

*А.Л. ЕРОХИН канд. техн. наук, А.Д.МЕНЯЙЛО, канд. техн. наук,
И.П. ЧЕРЕДНИКОВ, П.И. ЧЕРЕДНИКОВ канд. техн. наук*

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

При разработке, производстве и испытаниях сложных систем часто приходится сталкиваться с проблемами моделирования происходящих в них явлений. Особую сложность представляют процессы, протекающие под воздействием переменной движущей силы. В этом случае в системах возникают процессы, аналогичные процессам, связанным с понятием «ускорения» в механических системах. С математической точки зрения учет таких явлений связан с учетом вторых производных в соответствующих системах уравнений. К сожалению, это не всегда возможно, что в свою очередь приводит не только к снижению точности проводимого анализа, но и к значительному искажению результата.

Исследование параметрических колебаний, возникающих при определенных условиях с использованием магнитных сердечников [1; 2], а также выраженная аналогия описания электрических процессов, протекающих в этих системах и системах другой физической природы (например, механических, тепловых, акустических и др.), позволяет создать высокоэффективные и надежные моделирующие устройства, обладающие по сравнению с ЦЭВМ — повышенным быстродействием, оперативностью и простотой.

Анализ работы даже простейшего параметрического зонного генератора показывает, что в нем возможен набор колебаний, описываемых сложными дифференциальными уравнениями второго порядка.

На рис. 1 приведена упрощенная схема параметрического зонного генератора, содержащего два кольцевых магнитных сердечника сечения S , длиной l с обмотками, содержащими w_1 и w_2 витков. Исходя из основных положений теории нелинейных электрических цепей [3], можно получить уравнения для нахождения колебаний в системе при сигнале накачки e_1 :

$$\begin{cases} w_1 S \frac{d(B_1 + B_2)}{dt} + R_1 i_1 + \frac{1}{C_1} \int i_1 dt = e_1; \\ w_2 S \frac{d(B_1 + B_2)}{dt} + R_2 i_2 + \frac{1}{C_2} \int i_2 dt = e_2. \end{cases} \quad (1)$$

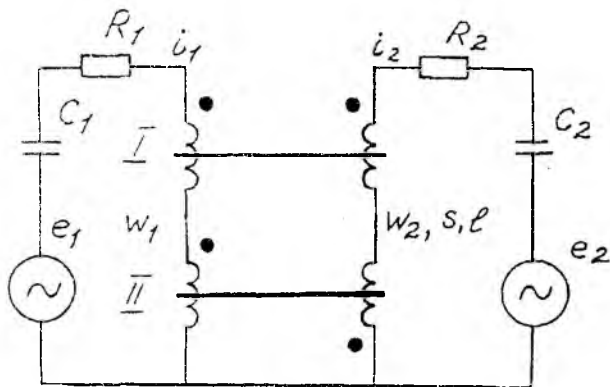


Рис. 1

где B_1 и B_2 — индукция магнитного поля для первого и второго сердечников соответственно.

После некоторых математических преобразований система уравнений (1) может быть приведена к виду:

$$\begin{cases} \ddot{x} + \delta_1 \frac{d}{dt} \left(\operatorname{sh} \frac{x}{2} \operatorname{ch} \frac{y}{2} \right) + \gamma_1 \operatorname{sh} \frac{x}{2} \operatorname{ch} \frac{y}{2} = e_1^1; \\ \ddot{y} + \delta_2 \frac{d}{dt} \left(\operatorname{ch} \frac{x}{2} \operatorname{sh} \frac{y}{2} \right) + \gamma_2 \operatorname{ch} \frac{x}{2} \operatorname{sh} \frac{y}{2} = e_2^1, \end{cases} \quad (2)$$

где введены следующие обозначения:

$$\tau = \omega t; \quad x = \beta(B_1 + B_2); \quad y = \beta(B_1 - B_2);$$

$$\delta_1 = \frac{\alpha \beta I R_1}{w_1^2 s \omega}; \quad \delta_2 = \frac{\alpha \beta I R_2}{w_2^2 s \omega}; \quad \gamma_1 = \frac{\alpha \beta I}{\omega^2 w_1^2 s C_1}; \quad \gamma_2 = \frac{\alpha \beta I}{\omega^2 w_2^2 s C_2};$$

$$e_1^1 = \frac{\beta}{\omega w_1 s} \cdot \frac{de_1}{d\tau}; \quad e_2^1 = \frac{\beta}{\omega w_2 s} \cdot \frac{de_2}{d\tau}.$$

При выводе уравнений (2) использована аппроксимация нелинейной зависимости индукции $B(t)$ от напряженности H магнитного поля в виде гиперболического синуса.

