УДК 537.862:621.373.14

ОДНОКОНТУРНЫЙ АВТОГЕНЕРАТОР С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОДНОНАПРАВЛЕННЫМ КАНАЛОМ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

В. В. Абгарян, И. И. Минакова

(кафедра физики колебаний)

В автоколебательных системах (АКС), относящихся к классу автогенераторов с внешней запаздывающей обратной связью (ЗОС) [1—4], при определенных соотношениях параметров реализуются условия устойчивой генерации большого числа различных одночастотных и многочастотных режимов. Перевод системы из одного в любое другое устойчивое состояние (УС) одночастотной генерации (ОГ) может быть осуществлен с помощью соответствующего внешнего импульсно-тонального сигнала [5]. Это свойство системы уже нашло свое применение в многоустойчивых элементах дискретной техники с частотным представлением информации [6]. Зависимость числа УСОГ от параметров системы является одним из основных вопросов, встающих при анализе работы АКС с ЗОС. Такие зависимости получены, например, для системы, представляющей собой замкнутые по каналу ЗОС нелинейный усилитель и узкополосный фильтр с различной формой АЧХ [7]. Введение дополнительных каналов обратной связи (ОС) и резонансных элементов в систему позволяет управлять количеством и параметрами УС АКС как в автономном, так и в неавтономном режимах. Целью настоящей работы является расчет специального случая автогенератора с двумя параллельными каналами ОС — незапаздывающей (Н) и запаздывающей (З). Исследуя же влияние канала НОС на характеристики стационарного режима (ХСР) АКС с ЗОС, последнюю с математической точки зрения целесообразнее трактовать как автогенератор с дополнительным однонаправленным каналом ЗОС, которым является бездисперсионная линия задержки (ЛЗ) с регулируемым модулем коэффициента передачи k и соответственно с бесконечным и нулевым входным и выходным сопротивлениями. Сигнал с выхода ЛЗ действует в контуре автогенератора и в таком виде АКС представляет собой автосинхронизуемый по каналу ЗОС автогенератор, в котором форма сигнала внутренней ЭДС зависит от предыстории системы.

Преобразуя уравнение Кирхгофа для тока в колебательном контуре автогенератора, получим следующее дифференциальное уравнение с запаздывающим аргументом относительно напряжения на конденсаторе x:

$$\ddot{x} + 2\delta(x, \dot{x}) + \omega_0^2 x = E(t, \tau), \tag{1}$$

из которого при аппроксимации вольт-амперной характеристики (ВАХ) нелинейного элемента несимметричной кубической параболой получим:

$$\ddot{x} + 2(\delta_{01} + \delta_{21}x^2)\dot{x} + 2k(\delta_{02} - \delta - \delta_{22}x_\tau^2)\dot{x}_\tau + \omega_0^2 x = 0, \tag{2}$$

где

$$2\delta = \omega_0/Q;\ 2\delta_{0,i} = 2\delta + M_i\omega_0^2 S_0;\ 2\delta_{2,i} = (-1)^i M_i\omega_0^2 S_2;\ i = 1, 2;$$

$$x_\tau \equiv x(t - \tau);$$

S_0 и S_2 — параметры ВАХ и M_i — параметры реактивной связи (в рассматриваемом случае — индуктивной) по каналу НОС.

Для исследования стационарного режима предположим решение уравнения (2) в первом приближении заданным в виде $x = A \sin \omega t$ и методом гармонического баланса [6] получим уравнения стационарного режима

$$A\left(\delta_{01} + \frac{1}{4}\delta_{21}A^2 + k\left(\delta_{02} - \delta - \frac{1}{4}\delta_{22}A^2\right)\cos\omega\tau\right) = 0, \tag{3}$$

$$A\left(\omega^2 - \omega_0^2 - 2k\omega\left(\delta_{02} - \delta - \frac{1}{4}\delta_{22}A^2\right)\sin\omega\tau\right) = 0 \tag{4}$$

и, переходя к безразмерным параметрам по формулам: $a^2 = S_2A^2/4S_0$,

$$z = \omega/\omega_0;\ \gamma = \omega_0\tau;\ \Omega = k\varkappa_2/\varkappa_1;\ \varkappa_i = (-1)^i M_i\omega_0^2 S_0/2\delta;\ i = 1, 2$$

