А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

УДК 681.142.68; 517.11; 519.95; 52.506; 578.621.36

А. П. ВИШНЕВСКИЙ

(Новосибирск)

ПОЛИЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ СО СДВИГОМ ИЗОБРАЖЕНИЯ ФУНКЦИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

1. При создании измерительных информационных систем наблюдается неуклонная тенденция повышения гибкости структуры измерительной системы и отдельных ее блоков, тенденция внедрения бионических элементов и принципов [1, 2]. В связи с этим значительный интерес представляют полилогические элементы (ПЛЭ) [3]. Для телеметрических информационных систем с большой пространственной распределенностью структуры (типа автоматизированной метеорологической информационной системы) и систем, состоящих из подвижных объектов (спутники, ракеты, самолеты, наземные и водные средства транспорта), представляют интерес ПЛЭ с частотным кодированием изображения функции (частотные ПЛЭ). В ПЛЭ [3, 4] формирование гребенчатого порога осуществляется путем перемещения уровня входной функции относительно неподвижных эталонных чисел вектора изображения функции. В настоящей статье исследуются новые ПЛЭ, в которых гребенчатый порог получается путем перемещения вектора изображения функции относительно эталонной константы под воздействием уровня входной функции. Будем называть такие элементы ПЛЭ со сдвигом вектора изображения функции (ВИФ).

2. Для определения и описания многозначных ПЛЭ используем алгебраическую систему $<Q, F, I>$, которую будем называть алгеброй полилогики или просто полилогикой. Здесь Q — совокупность вещественных чисел, включающая множество натуральных чисел. $F=\{+, -, \cdot, \leqslant, \lambda, \Uparrow\}$ — множество операторов, где $+$, $-$, $\cdot$ — операторы обычного сложения, вычитания и умножения чисел; $\leqslant$ — знак меньше или равно; λ — оператор условного сравнения; $\Uparrow$ — оператор подстановки. Для многоместной операции сложения пишут $x_1 + \cdots + x_i + \cdots + x_n = \sum\limits_{i=1}^{n} x_i$; $I = \{\widetilde{\beta}_1(\gamma_{\omega_0}\gamma_{\omega_1}), \ \widetilde{\beta}_2(\gamma_{\omega_0}\gamma_{\omega_1}\gamma_{\omega_2}), \ \widetilde{\beta}_{p-1}(\gamma_{\omega_0}\gamma_{\omega_1}\cdots\gamma_{\omega s}\cdots\gamma_{\omega(p-1)}, \ldots\}$ — множество всех комбинационных векторов изображений функции одного переменного.

Функционирование комбинационного ПЛЭ со сдвигом ВИФ описывается полилогической функцией

$$z = \widetilde{\beta}(\gamma_{\omega_0}\cdots\gamma_{\omega s}\cdots\gamma_{\omega(p-1)}) \lambda v, \tag{1}$$

где $\widetilde{\beta}(\gamma_{\omega_0}\cdots\gamma_{\omega s}\cdots\gamma_{\omega(p-1)})$ — сдвигаемый комбинационный ВИФ;

$\omega s=(s \pm A) \bmod p$; $A=\sum_{i=1}^{n} x_i r_i$; $\gamma_{\omega s}$, $x_i \in \{0, 1, \ldots, q-1\}$; r_i — целое число, причем $r_i \leqslant q^{i-1}$; $s=0,1,\ldots, p-1$; $\beta(\gamma_{\omega s})=\omega s$; $q^n \geqslant p \geqslant \sum_{i=1}^{n}(q-1) r_i+1$; v — целое число в пределах $0 \div (p-1)$, обычно $v=0 \vee p$. Знак $\sim$ над β означает, что изображение функции перестраиваемое и может принимать любой из q^p видов. λ — оператор условного сравнения эталонной константы с вектором изображения функции и определяет выходную функцию

$$z=\begin{cases} \gamma_{\omega s}, & \text{если } |\omega s-v| \leqslant \Delta/2; \\ \varnothing, & \text{если } |\omega s-v| > \Delta/2, \end{cases} \tag{2}$$

где $0 \leqslant \Delta \leqslant \omega s-\omega(s-1)$; $\varnothing$ — пустое множество.

Переменные z, x, γ могут быть определены также на множестве дробных чисел $\{0, {}^1/q, \ldots, q-{}^1/q\}$, которое изоморфно множеству целых чисел $\{0,1,\ldots, q-1\}$.

В позиционном ПЛЭ со сдвигом ВИФ изображение функции неизменно, а $\omega s=[s \pm (A+B)] \bmod p$, где $A=\sum_{i=1}^{n} x_i r_i$ — уровень входной функции; $B=\sum_{j=1}^{k} m_j R_j$ — уровень настроечной функции; при этом $x_i, m_j \in \{0, 1, \ldots, q-1\}$; $r_i \leqslant q^{i-1}$; $R_j \leqslant q^{j-1}$ либо $x_i \in \{0, 1, \ldots, q_1-1\}$; $m_j \in \{0, 1, \ldots, q_2-1\}$; $r_i \leqslant q_1^{i-1}$; $R_j \leqslant q_2^{j-1}$;

$$p \geqslant \sum_{i=1}^{n}(q_1-1) r_i+\sum_{j=1}^{k}(q_2-1) R_j+1.$$

Имеют место теоремы, которые приводятся без доказательства.

Теорема 1. Все множество функций алгебры q-значной логики n переменных для любого n может быть реализовано комбинационным ПЛЭ со сдвигом ВИФ.

Теорема 2. Позиционный ПЛЭ со сдвигом ВИФ способен реализовать все множество функций n переменных алгебры q-значной логики для произвольного n.

