

СИНТЕЗ ARC-ЦЕПЕЙ С ЛОГИЧЕСКИМИ ПОДСХЕМАМИ

Докт. техн. наук, проф. БОНДАРЕНКО А. В.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Канд. техн. наук, доц. БОНДАРЕНКО В. В.

Санкт-Петербургский институт кино и телевидения

Канд. техн. наук, доц. МОЖАР В. И.

Белорусский национальный технический университет

Реализация ARC-цепей на базе микроэлектроники играет существенную роль при проектировании и создании технических систем различного назначения. Примерами построения моделей блоков управления технических систем обеспечения безопасности дорожного движения, биологических и других сред являются [1–3]. Следует отметить, что разработанная авторами [3, 4] методика синтеза нелинейных и параметрических цепей в общем случае может быть распространена и на гибридные системы, содержащие логические блоки наряду с дискретными и параметрическими элементами. При этом требования к характеристикам составляющих подсистем тесно взаимосвязаны, а алгоритмы построения подобных конфигураций еще недостаточно разработаны. Отсюда следует актуальность поиска решений и дальнейших исследований в области синтеза аналого-гибридных структур с различными классами элементов.

В настоящей работе предложен один из путей решения проблемы для систем, содержащих логические функциональные блоки.

Рассмотрим блок-схему реализуемой системы (рис. 1), где A – линейная ARC-цепь с дискретными и параметрическими элементами; L – логический блок. Вектор-столбец входных воздействий $[x(t)]$ и вектор-столбец реакций $[y(t)]$ относятся к узлам с номерами 1 – n аналоговой ARC-цепи неуравновешенного типа, содержащей наряду с линейными и параметрическими

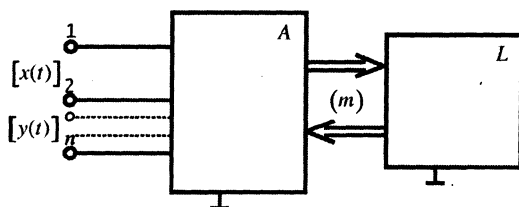


Рис. 1

двухполюсниками идеальные дискретные элементы. Количество узлов m подключения логического блока L определяется конкретной задачей. На первом этапе положим, что логический блок управляет параметрами двухполюсных элементов (данное ограничение легко снимается и представлено

здесь лишь с целью ориентации конкретной реальной системы). И далее положим, что цепь не содержит других нелинейных аналоговых двухполюсников и идеальных дискретизаторов.

На основании методики, разработанной авторами [2, 4] для нелинейно-параметрической системы, имеем следующее обобщенное описание системы (с учетом принятых положений):

$$\begin{aligned} [P(t)] &= W\{[Q(t)]\}; \\ [Q(t)] &= [A(p)][P(t)] + [B(p)][x(t)]; \\ [y(t)] &= [C(p)][P(t)] + [D(p)][x(p)], \end{aligned} \quad (1)$$

где $W\{\bullet\}$ – оператор преобразования некоторого q -мерного вектора состояния $[Q(t)]$ в вектор-столбец $[P(t)]$; $[A(p)]$, $[B(p)]$, $[C(p)]$, $[D(p)]$ – некоторый квадруполь матриц, связывающих ARC-цепь (рис. 1) с логическим блоком; p – оператор дифференцирования; p^{-1} – интегральный оператор; $pp^{-1} = p^{-1}p = 1$ – тождественный оператор. Учтем, что согласно постановке задачи $[P(t)] = [P(t)]_1 U[P(t)]_2$ – дизъюнкция двух непересекающихся множеств векторов, один из которых есть результат логического воздействия на q_1 -мерный вектор-столбец переменных состояния $[Q(t)]_1$, а другой – отвечает параметрическим элементам с q_2 -мерным вектором состояния $[Q(t)]_2$, т. е. $[P(t)] = W_L\{[Q(t)]_1\}$, $[P(t)]_2 = W_p\{[Q(t)]_2\}$, $q = q_1 U q_2$, где индексы L и p указывают на операции логики и параметризации соответственно. (Векторы $[P(t)]$ и $[Q(t)]$ в (1) могут быть взаимно заменены.)