при $A \neq 0$, получим следующее выражение для определения приведенных амплитуд различных УСОГ:

$$a^2 = 1 - \frac{1}{\varkappa_1}(1 - \Omega\cos\gamma z)^{-1}. \tag{5}$$

Соответствующее значение частоты генерации определяется в (5) из уравнения собственных частот системы

$$(z^2 - 1)(1 - \Omega\cos\gamma z) - \frac{1}{Q}\Omega z \sin\gamma z = 0. \tag{6}$$

В принятых обозначениях параметр $\varkappa_1$ характеризует уровень регенерации в системе по каналу НОС, а Ω — соотношение коэффициентов передачи по обоим каналам ОС. Устойчивость найденных периодических движений, рассчитанная по признаку Раута — Гурвица, определяется неравенствами

$$-\varkappa_1 + (1 + \Omega\cos\gamma z)/(1 - \Omega\cos\gamma z) < 0, \tag{7}$$

$$2\varkappa_1 k\varkappa_2 \cos\gamma z(\varkappa_1 - 1 - k\varkappa_2\cos\gamma z) - k^2\varkappa_2^2 < 0. \tag{8}$$

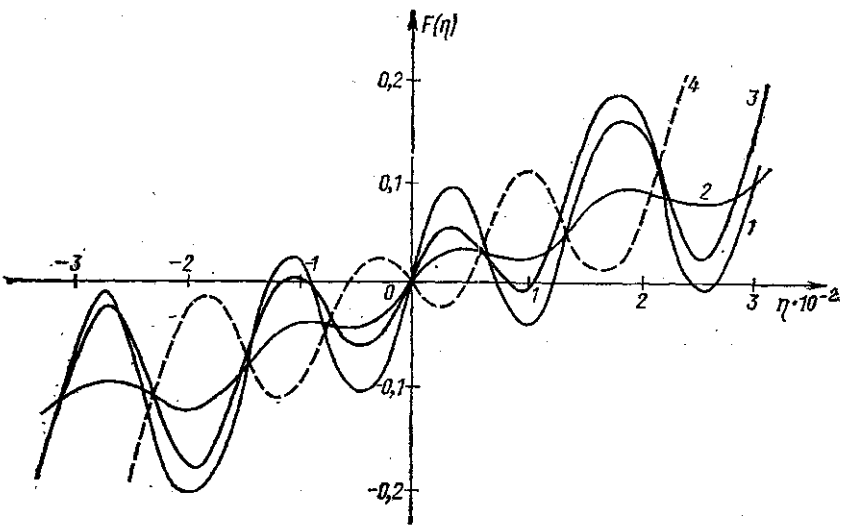

Рис. 1. График зависимости левой части частотного уравнения (6) от относительной расстройки η при заданных параметрах γ, Q и Ω соответственно: *1* — 121π; 25; 0,8; *2* — 121π; 25; 0,2; *3* — 121π; 50; 0,8; *4* — 122π; 50; 0,8

Выражения (6), (7) и (8) в неявном виде определяют зависимость числа УСОГ от соотношения параметров исследуемой АКС. Расчет соответствующих ХСР системы в настоящей работе был выполнен с помощью ЭВМ «МИР-2».