Обратим внимание, что из уравнений (2) может быть получен ряд других уравнений для описания различных по физической природе явлений. В качестве примера в [4] приведены некоторые преобразования урав-

нений (2). Там же приведены основные условия преобразований, а также области применения преобразованных уравнений. Отсюда следует, что, решая уравнения (2), мы можем исследовать процессы, протекающие не только в параметрических зонных системах, но и в системах, описываемых уравнениями, приведенными в [1, табл. 1]. Решение этой и других аналогичных задач значительно упрощается применением аналогового процессора с параметрическим генератором.

Функциональная схема разработанного аналогового процессора в упрощенном виде приведена на рис. 2.

Процессор состоит из N каналов, каждый из которых содержит параметрическую зонную систему, выполненную в простейшем случае на двух тороидальных магнитных сердечниках, имеющих обмотки накачки, соединенные последовательно и согласно, и обмотки резонансные, соединенные последовательно и нагруженные на RC -контур. На обмотки накачки подаются сигналы через блок переключателей 2 с блока задания исходных 3, при этом B_0 — обеспечивает постоянное начальное смещение, B_1, B_m — переменную накачку параметрического контура с целью изме-

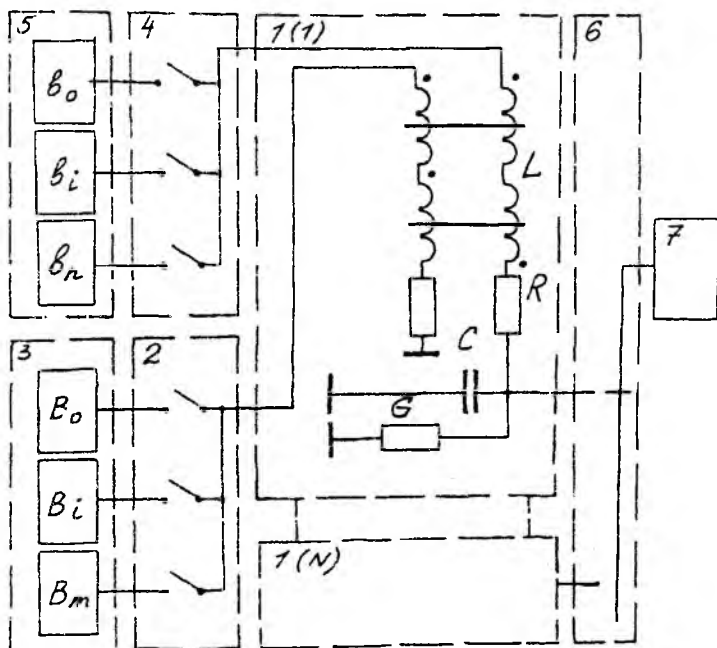


Рис. 2

нить не только параметры системы, но и влиять на ее структуру.

При этом в контуре происходит модуляция реактивного параметра (индуктивности). Процессы перемагничивания сердечников в каждом канале определяются гистерезисной кривой, которую для целей моделирования целесообразно аппроксимировать гиперболическим синусом $H = \alpha sh \beta B(t)$, причем коэффициенты аппроксимации однозначно связаны с внешними воздействующими на сердечник силами [5]. В качестве внешней воздействующей силы в разработанном устройстве используется сигнал накачки, который через блок переключателей 4 подается на резонансные обмотки сердечников с блока управления 5. С помощью этих сигналов осуществляется управление процессами вложения и отбора энергии, изменением формы, частоты и фазы колебаний на выходе контура, при этом b_0 обеспечивает постоянное подмагничивание (смещение колебаний по вертикали), b_1, b_n — переменное смещение (изменение формы, частоты и фазы колебаний).

Динамическая индуктивность в параметрическом контуре изменяется по зависимости [5] с помощью гиперболического косинуса

$$L_g(t) = L_0 / ch \beta B(t),$$

где L_0 — статистическая индуктивность параметрического контура.

