + \frac{\pi}{2} \right).$$

Для последующего анализа поведения пилотной цепи R–C–0–U₀ получим *n*-мерные векторы мгновенных значений исследуемого параметра U_C во всех состояниях во времени и всех трех структурах временных соотношений.

Для этого получим проекции U_C внутри каждого состояния во времени по следующим переходам:

$$t \rightarrow t + jt, \quad t \rightarrow jt, \quad t + jt \rightarrow jt;$$

$$t + jt \rightarrow t, \quad jt \rightarrow t, \quad jt \rightarrow t + jt.$$

Полученные результаты представлены в табл. 1, 2.

Способ перехода из рассматриваемой временной структуры в требуемую для состояния заряда конденсатора основан на использовании коэффициента передачи перехода из структур:

$$-t \text{ в } t + jt:$$

$$K_{t,t+jt} = \frac{U_0 - U_0 e^{-\frac{1}{RC}(t+jt)}}{U_0 - U_0 e^{-\frac{1}{RC}t}};$$

Таблица 1

Вещественные проекции U_C в различных структурах временных соотношений

Структура	Длина ReU _C в структуре	Проекция на структуру		
		<i>t</i>	<i>t + jt</i>	<i>jt</i>
Параметр ReU _C . Заряд конденсатора				
<i>t</i>	706,480	706,480	706,428	499,409
<i>t + jt</i>	707,707	707,655	707,707	501,148
<i>jt</i>	999,472	706,524	707,757	999,472
Параметр ReU _C . Разряд конденсатора				
<i>t</i>	100,094	100,094	99,719	13,435
<i>t + jt</i>	100,094	99,719	100,094	14,651
<i>jt</i>	713,381	95,756	104,422	713,381

Таблица 2

Мнимые проекции U_C в различных структурах временных соотношений

Структура	Длина ImU _C в структуре	Проекция на структуру		
		<i>t</i>	<i>t + jt</i>	<i>jt</i>
Параметр ImU _C . Заряд конденсатора				
<i>t</i>	706,480	706,480	87,236	-12,083
<i>t + jt</i>	6,919·10 ⁻³	8,544·10 ⁻⁴	6,919·10 ⁻³	3,961·10 ⁻³
<i>jt</i>	32,976	-0,564	0,189	32,976
Параметр ImU _C . Разряд конденсатора				
<i>t</i>	100,094	100,094	-4,296	-0,029
<i>t + jt</i>	6,919·10 ⁻³	-2,97·10 ⁻⁴	6,919·10 ⁻³	3,961·10 ⁻³
<i>jt</i>	32,976	-6,331·10 ⁻³	0,189	32,976

– $t + jt$ в jt :

$$K_{t+jt, jt} = \frac{U_0 - U_0 e^{-\frac{1}{RC}jt}}{U_0 - U_0 e^{-\frac{1}{RC}(t+jt)}};$$

– t в jt :

$$K_{t, jt} = \frac{U_0 - U_0 e^{-\frac{1}{RC}jt}}{U_0 - U_0 e^{-\frac{1}{RC}t}}.$$

Для описания исследуемого параметра $U_C = U_0 e^{-\frac{1}{RC}t}$ и диссипации энергии (разряда конденсатора) переход из структуры t в структуру jt осуществляется с помощью следующего коэффициента передачи

$$K_{t, t+jt} = \frac{U_0 e^{-\frac{1}{RC}(t+jt)}}{U_0 e^{-\frac{1}{RC}t}}.$$

– $t + jt$ в jt

$$K_{t+jt, jt} = \frac{U_0 e^{-\frac{1}{RC}jt}}{U_0 e^{-\frac{1}{RC}(t+jt)}};$$

– t в jt

$$K_{t, jt} = \frac{U_0 e^{-\frac{1}{RC}jt}}{U_0 e^{-\frac{1}{RC}t}}.$$

Выводы

Наличие проекций U_C внутри состояния во времени по указанным выше направлениям перехода из структуры в структуру говорит о том, что исследуемый параметр присутствует одновременно во всех трех структурах временных соотношений внутри всех рассматриваемых состояний во времени. Использование коэффициента перехода из одной временной структуры в другую упрощает анализ состояния исследуемого параметра и позволяет описать параметр в виде аналитического выражения. Предположение о состояниях во времени пилотной цепи позволяет рассмотреть причинность состояний исследуемого параметра и возможности увеличения времени полной диссипации энергии данной цепи. Примененные методы и подходы описания состояния пилотных цепей можно использовать в дополнение к уже существующим.

