

Рассмотренная нами проблематика формирования целей системы в пространстве ситуаций основана на фиксации исходных и желаемых параметров среды, однако, основная динамика параметральных изменений достигается влиянием временного фактора. Другими словами, система и среда не являются статическими, во времени наблюдается так называемый дрейф ситуаций с диффузным эффектом. Поэтому кроме траектории движения системы необходимо учитывать ситуативные изменения среды. Один из способов прогнозирования может быть основан на ситуативных полях.

Если на ситуативном поле наблюдается траектория диффузного дрейфа области ситуации  $S^*(t)$  проходящая через зону, ситуативного нахождения системы то управление сводится к пассивному ожиданию наступления желаемого результата. Однако, при управлении проектами функционирования сложных систем подобное событие маловероятно, хотя теоретически возможно. Даже при позитивной динамике изменения ситуаций со стороны системы осуществляется управление (12) с целью минимизировать риски связанные с ситуативно-временными изменениями среды.

$$S(U, t) \rightarrow S^* \quad (12)$$

где  $t$  – временная составляющая ситуативного управления.

Таким образом, управление  $U$  в пространстве ситуаций, в первую очередь направленно на:

- 1) реализацию поставленной цели управления  $Z$ ;
- 2) компенсацию диффузного дрейфа ситуаций, который, как правило, усугубляет процесс достижения цели.

Поэтому последующие исследования процессов управления в пространстве ситуаций следует рассматривать с двух точек зрения: во-первых, как средство реализации поставленных целей, во-вторых, как средство компенсации неблагоприятных изменений в среде, нарушающих выполнение этих целей.

**Список литературы:** 1. *Растрюгин Л.А.* Адаптация сложных систем. —Рига: Зинатне, 1981. — 375 с. 2. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: ТЗЗ Справочник: Учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. - М.: Финансы и статистика, 2006. - 848 с: ил. 3. *Деревицкий Д.П., Фрадков А.Л.*, Прикладная теория дискретных адаптивных систем управления. – М.: Наука, 1981. 4. *Аверкин, А.Н.* Обобщенные стратегии в решателях проблем [Текст] / А.Н. Аверкин и др. // Техническая кибернетика. - 1978. - № 5. - с. 71 - 83.

*Поступила в редколлегию 15.02.2012*

**УДК 621.373.072.9**

**В.В. РАПИН**, канд.техн.наук, доц., УПА, Харків,  
**А.И. ФЕДЮШИН**, канд.техн.наук, доц., УПА, Харків

## ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ КРУТИЗНЫ НА ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРАМЕТР СИГНАЛА СИНХРОНИЗИРОВАННОГО АВТОГЕНЕРАТОРА

Досліджений вплив флуктуацій крутизни підсилювального елементу автогенератора на флуктуаційну складову зсуву фази сигналу автогенератора при роботі його в режимі синхронізації на основному тоні. Показано, що при певних частотних розладах автогенератор

пригнічує цей вплив. Получені флуктуаційні рівняння запропоновани для моделювання завадостійкості, як окремих автогенераторів, так і їх систем.

**Ключові слова:** автогенератор, синхронізація, крутизна, флуктуації.

Исследовано влияние флуктуаций крутизны усилительного элемента автогенератора на флуктуационную составляющую сдвига фазы сигнала автогенератора при работе его в режиме синхронизации на основном тоне. Показано, что при определенных частотных расстройках автогенератор подавляет это влияние. Полученные флуктуационные уравнения предназначены для моделирования помехоустойчивости, как отдельных автогенераторов, так и их систем.

**Ключевые слова:** автогенератор, синхронизация, крутизна, флуктуации.

Steepness fluctuations influence of oscillator gain element on the fundamentally injected oscillator signal phase shift is investigated. It is shown that at the certain frequency detuning the oscillator suppresses this influence. Obtained equations are intended for modeling jam protection, both separate oscillators and their systems.

**Keywords:** oscillator, synchronization, steepness, fluctuations.

## 1. Введение

Широкое использование синхронизированных автогенераторов в радиотехнике, связи, информационно-измерительной технике, автоматике делает актуальной задачу расширения их функциональных возможностей и улучшения характеристик, а также определяет исключительную практическую значимость автоколебательной тематики в теоретических и экспериментальных исследованиях в течение многих десятилетий. Однако влияние флуктуаций параметров рассматривалось только при работе автогенератора в режиме колебаний первого рода и сигнале синхронизации в виде напряжения, подаваемого на вход усилительного элемента [1-3]. Полученные результаты стали уже классикой. Однако в настоящее время такой режим работы и способ подачи синхронизирующего сигнала не является оптимальными. Целью статьи является исследование влияния флуктуаций крутизны усилительного элемента синхронизированного одноконтурного LC- автогенератора на его информационный параметр – сдвиг фазы при работе в режиме колебаний второго рода и синхронизации на основном тоне сигналом в виде тока, поступающим непосредственно в контур.