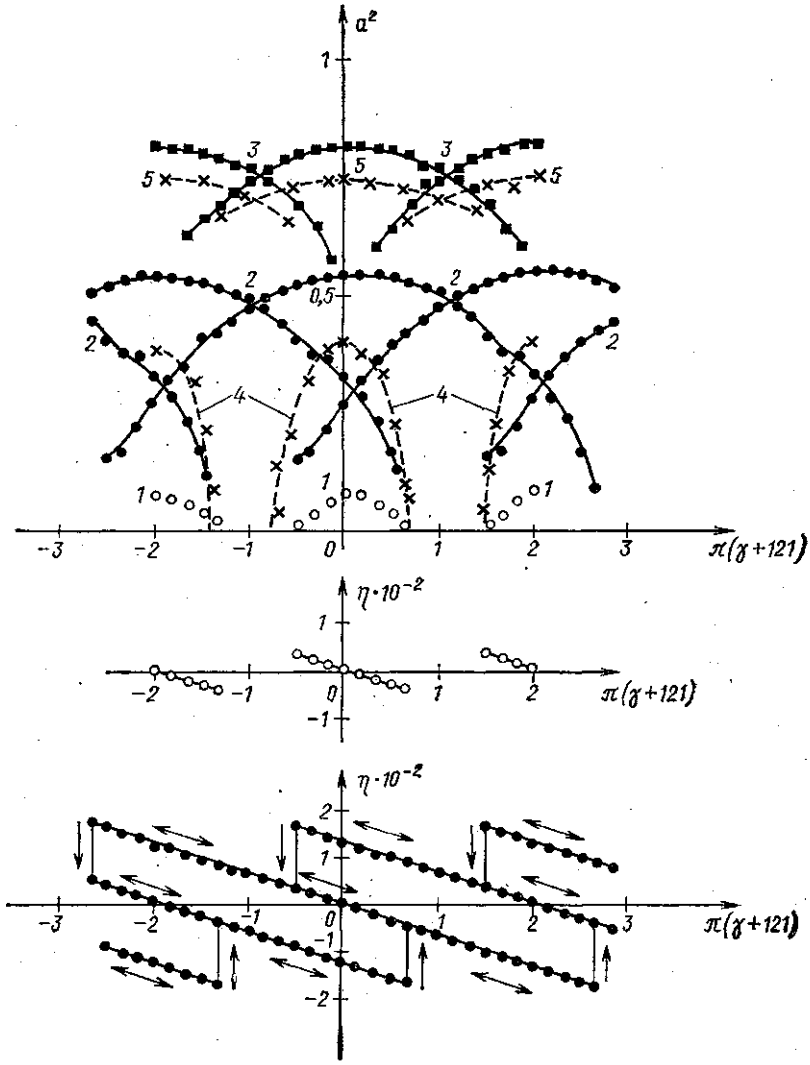

Рис. 2. Характеристики стационарного режима АКС с ЗОС при заданных параметрах Q, $\varkappa_1$ и Ω соответственно: *1* — 50; 0,6; 0,8; *2* — 25; 1,2; 0,8; *3* — 50; 3,0; 0,8 (расчет); *4* — 30; 1,1; 0,5; *5* — 30; 1,8; 1,2 (эксперимент)

На рис. 1 и 2 приведены графики левой части уравнения (6) и ХСР АКС с ЗОС, наглядно иллюстрирующие зависимость числа собственных частот и УСОГ соответственно от соотношения параметров в системе. Проверка соответствующих уравнению (6) режимов ОГ с помощью условий устойчивости (7) и (8) обнаруживает, что устойчивыми в принципе могут оказаться движения с теми частотами, для которых выполняется неравенство $\left.\frac{dF(\eta)}{d\eta}\right|_0 > 0$. Собственные частоты системы раз-

несены на величину, примерно равную $\Delta=2\pi/\tau$. Вопрос о числе различных УСОГ может быть решен путем расчета ХСР, аналогичных приведенным на рис. 1 и 2 графикам.

Основные закономерности поведения исследуемой АКС в зависимости от величины $\varkappa_1$ сводятся к следующему:

— при $\Omega<1$ колебания возбуждаются в системе с оптимальным запаздыванием только при $\varkappa_1>0{,}5$;

— как следует из расчетов, при изменении параметра $\varkappa_1$ в диапазоне от 0,5 до 0,7 область УСОГ на частоте, меняющейся в небольших пределах относительно ω_0 с изменением γ в ту и другую сторону относительно $\gamma_{ср}$, постепенно расширяется, но в системе остается только одно УСОГ;

— при $\varkappa_1>0{,}7$ появляются и по мере увеличения $\varkappa_1$ постепенно расширяются области допустимых изменений значений параметра γ, в которых реализуются в зависимости от предыстории системы различные УСОГ. Наблюдаются своеобразные и специфические для АКС со многими степенями свободы явления гистерезиса амплитуд и собственных частот. Несмотря на то что $\varkappa_1<1$, генерация в системе оказывается возможной за счет достаточного уровня общей регенерации.

Исследование влияния добротности колебательного контура автогенератора Q на поведение системы показывает, что при снижении Q существенно, при прочих равных условиях, расширяются области допустимых изменений значений параметра γ, в которых наблюдается УСОГ на двух различных собственных частотах системы. Появляются такие области, в которых оказываются устойчивыми три, а при еще меньших значениях параметра Q и большее число различных УСОГ, что свидетельствует о выравнивании запаса регенерации различных УСОГ в АКС. Амплитудные характеристики системы при низких добротностях Q характеризуются более равномерным изменением амплитуды генерации при изменении параметра γ и соответственно более сложной картиной гистерезисных явлений (сравните кривые *2* и *3* на рис. 2). Как следует из расчетов, увеличение регенерации в системе по каналу НОС эквивалентно снижению добротности Q. Этот факт нетрудно объяснить тем, что с повышением регенерации в системе в автоколебательном режиме снижается эквивалентная добротность самого автогенератора [7].