Список литературы

1. Алгазин, Е. И. Особенности описания линейных систем автоматики при различных структурах временных соотношений / Е. И. Алгазин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2020. – Т. 26, № 3. – С. 388 – 392. doi: 10.17277/vestnik.2020.03.pp.388-392

2. Алгазин, Е. И. Особенности функционирования линейных систем автоматики при различных структурах временных соотношений / Е. И. Алгазин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2020. – Т. 26, № 4. – С. 604 – 608. doi: 10.17277/vestnik.2020.04.pp.604-608

3. Веселовский, О. Н. Основы электротехники и электротехнические устройства радиоэлектронной аппаратуры : учеб. пособие для вузов / О. Н. Веселовский, Л. М. Браславский. – М. : Высш. школа, 1977. – 312 с.

Description of the State in Time of Linear Automation Systems as a Consequence of Accumulation and Dissipation of Energy

E. I. Algazin

*Department of Electronics and Electrical Engineering, evgeniialgazin@gmail.com;
Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*

Keywords: temporal relationships; dissipation; linear automation system; capacitor voltage; energy saving.

Abstract: The concepts of the state in time of the investigated linear automation system are proposed, which are based on the description of the processes of accumulation and dissipation of energy, as an attribute of the dissipation time, in the systems under consideration. It is shown that the investigated parameter (voltage across the capacitor U_C) has projections in each structure of the temporal relationships of the considered state in time of the investigated linear automation system.

References

1. Algazin Ye.I. [Features of the description of linear automation systems with different structures of temporal relationships], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2020, vol. 26, no. 3, pp. 388-392, doi: 10.17277/vestnik.2020.03.pp.388-392 (In Russ., abstract in Eng.)

2. Algazin Ye.I. [Features of the functioning of linear systems of automation for different structures of time relationships], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2020, vol. 26, no. 4, pp. 604-608, doi: 10.17277/vestnik.2020.04.pp.604-608 (In Russ., abstract in Eng.)

3. Veselovskiy O.N., Braslavskiy L.M. *Osnovy elektrotekhniki i elektrotekhnicheskiye ustroystva radioelektronnoy apparatury: uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Fundamentals of electrical engineering and electrical devices of electronic equipment: a textbook for high schools], Moscow: Vysshaya shkola, 1977, 312 p. (In Russ.)

Beschreibung des zeitlichen Zustands von linearen Automatisierungssystemen als Folge der Prozesse der Akkumulation und Dissipation von Energie

Zusammenfassung: Es sind die Konzepte des zeitlichen Zustands des untersuchten linearen Automatisierungssystems vorgeschlagen, die auf der Beschreibung der Prozesse der Akkumulation und Dissipation von Energie als Attribut

der Dissipationszeit in den betrachteten Systemen basieren. Es ist gezeigt, dass der untersuchte Parameter (Spannung am Kondensator U_C) in jeder Struktur Projektionen der zeitlichen Zusammenhänge des betrachteten Zeitzustandes des untersuchten linearen Automatisierungssystems aufweist.

Description de l'état dans le temps des systèmes linéaires d'automatisation en tant que conséquence des processus d'accumulation et de dissipation d'énergie

Résumé: Sont proposés les concepts d'état dans le temps du système linéaire d'automatisation étudié qui sont basés sur la description des processus d'accumulation et de dissipation d'énergie en tant qu'attribut du temps de dissipation dans les systèmes examinés. Est montré que le paramètre étudié (tension aux bornes du condensateur U_C) a des projections dans chaque structure des rapports temporels de l'état considéré dans le temps du système automatique linéaire étudié.

Автор: *Алгазин Евгений Игоревич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Электроника и электротехника», ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск, Россия.

Рецензент: *Разинкин Владимир Павлович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретические основы радиотехники», ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск, Россия.