## 2. Разработка математической модели

Рассмотрим автогенератор с трансформаторной обратной связью, представленный на рис. 1.

Результаты, как известно, не изменятся существенно, если исходить из иной схемы одноконтурного автогенератора. Усилительный элемент автогенератора считаем безынерционным и проходную динамическую характеристику его аппроксимируем полиномом четвертой степени  $i = a_0 + a_1u_y + a_2u_y^2 + a_3u_y^3 + a_4u_y^4$ , где

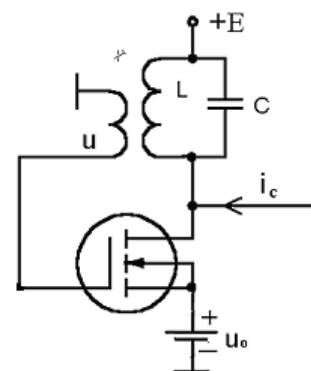


Рис.1. Автогенератор синхронизированный на основном тоне

$u_y = u + u_0$  управляющее напряжение,  $u_0$  - смещение, а  $u$  - напряжение положительной обратной связи на входе усилительного элемента. Сигнал синхронизации описывается соотношением  $i_c = I_c \cos(\omega_c t + \varphi_c)$ .

Крутизна проходной динамической характеристики усилительного элемента автогенератора представлена в виде суммы детерминированной составляющей и флуктуационной  $s = s_0 + s_\phi$ . Тогда на основании законов Кирхгофа можно записать основное уравнение одноконтурного автогенератора следующим образом

$$\frac{d^2 u}{d\tau^2} - \varepsilon \frac{d}{d\tau} \left\{ u - \beta u^2 - \gamma u^3 - \delta u^4 - \frac{s_\phi}{s_0} \left( \frac{s_0}{\alpha_0} u + \beta u^2 + \gamma u^3 + \delta u^4 \right) \right\} + \frac{\omega_0^2}{\omega_c^2} u = \varepsilon \frac{KR}{\alpha} \frac{di_c}{d\tau},$$

где

$\varepsilon = \delta_k \alpha$  - малый параметр;  $\tau = \omega_c t$  - безразмерное время;  $\alpha = (KR\alpha_0 - 1)$ ;  $\beta = \beta_0 / \alpha_0$ ;  $\gamma = \gamma_0 / \alpha_0$ ;  $\delta = \delta_0 / \alpha_0$ ;  $\delta_0 = a_4$ ;  $\alpha_0 = a_1 + 2a_2 u_0 + 3a_3 u_0^2 + 4a_4 u_0^3$ ;  $\beta_0 = a_2 + 3a_3 u_0 + 6a_4 u_0^2$ ;  $\gamma_0 = a_3 + 4a_4 u_0$ ;  $\alpha_0' = -\alpha_0 + 1/(KR)$ ;  $\delta_k = 1/Q$ ;  $\omega_0, R, Q$  - резонансная частота контура автогенератора, его сопротивление и добротность,  $K$  - модуль коэффициента положительной обратной связи,  $M$  - взаимная индуктивность.

Учитывая высокую добротность контура автогенератора считаем амплитуду и фазу колебаний медленно меняющимися функциями времени. Решение уравнения ищем в виде  $u = A \cos(\omega_c t + \varphi)$ . Используя метод усреднения, получаем математическую модель в виде укороченных уравнений

$$\frac{dA}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2} \left( \frac{3}{4} \gamma A^3 - A \right) + \frac{\varepsilon}{2} \left( \frac{3}{4} \gamma A^3 + \frac{s_0}{\alpha_0} A \right) \frac{s_\phi}{s_0} = \frac{\varepsilon KR}{2 \alpha} I_c \cos(\varphi - \varphi_c)$$

$$\frac{d\varphi}{d\tau} + \frac{\varepsilon KR}{2 \alpha A} I_c \sin(\varphi - \varphi_c) = - \left( \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right).$$

где  $(\Delta\omega / \omega_0) = (\omega_c - \omega_0) / \omega_0 \ll 1$ ,  $s_0 / \alpha_0' = -s_0 KR / (KR s_0 - 1)$ ,  $\alpha = KR s_0 - 1$

