

Н. В. КУЗНЕЦОВ

(Санкт-Петербургский государственный университет;
Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург)

М. Ю. ЛОБАЧЕВ

(Санкт-Петербургский государственный университет; Санкт-Петербург)

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКОЙ С ПРИЛОЖЕНИЕМ К ЗАДАЧАМ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

В данной работе для нелинейной системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) показаны возможности аналитических методов анализа ключевых характеристик: полосы захвата и полосы быстрого захвата.

Введение. Схемы фазовой автоподстройки являются нелинейными системами автоматического регулирования, реализующими принцип синхронизации ведущий-ведомый для фаз периодических сигналов. Первые схемы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ, phase-locked loops) были реализованы более 100 лет назад для подстройки частоты управляемого генератора электрических колебаний к частоте входного сигнала. Сегодня схемы ФАПЧ получили широкое распространение в глобальных навигационных системах (GPS, ГЛОНАСС) [1], микромеханических (МЭМС) гироскопах [2], [3], беспроводной связи [4], [5] и других приложениях. Так, в МЭМС гироскопах фазовая автоподстройка частоты используется управления частотой работы цифровых блоков интегральной схемы и исключения влияния ошибок, возникающих ввиду зависимости параметров механической части от изменения температуры и других внешних воздействующих факторов.

Соответствующие математические модели аналоговых ФАПЧ описываются нелинейными системами обыкновенных дифференциальных уравнений, и их глобальный анализ является сложной задачей [6]. Необходимость нелинейного анализа связана с задачами известных американских инженеров У. Игана и Ф. Гарднера об определении полос захвата и быстрого захвата, гарантирующих синхронизацию системы с определёнными свойствами [7, 8]. Возможности аналитических методов для решения этих проблем были показаны в работах [9-12]. Трудности точного определения полосы захвата и полосы быстрого связаны с необходимостью выявления скрытых участков границы глобальной устойчивости в пространстве параметров и анализа нелокального рождения скрытых аттракторов в фазовом пространстве [6], [12].

Заключение. В данной работе были показаны возможности аналитических методов анализа для решения проблем известных американских инженеров У. Игана и Ф. Гарднера [7-10].

Работа выполнена при поддержке программы Ведущие научные школы Российской Федерации (НШ-4196.2022.1.1) и СПбГУ (грант по Мероприятию 3, Pure ID 92424538).

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Kaplan and C. Hegarty, Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications, 3rd ed. Artech House, 2017.
2. L. Aaltonen and K. Halonen, "An analog drive loop for a capacitive MEMS gyroscope," Analog Integrated Circuits and Signal Processing, vol. 63, no. 3, pp. 465–476, 2010.
3. N. Kuznetsov, Y. Belyaev, A. Styazhkina, A. Tulaev, M. Yuldashev, and R. Yuldashev, "Estimation of PLL architecture on MEMS gyroscope performance," Gyroscopy and Navigation, vol. 13, no. 1, pp. 44–52, 2022.
4. K. Du and M. Swamy, Wireless Communication Systems: from RF subsystems to 4G enabling technologies. Cambridge University Press, 2010.
5. R. Best, N. Kuznetsov, G. Leonov, M. Yuldashev, and R. Yuldashev, Tutorial on dynamic analysis of the Costas loop, IFAC Annual Reviews in Control, vol. 42, pp. 27–49, 2016.
6. Н.В. Кузнецов, Теория скрытых колебаний и устойчивость систем управления, Известия РАН. Теория и Системы управления, N5, 5-27, 2020.
7. F. Gardner, Phaselock Techniques, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 2005.

8. W. Egan, Phase-Lock Basics, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2007.
9. **N.V. Kuznetsov, M.Y. Lobachev**, M.V. Yuldashev, R.V. Yuldashev, M.S. Tavazoei, The Gardner problem on the lock-in range of second-order type 2 phase-locked loops, IEEE Transactions on Automatic Control, 2023 <https://dx.doi.org/10.1109/TAC.2023.3277896>.
10. **Н.В. Кузнецов, М.Ю. Лобачев**, М.В. Юлдашев, Р.В. Юлдашев, С.И. Вольский, Д.А. Сорокин. Об обобщенной задаче Гарднера для систем фазовой автоподстройки в электрических сетях. Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления, 498:71–75, 2021.
11. **Н.В. Кузнецов, М.Ю. Лобачев**, М.В. Юлдашев, Р.В. Юлдашев. О проблеме Гарднера для систем управления фазовой автоподстройкой частоты. Доклады Академии наук, 489(6):541–544, 2019.
12. **Н.В. Кузнецов, М.Ю. Лобачев**, Т.Н. Мокаев, Скрытая граница глобальной устойчивости в контрпримере к гипотезе Капранова о полосе захвата, Доклады РАН, 2023 (в печати).

N.V. Kuznetsov, M.Y. Lobachev (St. Petersburg State University, St. Petersburg, Institute for Problems in Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences). **Analysis and synthesis of phase-locked loop control systems**

Abstract. In this paper, for a nonlinear system of phase-locked frequency (PLL), the possibilities of analytical methods for analyzing key characteristics, which are pull-in and lock-in ranges, are demonstrated.