Предположим, что $[y(t)]$ и $[x(t)]$ имеют размерности напряжения. Тогда от (1) несложно перейти к выражению вида

$$\begin{bmatrix} [i(t)] \\ [0] \\ [0] \\ [0] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [K]_1 & [0] & [K]_2 & [K]_3 \\ [D(p)] & [-1] & & [C(p)] \\ & [0] & & \\ -[B(p)] & [0] & \begin{bmatrix} W_L^{-1}\{\bullet\} & [0] \\ [0] & W_p^{-1}\{\bullet\} \end{bmatrix} & -[A(p)] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [x(t)] \\ [y(t)] \\ [Q(t)]_1 \\ [Q(t)]_2 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где вещественные матрицы $[K]_1$, $[K]_2$, $[K]_3$ могут быть выбраны произвольно с учетом дополнительных инженерных соображений; отрицательная степень операторов $W_L\{\bullet\}$, $W_p\{\bullet\}$ предполагает выполнение условий диффеоморфизма; $i(t)$ – входной ток будущей схемной модели.

Системная характеристика, согласно (2), будет иметь вид:

$$[T(p)] = \begin{bmatrix} [K]_1 & [0] & [K]_2 & [K]_3 \\ [D(p)] & [-1] & & [C(p)] \\ & [0] & & \\ -[B(p)] & [0] & \begin{bmatrix} W_L^{-1}\{\bullet\} & [0] \\ [0] & W_p^{-1}\{\bullet\} \end{bmatrix} & -[A(p)] \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Формула (3) позволяет с помощью инверсного оператора порядка m_0 , $Bm_0^{-1}\{\bullet\}$, согласно алгоритму, представленному в [3, 4], перейти к реализации ARC-цепей неуравновешенного типа без индуктивностей и трансформаторов в соответствии с выражением

$$[Y(p)] = Bm_0^{-1}\{[T(p)]\}. \quad (4)$$

Из (3) получим дифференциальное операторное изображение системной характеристики вида

$$[T(p)]_0 = [C(p)] \left[\begin{array}{cc} W_L^{-1}\{\bullet\} & [0] \\ [0] & W_p^{-1}\{\bullet\} \end{array} \right]^{-1} [A(p)] [B(p)] + [D(p)]. \quad (5)$$

На основании (5) можно построить следующую функциональную блок-схему (рис. 2), где $f_1(t) = [P(t)]_1 U[P(t)]_2$; $f_2(t) = [Q(t)]_1 U[Q(t)]_2$.

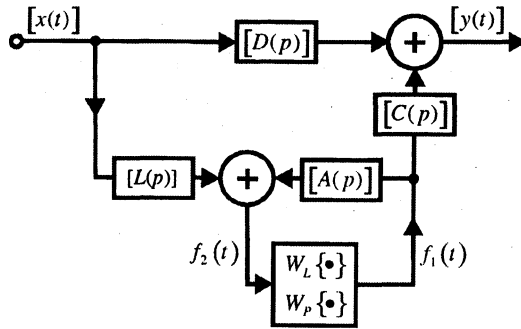


Рис. 2

Покажем, что из (5) в ограниченном числе случаев (линейная цепь, абсолютная сходимости несобственных интегральных преобразований Лапласа и др.) можно получить изображение по Лапласу системной функции $[T(s)]_0$ при замене p на $s = \sigma + j\omega$. В качестве примера рассмотрим функциональную модель (рис. 2) в соответствии с логической под схемой для моделирования колесных подвесок платформы с переменной массой и нелинейной жесткостью пружин или рессор. При этом необходимо синтезировать данную модель согласно рис. 1 на базе элементов микроэлектроники с дополнительными инженерными требованиями к конфигурации цепи [1, 2, 4].

