



Fig. 3. The fission reaction products of the ^{238}U in the bremsstrahlung field, $E_e = 140$ MeV

Fig. 3 shows the fission curve of the uranium nuclei in the field of bremsstrahlung radiation generated by irradiating a lead converter with the electron beam with $E = 140$ MeV. In the field where the uranium samples were placed, the measurement and processing of the spectra were carried out similarly to the experiments on the proton beam. Comparison of the results obtained in photonuclear reactions and (n, f) fission reactions is of undoubted scientific interest. In experiments on electron beams, a ^{209}Bi target was used as a test monitor [3]. The production of ^{239}Np nuclei and neutron capture were investigated in the process of studying the chain: $^{238}\text{U} (n, \gamma) ^{239}\text{U} (23.54 \text{ m}) \beta^- \rightarrow ^{239}\text{Np} (2.36 \text{ d}) \beta^- \rightarrow ^{239}\text{Pu} (24110 \text{ y})$.

References

1. S. I. Tyutyunnikov, V. I. Stegailov [et al.] // NUCLEUS-2021. St-Petersburg, 130 (2021).
2. S. I. Tyutyunnikov [et al.] // Nuclear Science and Technologies, Almaty, 157 (2021).
3. S. S. Belyshev [et al.] // Eur. Phys. J. A 51, 67 (2015).

УДК 62-83:621.313.333

ОБЩАЯ ДИНАМИКА МАШИН А. А. АНДРОНОВА КАК ОСНОВА НЕЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ

Д. В. Комнатный

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрена проблема построения нелинейной электромеханики как теории электрических машин, основанной на нелинейной теории динамических систем. Предложено в русле идей академика А. А. Андропова анализировать фазовое пространство уравнений электрических машин, выявить аналогии с механическими системами. Приведены примеры фазовых пространств динамики генератора постоянного тока с самовозбуждением, синхронного генератора, асинхронного двигателя, ускорителя элементарных частиц. Показана универсальность предлагаемого подхода, его соответствие современным направлениям развития науки.

Ключевые слова: нелинейная электромеханика, нелинейная теория динамических систем, грубые системы, фазовое пространство, предельный цикл, механическая аналогия, электрические машины.

GENERAL MACHINES DYNAMICS OF A. A. ANDRONOV AS BASIS OF NON-LINEAR ELECTROMECHANICS

D. V. Komnatny

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The problem of non-linear electromechanics construction, as electric machines theory, based on non-linear theory of dynamic systems, is considered. It is proposed, according to ideas of academician A. A. Andronov, fulfill analysis of electric machines equations phase space, expose analogies with mechanical systems. The examples of phase space dynamic of direct-current generator, synchronous generator, induction motor, charged-particle accelerator are adduced. The universality of proposed method and accordance to modern science development trends are shown.

Keywords: non-linear electromechanics, non-linear theory of dynamic systems, robust systems, phase space, limit cycle, mechanical analogy, electrical machines.

В работах группы исследователей Санкт-Петербургского политехнического университета под руководством профессора К. Ш. Ходжаева поставлена проблема построения нелинейной электромеханики как теории электрических машин, основанной на современных достижениях нелинейной теории динамических систем.

Теоретической основой решения этой проблемы являются идеи академика А. А. Андропова по общей динамике машин, также основанной на нелинейной теории динамических систем. Академиком предложено рассматривать машины, в том числе и электрические, как грубые динамические системы, анализировать их фазовое пространство и его разбиение на траектории, уделяя особое внимание обнаружению предельных циклов. Полезным также будет выявление аналогий между механическими и электромеханическими системами. В этой связи представляет интерес рассмотрение результатов исследования динамики некоторых электрических машин по методологии А. А. Андропова, которое и является целью представленного доклада.

Первая система – генератор постоянного тока с самовозбуждением. Уравнение динамики электрических процессов при его пуске может быть приведено к виду:

$$\frac{de}{d\tau} = e - i_b(e)R_b,$$

где e – электродвижущая сила (ЭДС), В; τ – приведенное время, с; i_b – ток обмотки возбуждения, А; R_b – сопротивление обмотки возбуждения, Ом.

Это уравнение первого порядка. Его фазовое пространство – прямая. На ней в случае самовозбуждения имеется состояние равновесия, соответствующее номинальному режиму работы генератора. Механическим аналогом является движение материальной точки под действием постоянной силы и силы сопротивления, сложным образом зависящей от скорости.

Вторая – синхронный генератор. Хорошо известно, что его динамика при пуске и втягивании в синхронизм описывается уравнением Трикоми, которое можно записать в безразмерном виде:

$$\ddot{\Theta} + \beta \dot{\Theta} + u \sin \Theta = m,$$

где Θ – угол нагрузки, рад; β – коэффициент демпфирования; u – параметр управления; m – приведенный момент двигателя.

Это уравнение второго порядка, фазовое пространство которого – боковая поверхность кругового цилиндра. В зависимости от параметров уравнения в его фазовом пространстве могут присутствовать устойчивый фокус и предельный цикл второго рода. Первый соответствует синхронному режиму, второй – асинхронному. Указанные особые точки разделяет сепаратриса, идущая из седла в седло. Механическим аналогом синхронного генератора является маятник, совершающий колебания с немалой амплитудой.