Результирующая функция входного воздействия (накачки)

$$B(t) = B_0 + \sum_{i=1}^m B_m \sin(m\omega t + \varphi_m).$$

Тогда результирующая функция управления может быть представлена в виде

$$b(t) = B_0 + \sum_{i=1}^n b_n \sin(n\omega t + \varphi_n).$$

Изменяя амплитуду и частоту накачки параметрической системы, можно перейти в различные зоны неустойчивости [1], при этом, благодаря эффекту параметрического резонанса, происходит сложное преобразование колебаний, описываемых системой уравнений (2). Выходные колебания с каждого канала процессора через переключатель 6 поступают на индуцирующие и регистрирующие блоки 7, где может быть получена кривая изменения динамической индуктивности $L_g(t)$, производной динамической индуктивности $L'_g(t)$, частоты и формы параметрических колебаний в различных зонах неустойчивости.

Процессы в используемой параметрической системе, описываются в зависимости от условий возбуждения и управления различными видами дифференциальных уравнений. Определенному виду процесса соответствует своя форма колебаний, следовательно, и соответствующее дифференциальное уравнение. Таким образом, система из N соответствующих параметрических систем обеспечивает моделирование системы N дифференциальных уравнений.

Если в качестве целевой функции выбрать форму соответствующего колебания на выходе одного из каналов системы, то для ее решения достаточно задать начальные условия, входящие в выражение $\Pi = \Pi(w, s, l, \alpha, \beta, R, C, L, G, B(t), b(t))$. Определив соответствие между начальными условиями и параметрами моделируемого дифференциального уравнения и установив соответствующие начальные условия в параметрической системе, получим на выходе аналогового процессора его решение в виде параметрических колебаний, выведенных на блок индикации.

Исследования разработанного аналогового процессора показали, что применяя параметрические колебательные системы с соответствующими связями в качестве моделирующих блоков, можно решать дифференциальные уравнения практически мгновенно, с высокой степенью точности.

Разработанный процессор позволяет моделировать процессы в различных по физической природе системах без перестройки структуры процессора, а многоканальность устройства дает возможность наиболее полно учитывать комплекс процессов в динамике.

Для моделируемого объекта необходимо:

- 1) составить уравнение исследуемого процесса;
- 2) определить соответствие между начальными условиями для параметрической системы и коэффициентами уравнения;

3) определить требуемые уровни входных и управляющих воздействий $B_0, B_1, B_m, b_0, b_1, b_n$ с помощью соответствующих блоков и переключателей.

После включения процессора автоматически перестраиваются его параметры (электрические и структурные), а на его выходе возникает процесс, соответствующий моделируемому дифференциальным уравнением. Для исследования поведения моделируемого объекта или процесса при изменении начальных условий достаточно изменить соответствующее входное или управляющее воздействие регулировкой амплитуд генераторов.

В заключение следует отметить, что разработанный аналоговый процессор обладает повышенным быстродействием, оперативностью, способен моделировать вибрационные, электрические, тепловые воздействия и удары. Он позволяет моделировать процессы в сложных системах не только по уравнениям, описывающим данный процесс, а и непосредственно по структуре анализируемой системы.

Список литературы: 1. Зуев Н.Г., Титаренко А.М., Чередников П.И. О характеристиках параметрических систем, работающих на высших гармониках / Харьк. ин-т радиоэлектроники. 1985. 15 с. Деп. в УкрНИИТИ 17.12.85. 2 Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей. М., 1972. 328 с. 3. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи. М., 1977. 343 с. 4. Чередников П.И. Способ преобразования сигналов. А.с. СССР № 1216822. Б.И. № 9. 1986. 5. Зуев Н.Г., Магиденко В.Э., Титаренко А.М., Чередников П.И. К расчету характеристик нелинейных индуктивностей. Харьк. ин-т радиоэлектроники, 1983. Деп. в УкрНИИТИ 11.11.84, № 1877. Ук 84. 6. Алифов А.А., Фролов К.В. Взаимодействие нелинейных колебательных систем с источниками энергии. М., 1985. 328 с.

*Харьковский государственный технический
университет радиоэлектроники*

Поступила в редакцию 13.05.98