

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОСТОЯНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

Е. И. Алгазин

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

Ключевые слова: система автоматики; собственное время электрической цепи; фазовая плоскость; электрическая цепь.

Аннотация: Предложен способ оценки устойчивости состояния линейных систем автоматики на основе анализа картины фазовой плоскости. Рассмотрено аналитическое выражение временно-энергетической модели и ее производной, на основе которых получены картины фазовой плоскости для затухающей экспоненциально-и расходящейся синусоид.

Введение

Существующие способы анализа и описания устойчивости состояния линейных систем применимы для их анализа и описания в области времени.

В данной работе в качестве линейных систем автоматики рассмотрены обычные R–L–C цепи без источника питания в режимах затухания колебаний и-расходящегося процесса. В соответствии таким режимам предложены временно-энергетические модели цепей.

Способ анализа процесса, происходящего в цепи, сводится к анализу картины, полученной на фазовой плоскости. Такой картиной, как правило, может служить расходящаяся из центра (начала координат) спираль. Этому случаю соответствует расходящийся процесс. Если спираль сходится в центр, то это сходящийся (затухающий) процесс.

Данный способ оценки состояния линейных систем позволяет количественно и качественно проанализировать происходящие в них процессы.

Постановка задачи

Представим линейную систему в виде последовательной R–L–C цепи без источника питания [1]. В такой цепи сопротивление $R = 2$ Ом, индуктивность $L = 6$ нГн, емкость $C = 1$ Ф, предварительно заряжена до 100 В. Очевидно, в ней будет действовать колебательный процесс, описываемый в виде экспоненциально затухающей синусоиды в цепи R–L–C.

Необходимо получить аналитические выражения временно-энергетических моделей цепи R–L–C в затухающем и расходящемся процессах и проиллюстрировать полученные данные о них в виде картины по фазовой плоскости.

Пути решения

На рисунке 1 предложена геометрическая интерпретация временно-энергетической модели, отображающая поведение R–L–C цепи без источника питания с предварительно заряженным конденсатором [2].

Рассмотрим колебательный разряд конденсатора как наиболее сложный. Будем полагать, что положительное направление оси времени соответствует передаче энергии в конденсатор.

Пусть колебательный процесс в цепи описывается следующими аналитическими выражениями в области времени [2]:

$$t_i(E) = T_0 e^{-\alpha \frac{(E_{\max} - i\Delta E)}{E_{\max}}} \cos\left(2\pi\alpha \frac{(E_{\max} - i\Delta E)}{E_1}\right), \quad (1)$$

где t_i – i -й мгновенный отсчет времени, рассматриваемый как функция от энергии; T_0 – собственное время цепи R–L–C (то есть время, пока в такой цепи есть энергия); α – коэффициент затухания; E_{\max} – максимальное значение энергии в цепи R–L–C; ΔE – шаг по энергии; E_1 – период колебаний энергии в цепи R–L–C.

Для построения картины на фазовой плоскости необходимо иметь производную от выражения (1). Пусть это будет переменная

$$dtk01(\Delta E) = \frac{d}{d\Delta E} tk01(\Delta E), \quad (2)$$

где

$$tk01(\Delta E) = T_0 e^{-\alpha \frac{(E_{\max} - \Delta E)}{E_{\max}}} \cos\left(2\pi\alpha \frac{(E_{\max} - \Delta E)}{E_1}\right), \quad (3)$$

и переменные, представленные в формуле (1).

Для получения картины расходящегося процесса необходимо в выражении (3) изменить знак у коэффициента затухания α .

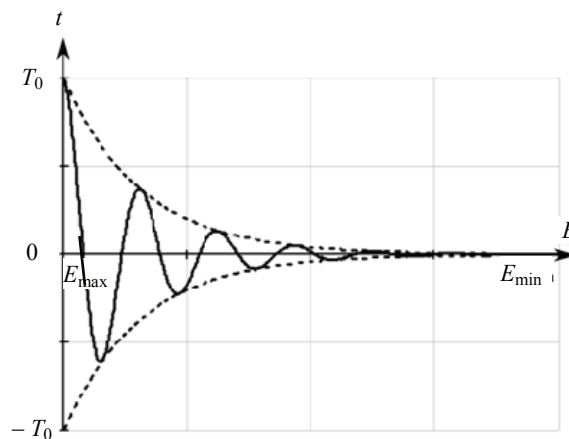


Рис. 1. Геометрическая интерпретация временно-энергетической модели цепи R–L–C без источника питания

Результаты

Результаты проведенного исследования приведены на рис. 2.