Анализ ХСР показывает также, что параметрический (с изменением γ) перевод системы из одного УСОГ в произвольное другое при заданном соотношении фиксируемых параметров в системе возможен только для вполне определенного способа изменения варьируемого параметра γ, как это показано стрелками на рис. 2.

Полученные теоретически закономерности поведения АКС были экспериментально проверены на электроакустической модели электронного одноконтурного автогенератора с ультразвуковой ЛЗ в канале ЗОС. С помощью внешнего генератора, настроенного на соответствующую собственную частоту АКС, автогенератор переводился в неавтономный режим ОГ и затем, после выключения сигнала от внешнего генератора, в системе в зависимости от соотношения параметров устанавливался или не устанавливался соответствующий данной собственной частоте режим автономной ОГ. В том случае, когда такой режим реализовывался, изменяя величину запаздывания в ЛЗ или плавно перестраивая колебательный контур автогенератора, можно было регистрировать аналогичные рассчитанным ХСР исследуемой АКС. Наиболее типичные из них показаны на рис. 2 пунктиром и качественно хорошо согласуются с теорией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Азьян Ю. М., Мигулин В. В. Об автоколебаниях в системе с запаздывающей обратной связью.— Радиотехника и электроника, 1956, 1, № 4, с. 418—427. [2] Котырев Е. А., Плисс Л. Е. Спектральные особенности устойчивой генерации колебаний в генераторах с запаздывающей обратной связью в мягком режиме.— Радиотехника и электроника, 1965, 10, № 9, с. 1628—1634. [3] Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы, изд. 2-е, перераб. М., 1971, с. 392—395. [4] Многоустойчивые элементы и их применение. Под ред. В. П. Сигорского. М., 1971, 318 с. [5] Дихтяр В. Б. Расчет автогенераторов с внешней запаздывающей обратной связью в режиме запоминания частоты.— Радиотехника и электроника, 1978, 23, № 3, с. 525—534. [6] Рубаник В. П. Колебания квазилинейных систем с запаздыванием. М., 1969, 287 с. [7] Махаринский О. В., Минакова И. И. Метод эквивалентной добротности для исследования многоконтурных автоколебательных систем.— Изв. вузов. Сер. Радиофизика, 1973, 16, № 6, с. 903—908.

Поступила в редакцию
11.05.79

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1981, Т. 22, № 3

УДК 535.36

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ДВИЖУЩИХСЯ ШЕРОХОВАТЫХ ТЕЛ ПО РАССЕЯННОМУ ИМИ СВЕТУ

В. С. Анчуткин, В. И. Шмальгаузен

(кафедра общей физики и волновых процессов)

Исследование вибраций тел с помощью дифференциальных интерферометров находит в последнее время широкое применение [1—4]. Возникающие в таких системах [1, 3, 4] интерференционные полосы Юнга при поперечных возмущениях поверхности совершают колебательное движение. Этот эффект позволяет применить пространственную фильтрацию рассеянного поля амплитудной маской (решеткой) для получения информации о характере возмущения объекта.

В случае образца с шероховатой поверхностью рассеянное поле представляет собой спекл-структуру, изрезанную системой интерференционных полос, период которых определяется геометрией задачи, а их фаза, связанная со статистическими свойствами поверхности, является величиной случайной [3].

Для неподвижной шероховатой поверхности, испытывающей поперечные колебания, сигнал на выходе фотоприемника в интерферометре [4, 5] описывается выражением

$$U(t) = C \iint\limits_{\rho} \cos[\nu x + \varphi(t) + \varphi_0]\, t(x, y)\, dxdy, \tag{1}$$

где C — константа, характеризующая оптические свойства объекта и качество настройки прибора, ρ — область интегрирования, соответствующая размерам диафрагмы фотоприемника, ν — пространственная частота системы интерференционных полос, $t(x, y)$ — функция пропускания фильтра (решетки), $\varphi(t)$ — закон изменения во времени относительного поперечного смещения двух исследуемых точек поверхности, φ_0 — начальная фаза системы полос относительно штрихов амплитудной решетки.

Можно показать, что в случае гармонической решетки для колеблющейся и движущейся параллельно самой себе шероховатой поверхности формула (1) приводится к виду

$$U(t) = C_1(t) \cos\{\varphi(t) + \varphi_0(t)\}, \tag{2}$$