

СИНХРОНИЗАЦИЯ БИЕНИЙ В СИСТЕМАХ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ

М. А. Мищенко, В. В. Матросов

Радиофизический факультет, Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
Россия, 603950 Нижний Новгород, проспект Гагарина, 23

E-mail: mischenko@neuro.nnov.ru, matrosov@rf.unn.ru

Изучается динамика двух систем фазовой автоподстройки частоты с интегрирующими фильтрами в цепях управления, связанных через дополнительный фазовый дискриминатор. Математические модели парциальных элементов представляют собой уравнения маятникового типа, которые при объединении систем фазовой автоподстройки в ансамбль трансформируются в систему четырех обыкновенных дифференциальных уравнений, определенную в цилиндрическом фазовом пространстве с двумя циклическими координатами. В случае малоинерционных цепей управления модель ансамбля превращается в динамическую систему с тороидальным фазовым пространством. Рассматриваемые модели обладают большим разнообразием движений, как регулярных, так и хаотических. В работе основное внимание уделяется анализу предельных циклов и хаотических аттракторов, которые являются математическими образами режимов биений систем фазовой автоподстройки. В режиме биений на выходе имеют место колебания с угловой модуляцией, свойствами которых можно управлять с помощью параметров систем, а в ансамблях – ещё и параметрами связей. Повышенный интерес к режимам биений в настоящее время обусловлен схожестью колебаний в режимах биений с колебаниями нейронов, то есть перспективой создания на базе систем фазовой автоподстройки частоты нейроподобного элемента. Цель работы – анализ режимов биений систем, объединенных в ансамбль для управления свойствами модулированных колебаний, в частности, для синхронизации этих колебаний. Изучение проведено путем численного моделирования, базирующегося на методах теории нелинейных колебаний и качественной теории бифуркаций. В результате в пространстве параметров моделей выделены области синхронизации режимов биений различных типов, в ансамбле систем фазовой автоподстройки с инерционными цепями управления установлена возможность совместного существования синхронных и асинхронных режимов, как следствие, гистерезисных явлений. Рассмотрены бифуркационные механизмы установления и нарушения синхронизации режимов биений. Показано, что объединение систем фазовой автоподстройки через дополнительный фазовый дискриминатор позволяет синхронизировать режимы биений.

Ключевые слова: Фазовая автоподстройка частоты, биения, синхронизация, автомодулированные колебания.

DOI: 10.18500/0869-6632-2017-25-2-37-50

Образец цитирования: Мищенко М.А., Матросов В.В. Синхронизация биений в системах фазовой автоподстройки частоты // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2017. Т. 25, No 2. С. 37–50.

SYNCHRONIZATION OF BEATS IN PHASE-LOCKED LOOPS

M. A. Mishchenko, V. V. Matrosov

Faculty of Radiophysics, National Research
Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod,
23, Prospect Gagarina, 603950 Nizhni Novgorod, Russia

E-mail: mischenko@neuro.nnov.ru, matrosov@rf.unn.ru

Dynamics of two phase-locked loops (PLL) with first order low-pass filters coupled via additional phase discriminator is studied. Mathematical models of the partial systems are pendulum-like type. Thus, mathematical model of the whole system consists of four ordinary differential equations. Phase space of the model is a cylindrical with two cyclic variables. In a case of low-inertial control loops the model transforms into dynamical system with toroidal phase space. The observed model has a great variety of dynamical modes both regular and chaotic. In the article, the main attention is paid to analysis of limit cycles and chaotic attractors, corresponding to beating modes of PLLs. In the beating mode oscillations with angular modulation exist at the PLL's output. The characteristics of the modulation could be controlled by PLL's parameters and, in case of ensemble, by coupling parameters. The actuality of the beating modes investigations is concerned with some possible applications in neurodynamics – oscillations in the beating modes are similar to the neuronal membrane potential oscillations. The goal of the paper is the analysis of beating modes of coupled PLLs to control the characteristics of modulated oscillations and to synchronize these oscillations in particular. The study is performed by numerical modelling with modern nonlinear dynamics methods and bifurcation theory applications. As a result, the regions of synchronization of beating modes are determined in parameter space of the model. The coexistence of beating modes synchronous and asynchronous dynamics are shown for PLLs with inertial control loop. Bifurcation mechanisms of beating mode synchronization loss are studied. The coupling of PLLs through additional phase discriminator is shown to synchronize beating mode oscillations.

Keywords: Phase-locked loop, beating modes, synchronization, automodulated oscillations.

DOI: 10.18500/0869-6632-2017-25-2-37-50

Paper reference: Mishchenko M.A., Matrosov V.V. Synchronization of beats in phase-locked loops. Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics. 2017. Vol. 25. Issue 2. P. 37–50.