Пример. На платформу, имеющую опоры с нелинейными упругими элементами (пружинами), погружаются три различных контейнера массами m_1, m_2, m_3 соответственно, причем суммарная величина массы любых двух из них больше массы оставшегося. Текущая координата $x(t)$ вертикального перемещения центра массы находится в трех возможных диапазонах: $0 \leq x(t) \leq x_1$; $x_1 \leq x(t) \leq x_2$; $x_2 \leq x(t)$. Построить электрическую модель, отвечающую данным требованиям.

Исходя из нелинейного параметрического механического уравнения,

$$\ddot{x}(t) + (B/m)\dot{x}(t) + (K/m)x(t) = (B/m)\dot{y}(t) + (K/m)y(t),$$

где начало координаты вертикального перемещения $x(t)$ находится на платформе; $y(t)$ – координата дороги; B – коэффициент вязкого трения; K – упругость рессор (пружин) колесных пар; m – масса платформы, $m \in \{m_1, m_2, m_3\}$ (собственная масса для упрощения включена в характеристики контейнеров). С учетом трех диапазонов для $K(0 < K_\alpha \leq K_1; K_1 \leq K_\beta \leq K_2; K_\gamma \geq K_2)$ на основании метода электромеханических аналогий получим следующий нелинейно-параметрический цепной эквивалент исходной механической системы (рис. 3).

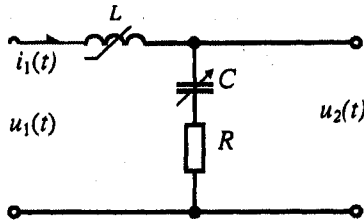


Рис. 3

На рис. 3 показана нелинейная величина параметра индуктивности, обратная величине жесткости пружин, которая определяется следующими логическими операциями с нагрузками: любой из одиночных контейнеров обеспечивает работу в диапазоне K_α ($0 \leq K_\alpha \leq K_1$), любые два контейнера требуют повышения жесткости до K_β ($K_1 \leq K_\beta \leq K_2$), и, наконец, все три нагрузки работают при $K_\gamma \geq K_2$. Переменная во времени емкость отвечает трем различным массам $C \in \{C_1, C_2, C_3\}$. Наложим дополнительные требования к конечной модели: реактивные элементы должны быть с общим узлом, неизменными, нелинейными и параметрическими. Система уравнений по методу переменных состояния $[i_1(t), u_c(t)]^t$, где t – транспозиция матрицы-строки, будет иметь вид:

$$d/dt \begin{bmatrix} i_1(t) \\ u_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R/L & -1/L \\ 1/C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1(t) \\ u_c(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L \\ 0 \end{bmatrix} u_1(t);$$

$$u_2(t) = \begin{bmatrix} R & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1(t) \\ u_c(t) \end{bmatrix}.$$

Здесь:

$$[Q(t)] = [i_1(t), u_c(t)]; \quad [A] = \begin{bmatrix} -R/L & -1/L \\ 1/C & 0 \end{bmatrix}; \quad [B] = [1/L \ 0];$$

$$[C] = [R \ 1]; \quad [D] = [0].$$

Заметим, что полученная система отвечает общему виду (1). От исходного прототипа модели (рис. 3) перейдем к новым переменным состояния $u_3(p)$ и $u_4(p)$ – потенциалам третьего и четвертого узлов искомой цепи. В этом случае

$$\begin{bmatrix} 0 & R & 1 \\ -1/L & p+R/L & 1/L \\ 0 & -1/C & p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(p) \\ u_3(p) \\ u_4(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_2(p) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Здесь принято условие достаточно медленного изменения параметра C . Иначе несложное дополнение от составляющей $dC(t)/dt$ также может быть учтено. Согласно (2) и (3), можно получить, полагая $[K]_1 = [K]_3 = [0]$; $[K]_2 = 1$:

$$[T(p)] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & R & 1 \\ -1/L & 0 & p+R/L & 1/L \\ 0 & 0 & -1/C & p \end{bmatrix}.$$