Третья – асинхронный двигатель, включенный на однофазное напряжение и нагруженный упругим элементом. Такие двигатели применяются в электроприводе периодического движения. Как показано в работах В. И. Луковникова, Ю. А. Рудченко, Л. В. Вепера и других исследователей, уравнение динамики такого двигателя (пренебрегая сухим трением и аппроксимируя характеристику двигателя полиномом третьей степени) имеет вид:

$$\ddot{\varphi} + \varphi = -\left(\frac{M_1}{J\omega_0} + \frac{H}{J\omega_0}\right)\dot{\varphi} - \frac{\omega_0 M}{J}\varphi^3,$$

где φ – угол поворота ротора, рад; J – момент инерции, кг · м²; $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{H}}$; c – коэффициент жесткости, Н/рад; H – коэффициент демпфирования, Н · с/м; M , M_1 – коэффициенты аппроксимации механической характеристики двигателя.

Фазовое пространство этого уравнения – плоскость. Показано, что при определенных значениях коэффициентов на фазовой плоскости имеется предельный цикл и неустойчивое состояние равновесия. Устойчивый предельный цикл соответствует автоколебательному режиму. Механическим аналогом такой системы является маятник Фроуда.

Своеобразной электрической машиной является ускоритель элементарных частиц. Уравнение для основного параметра ускорения так называемой фазы частицы в общем случае имеет вид:

$$G \frac{d\varphi}{dt} = P(\cos \varphi - \cos \varphi_s),$$

где G , P – параметры ускорителя; φ – фаза частицы, рад; φ_s – фаза в состоянии равновесия, рад.

В фазовом пространстве этого уравнения выделяются устойчивый центр, неустойчивое седло, сепаратриса, проходящая через седло и охватывающая центр. Замкнутые линии в сепаратрисе отвечают колебательным режимам, незамкнутые – вращательным. С позиции работы ускорителя колебания соответствуют нормальному режиму работы ускорителя, а вращения – срыву ускорения частиц, режиму аварийному. Механическим аналогом является маятник в виде сферы, ось которого скреплена с осью цилиндра, который приводится в движение опускающимся грузом.

Таким образом, последовательное проведение анализа электромеханических систем по методике общей динамики систем показывает, что эти системы могут иметь фазовые пространства наиболее распространенных типов. В них выделяются особые траектории, соответствующие практически интересным режимам движения, в том числе предельные циклы. Такие электромеханические системы входят в широкий класс автоколебательных систем, изучение которых имеет важнейшее теоретическое и практическое значение.

Представленные в докладе примеры показывают плодотворность исследования электромеханических систем на основе современной теории динамических систем и теории нелинейных колебаний. Значительным достоинством рассматриваемого метода является его универсальность, соответствие современным направлениям развития науки, адекватность изучаемым объектам, которые являются принципиально нелинейными. Универсальность заключается в том, что данный подход позволяет рассматривать не только электрические машины, но и многие другие объекты техники, в частности, электронные генераторы, механические часовые механизмы.

Дальнейшее развитие рассмотренного метода, применительно к проблемам электромеханики, заключается в разработке более точных моделей электромеханических систем и их анализе. В значительной степени это осуществляется в работах научных коллективов СПбГУ (синхронные машины) и ГГТУ им. П. О. Сухого (асинхронные приводы периодического движения).

УДК 656.25

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНАЯ ПОМЕХА В ВИДЕ ПЕРВОЙ ПРОИЗВОДНОЙ ГАУССОВА ИМПУЛЬСА

Д. В. Комнатный

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрены свойства импульса «моноцикл Гаусса» как модели преднамеренных электромагнитных помех. Приведены соотношения для расчета энергии, активной полосы частот и вольт-секундной площади этого импульса. Данные соотношения полезны для анализа проникновения импульса через паразитные каналы и его воздействия на рецепторы помех. Эти соотношения могут также использоваться при комплексных испытаниях микрорезистентных систем на помехоустойчивость.

Ключевые слова: импульсные помехи, преднамеренные электромагнитные помехи, импульс «моноцикл Гаусса», энергия импульса, активная полоса частот, вольт-секундная площадь.

ULTRAHIGH BANDWIDTH INTERFERENCE IN THE FORM OF GAUSS IMPULSE FIRST-ORDER DERIVATIVE

D. V. Komnatny

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The properties of “Gauss monocycle” impulse, as a model of intentional electromagnetic interference are considered. The formulas for energy, active frequency band and volt-second area of this impulse are adduced. These formulas are useful for analysis of impulse penetration through parasitic channels and impulse influence on noise receptors. Also these formulas can be used during of complex testing of microelectronic systems noise immunity.

Keywords: impulse interferences, intentional electromagnetic interferences, impulse “Gauss monocycle”, impulse energy, active frequency band, volt-second area.

В современной импульсной технике широкое применение находят сверхширокополосные импульсы различного вида. В частности, рассматривается импульс, являющийся первой производной гауссова импульса, который принято называть «моноциклом Гаусса». Этот импульс находит применение в системах передачи информации с широкополосными сигналами, поэтому свойства его как носителя сигнала хорошо изучены.