### 3. Разработка и исследование флуктуационных уравнений

Амплитуду и фазу колебаний представим в виде суммы большой детерминированной и малой флуктуационной составляющих,  $A = A_\delta + \rho(\tau)$ ,  $\varphi = \varphi_\delta + \varphi_\phi$ . Рассматриваем амплитудные и фазовые флуктуации для установившегося режима автогенератора. Подставляя эти выражения в укороченные уравнения переходим к уравнениям флуктуационным.

$$\frac{d\rho}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2} \left( \frac{9}{4} \gamma A_\delta^2 - 1 \right) \rho + \frac{\varepsilon}{2} \left( \frac{3}{4} \gamma A_\delta^3 + \frac{s_0}{\alpha_0} A_\delta \right) \frac{s_\phi}{s_0} = - \left[ \frac{\varepsilon KR I_c}{2 \alpha} \sin(\varphi_\delta - \varphi_c) \right] \varphi_\phi,$$

$$\frac{d\varphi_\phi}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2} \left[ \frac{KR I_c}{\alpha A_\delta} \cos(\varphi_\delta - \varphi_c) \right] \varphi_\phi - \frac{\varepsilon KR I_c}{2 \alpha A_\delta} \frac{\rho}{A_\delta} \sin(\varphi - \varphi_c) = 0.$$

Введем относительную флуктуацию амплитуды  $\eta = \rho(\tau) / A_\delta$  и безразмерную амплитуду колебаний  $y = A_\delta / A_{0\delta}$ ,  $A_{0\delta} = \sqrt{4\alpha_0' / (3\gamma_0)}$ ,  $A_{0\delta}$  и  $A_\delta$  - амплитуды колебаний автогенератора в автономном режиме и в режиме синхронизации;  $B = I_c / I_0$ ,  $I_0 = A_{0\delta} / R$ ,  $\theta^0 = \varphi_\delta - \varphi_c$ . Теперь, переходим к иной форме

флуктуационных уравнений, описывающих малые флуктуаций амплитуды и фазы колебаний сигнала синхронизированного автогенератора

$$\frac{d\eta}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2}(3y^2 - 1)\eta + \frac{\varepsilon}{2}\left[\frac{B}{\alpha y} \sin(\theta^0)\right]\varphi_\phi = -\frac{\varepsilon}{2}\left(y^2 + \frac{s_0}{\alpha_0}\right)\frac{s_\phi}{s_0},$$

$$\frac{d\varphi_\phi}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2}\left[\frac{B}{\alpha y} \cos(\theta^0)\right]\varphi_\phi - \frac{\varepsilon}{2}\left[\frac{B}{\alpha y} \sin(\theta^0)\right]\eta = 0.$$

Полученные дифференциальные уравнения являются линейными и с постоянными коэффициентами, а потому могут быть легко решены. Поскольку флуктуации крутизны являются медленными, то производными можно пренебречь. Тогда

$$(3y^2 - 1)\eta + \left[\frac{B}{\alpha y} \sin(\theta^0)\right]\varphi_\phi = -\left(y^2 + \frac{s_0}{\alpha_0}\right)\frac{s_\phi}{s_0},$$

$$\left[\frac{B}{\alpha y} \cos(\theta^0)\right]\varphi_\phi - \left[\frac{B}{\alpha y} \sin(\theta^0)\right]\eta = 0.$$

Далее получаем выражение, описывающее флуктуации фазы

$$\varphi_\phi = -\left[\frac{[y^2 + s_0/\alpha_0] \sin(\theta^0)}{\{(3y^2 - 1) \cos(\theta^0) + \frac{B}{\alpha y} [\sin(\theta^0)]^2\}}\right] \frac{s_\phi}{s_0}.$$

Поскольку сигнал синхронизации предполагается малым, то  $B/\alpha \ll 1$ , а  $y \approx 1$ , но  $y > 1$ . Тогда в полосе синхронизации, за исключением концов, имеем

$$\varphi_\phi \approx -\left[\frac{(y^2 + s_0/\alpha_0)}{(3y^2 - 1)} \operatorname{tg}(\theta^0)\right] \frac{s_\phi}{s_0}.$$

На концах полосы синхронизации

$$\varphi_\phi = \frac{1}{B} \frac{s_\phi}{s_0}.$$

Поскольку  $B < 1$ , то следовательно, на концах полосы синхронизации флуктуации фазы сильно возрастают.