Реализация $[T(p)]$ возможна с учетом (4) при $m_0 = 2$ по матрице проводимостей

$$[Y(p)] = B_2^{-1} \{ [T(p)] \} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & R & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p & 0 & 1 \\ -1 & 0 & R & 1 & L & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & C \end{bmatrix}.$$

Известные методы [4] реализации $[Y(p)]$ с помощью приемов синтеза ARC-цепей приведут к схеме, представленной на рис. 4, где все величины в Ом^{-1} и Φ , $[x(t)] = u_1(t)$; $[y(t)] = u_2(t)$, кроме указанных, все коэффициенты являются единичными. Из $[Y(p)]$ следует, что в соответствии с выражением (3) $[D(p)] = 0$;

$$[C(p)] = \begin{bmatrix} p^{-1} & 0 \\ Rp^{-1} & -p^{-1} \end{bmatrix}; \quad [B(p)] = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad [A(p)] = - \begin{bmatrix} Rp^{-1} & -p^{-1} \\ p^{-1} & 0 \end{bmatrix};$$

$$W_L^{-1} \{ \bullet \} \Rightarrow L; \quad W_p^{-1} \{ \bullet \} \Rightarrow C; \quad [Q(t)] = u_5(t); \quad q_1 = 1; \quad [P(t)]_1 = i_5(t);$$