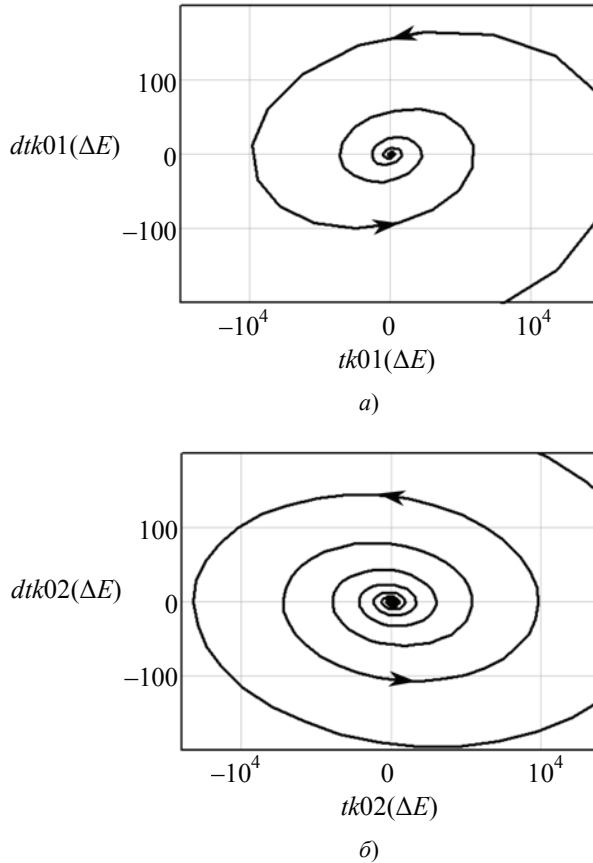


Рис. 2. Картина на фазовой плоскости, соответствующая затухающему (а) и колебательному (б) процессам в области времени

Выводы

По результатам исследования видно, что для анализа и описания состояния линейных систем автоматики в области времени, как функции от энергии, возможно использовать классический подход, заключающийся в построении фазовой плоскости.

Такой подход информативен, прост и пригоден для совместного использования с предложенной временно-энергетической моделью.

Список литературы

1. Зернов, Н. В. Теория радиотехнических цепей / Н. В. Зернов, В. Г. Карпов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергия, 1972. – 816 с.
2. Алгазин, Е. И. Энергетический критерий устойчивости линейных систем автоматики / Е. И. Алгазин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2018. – Т. 24, № 2. – С. 210 – 215. doi: 10.17277/vestnik.2018.02.pp.210-215

Evaluation of Stability of the State of Linear Automation Systems

E. I. Algazin

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

Keywords: automation system; intrinsic time of an electric circuit; phase plane; electrical circuit.

Abstract: A method for assessing the stability of the state of linear automation systems based on the analysis of the phase plane pattern is proposed. The analytical expression of the temporal-energy model and its derivative is considered, on the basis of which the phase plane patterns are obtained for an exponential decay/diverging form of sinusoidal wave.

References

1. Zernov N.V., Karpov V.G. *Teoriya radiotekhnicheskikh tsepey* [The theory of radio circuits], Leningrad: Energiya, 1972, 816 p. (In Russ.)
2. Algazin Ye.I. [Energy criterion for the stability of linear automation systems], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2018, vol. 24, no. 2, pp. 210-215, doi: 10.17277/vestnik.2018.02.pp.210-215 (In Russ., abstract in Eng.)

Bewertung der Stabilität des Zustands linearer Automatisierungssysteme

Zusammenfassung: Es ist eine Methode zur Beurteilung der Stabilität des Zustands linearer Automatisierungssysteme auf der Grundlage der Analyse des Phasenebenenmusters vorgeschlagen. Betrachtet ist der analytische Ausdruck des zeitlichen Energiemodells und seiner Ableitung, auf deren Grundlage Bilder der Phasenebene für die dämpfende exponentielle und divergierende Sinuswelle erhalten worden sind.

Évaluation de la stabilité des systèmes d'automatisation linéaires

Résumé: Est proposé un moyen d'évaluer la stabilité de l'état des systèmes d'automatisation linéaires à la base de l'analyse de l'image du plan de phase. Est considérée l'expression analytique du modèle d'énergie temporaire et de sa dérivée à la base de laquelle sont obtenues les images du plan de phase pour les sinusoides exponentiellement décroissantes et divergentes.

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.