Ширина диапазона фазовых сдвигов, где нестабильность подавляется, зависит от величины множителя  $\frac{(y^2 + s_0/\alpha_0)}{(3y^2 - 1)} \operatorname{tg}(\theta^0)$ . Учитывая численные значения параметров, после несложных преобразований, получаем приближенное выражение  $(1 + s_0/\alpha_0)[\operatorname{tg}(\theta^0)]/2 = \frac{\operatorname{tg}(\theta^0)}{2(KR s_0 - 1)}$ . Этот параметр может меняться в значительных пределах. Если значение его меньше единицы, то автогенератор подавляет влияние внешних воздействий, т.е. уменьшает нестабильность сдвига фазы.

Очевидно, что в центре полосы синхронизации, при малых углах сдвига фазы, где значение  $\operatorname{tg}(\theta^0)$  мало, влияние флуктуаций может быть сильно подавлено.

#### 4. Эксперимент

Проверка полученных теоретических соотношений заключалась в определении различий между реальной величиной сдвига фазы и полученной в

результате численного решения укороченных уравнений для экспериментального автогенератора. Решение проводилось методом Рунге-Кутты четвертого порядка. Исследовался синхронизированный на основном тоне автогенератора с параметрами  $f_0 = 50 \text{ kHz}$ ,  $\varepsilon = 1.7 \times 10^{-3}$ ,  $R = 7.5 \text{ k}\Omega$ ,  $u_0 = -1 \text{ V}$ ,  $K = 0.16$ ,  $I_c = 8 \mu\text{A}$ ,  $\delta = 0.0213$ ,  $B/\alpha = 0.133$ . Проходная динамическая характеристика его усилительного элемента аппроксимировалась полиномом  $i = 1.538 + 1.302u_c - 0.356u_c^2 - 0.502u_c^3 - 0.098u_c^4 \text{ mA}$ .

Для экспериментальной проверки теоретической зависимости производился анализ характера изменения погрешности определения сдвига фазы в полосе синхронизации. Изменение крутизны в процессе эксперимента достигалось искусственным нагревом усилительного элемента. Различие между теорией и экспериментом в полосе синхронизации представлено на рис. 2, где  $(\Delta\omega/\omega_0)_H$  - нормированная расстройка, отношение текущей расстройки к максимальной ее величине.

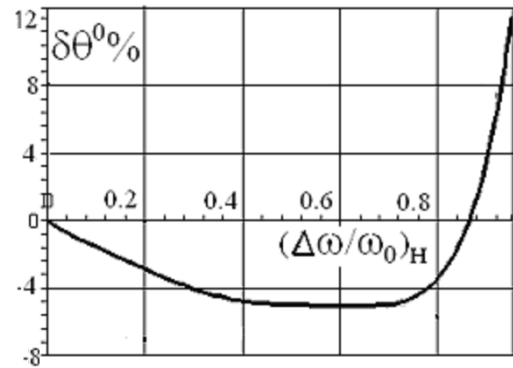


Рис. 2. Несоответствие расчетных и экспериментальных данных.

Характер изменения представленной зависимости подтверждает теоретически полученную, которая описывается тригонометрической функцией  $tg$ . Легко видеть, что резкое возрастание различия расчета и эксперимента начинается при значении эквивалентной нормированной расстройки равной приблизительно 0.76, что соответствует углу сдвига фазы равному  $50^\circ$ .

Из теоретических соотношений следует, что для автогенератора, синхронизированного на основном тоне, резкое возрастание погрешности должно начаться с того момента когда значение  $tg(\theta^0)$  превысит 1, т.е. когда  $\theta^0$  превысит значение равное  $45^\circ$ . Хорошее совпадение теоретических и экспериментальных данных означает достаточно малую погрешность выражений, описывающих флуктуации сдвига фазы сигнала автогенератора.

**Список литературы:** 1. Малахов А.Н. Флуктуации в автоколебательных системах. –М.: Наука, 1968, -660 с. 2. Стратонович Р.Л. Избранные вопросы теории флуктуаций в радиотехнике. –М.: Наука, 1960, -550 с. 3. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. –М.: Наука, 1976, -494 с

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 621.37/39.029

**А.А. АНДРУСЕВИЧ**, канд.техн.наук, доц., ХНУРЭ, Харьков,  
**И.Ш. НЕВЛЮДОВ**, докт.техн.наук, проф., зав.каф., ХНУРЭ, Харьков,  
**И.В. ЖАРИКОВА**, ассис., ХНУРЭ, Харьков

### МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Проанализированы характеристики существующих систем диагностики и контроля технологического оборудования. Рассмотрены эффективность систем диагностики и контроля