$$[Q(t)]_2 = u_6(t); \quad q_2 = 1; \quad [P(t)]_2 = i_6(t); \quad q = 2.$$

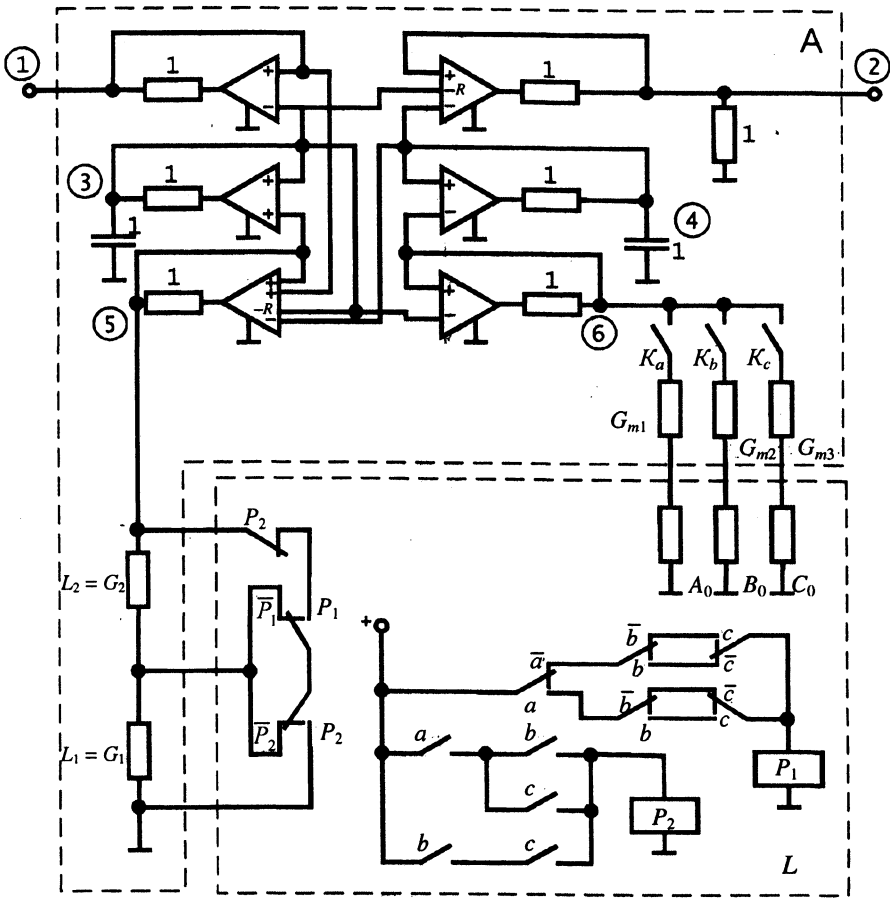


Рис. 4

В логическом блоке L расположены две обмотки реле P_1 и P_2 с соответствующими контактами, коммутирующими проводимости G_1 и G_2 , равные величинам L_1 и L_2 , и комбинация ключей, коммутируемых в соответствии с изменяющейся координатой $x(t)$, обеспечивающих кусочно-линейный закон изменения жесткости подвески; проводимости G_{m1} , G_{m2} , G_{m3} соответствуют параметрической емкости. Блок ARC (A) содержит ключи K_a , K_b , K_c , коммутирующие условия нагрузок на платформу, и управляет работой обмоток реле A_0 , B_0 , C_0 (с контактами a , b , c), определяющими логический выбор жесткости рессор (L_1 , L_2 , $L_1 L_2 / (L_1 + L_2)$). В случае необходимости можно учесть и изменение коэффициента вязкого трения, определяемое R -параметрами.

В заключение отметим, что полученная реализация модели (рис. 2) с помощью ARC-схем является не единственно возможной и представляет лишь первое приближение, нуждающееся в дальнейшей машинной оптимизации ее характеристик и параметров. Сама релейно-контактная схема может быть реализована на микросхемах по известным подходам к проектированию переключательных схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко А. В., Бондаренко В. В. Моделирование блоков управления технических систем обеспечения безопасности дорожного движения // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сб. докл. IV междунар. конф. – СПб., 2000. – С. 163–168.

2. Бондаренко А. В., Бондаренко В. В. Реализация некоторых нелинейных динамических цепей при моделировании сложных технических и биологических систем // Электричество. – 1997. – № 10. – С. 66–70.

3. Bondarenko A. V. Linear, Nonlinear, Parametric and Discrete Circuits (Systems) General Method Synthesis // International Symposium on Theoretical Electrical Engineering, ISTET'97, Palermo, Italy, June 9–11, 1997. – P. 482–484.

4. Бондаренко А. В. Общая теория реализации активных RC-схем // Электричество. – 1983. – № 7. – С. 63–65.

Представлена кафедрой
электротехники и электроники

Поступила 30.01.2002

УДК 621.319.7

ЭФФЕКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Докт. техн. наук, проф. СЫЧИК В. А., канд. техн. наук ПРЕДКО Ю. И.,
инженеры УЛАСЮК Н. Н., ШУМИЛО В. С.

Белорусский национальный технический университет

Все методы бесконтактного контроля параметров электрических цепей можно классифицировать по физическому эффекту, используемому для определения величины постоянного тока. Наибольшее распространение для бесконтактного контроля величин постоянного напряжения и тока получили методы и основанные на них устройства, использующие точную оценку излучаемых от поверхности образцов электрических полей.

Как известно, металлический образец, к которому подведено напряжение постоянного тока U , излучает электрическое поле

$$E = \frac{CU}{\epsilon\epsilon_0}, \quad (1)$$

где $\epsilon\epsilon_0 = \epsilon_a$ – абсолютная диэлектрическая проницаемость; C – емкость металлического образца относительно земли.

Поскольку

$$E = f(X) = \frac{q}{4\pi\epsilon_a X^2}, \quad (2)$$

с учетом (1) можно представить $U = kE$, где k – коэффициент пропорциональности, учитывающий вариацию расстояния между поверхностью образца и измерительным электродом.