Наряду с полными ПЛЭ, реализующими все множество Р функций алгебры q-значной логики, можно выделить частичные ПЛЭ, которые реализуют часть функций множества Р, и монологические q-значные элементы, выполняющие только одну функцию.

Синтез ПЛЭ со сдвигом ВИФ заключается в нахождении вектора $\langle r_1, \ldots, r_n, R_1, \ldots, R_k, \beta(\gamma_{\omega_0} \ldots \gamma_{\omega s} \ldots \gamma_{\omega(p-1)}), v \rangle$. При этом может быть использован метод, разработанный в [4].

3. Формула (1) ПЛЭ со сдвигом ВИФ определяет структуру элемента, который состоит из: 1) блока сложения входных переменных; 2) блока перемещения (сдвига) вектора изображения функции; 3) блока сравнения эталонной константы с вектором изображения функции.

Сравнительно простая техническая реализация ПЛЭ со сдвигом ВИФ получается при использовании частотных принципов, когда перемещение изображения функции, закодированного спектром, осуществляется с помощью схем преобразования частоты. На рис. 1 приведена схема частотного ПЛЭ со сдвигом ВИФ, где I — источник напряжения с заданным спектральным составом; II — смеситель частот; III — сумматор логических переменных; IV — управляемый по частоте гетеродин; V — усилитель промежуточной частоты; *VI* — детектор; *VII* — формирователь выходного сигнала.

Вид выполняемой функции задается с помощью источника спектра *I*, генерирующего частотные составляющие, кодирующие $\beta\,(\gamma_{\omega 0} \cdots \gamma_{\omega (p-1)})$. Причем ωs кодируется значением частоты составляющей, а $\gamma_{\omega s}$ — амплитудой колебаний. В позиционном ПЛЭ спектр имеет неизменный состав.

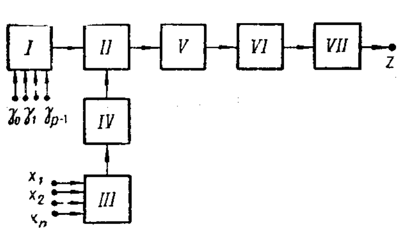

Рис. 1.

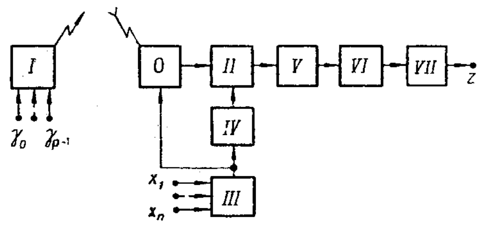

Рис. 2.

В комбинационном ПЛЭ спектральный состав регулируется в зависимости от выполняемой функции путем воздействия на входы $\gamma_0, \dots, \gamma_{p-1}$ изменения спектрального состава выходного напряжения. Сдвиг частотного ВИФ возможен благодаря преобразованию частот и осуществляется на выходе смесителя *II* за счет изменения частоты гетеродина, управляемого под воздействием сигнала уровня входной функции, образующегося на выходе сумматора сигналов логических переменных. Усилитель промежуточной частоты содержит фильтр сосредоточенной селекции и выделяет ту разностную комбинационную частоту, образующуюся в результате смешения частоты гетеродина и спектральных составляющих, кодирующих ВИФ, которая равна промежуточной частоте. Далее усиленный сигнал детектируется и формируется.

ПЛЭ по описанной блок-схеме может быть выполнен на базе радиоприемного устройства. Перед смесителем устанавливается входная цепь О с избирательной системой, управляемой сопряженно с гетеродином под воздействием уровня входной функции с выхода сумматора *III* (рис. 2). В этом случае источником спектра *I* служит одно или группа радиопередающих устройств, удаленных от остальных блоков элемента. Оказывается возможной дистанционная перестройка с одной функции на другую. Причем один радиопередающий пункт может обслуживать практически неограниченное количество ПЛЭ.

4. ПЛЭ со сдвигом изображения функции могут быть использованы при синтезе и описании функциональных преобразователей, преобразователей информации и других устройств, а также в качестве бионических элементов, аналогов нейронов, при моделировании нейронных сетей.

ПЛЭ служат исходными компонентами при синтезе многоустойчивых автоматов измерительных информационных систем. При этом формализм полилогики позволяет предложить новый логический подход к синтезу элементарных многоустойчивых автоматов (МУЭ).

Пусть имеет место комбинационный ПЛЭ, который выполняет функцию одного переменного и определяется формулой

$$z = v \lambda \tilde{\beta}(\gamma_{\omega 0} \dots \gamma_{\omega s} \dots \gamma_{\omega (p-1)}),$$

где $\omega s = (s+x) \bmod p$; $x_i \in \{0, 1, \dots, q-1\}$; $q \leqslant p$; $v = 0$, а изображение имеет вид $\beta\begin{pmatrix} \omega 0 \dots \omega s \dots \omega (p-1) \\ 0 \;\dots\; s \;\dots\; p-1 \end{pmatrix}$; тогда, замыкая вход элемента с выходом, получим МУЭ, описываемый формулой

$$z = 0 \curlywedge \tilde{\beta}\begin{pmatrix} \omega 0 \dots \omega s \dots \omega (p-1) \\ 0 \dots s \dots p-1 \end{pmatrix};$$

$$\omega s = (s+x) \bmod p; \ z = x.$$

Число состояний МУЭ равно $N=q$. Управление МУЭ осуществляется путем воздействия на входы $\gamma_{\omega s}$. Для перевода элемента из s-го состояния в состояние τ переменной на s-м входе придается значение $\gamma_{\omega s} = \tau$.

В некоторых случаях с целью уменьшения числа входов управления и получения пересчетного режима управления целесообразно применять МУЭ на позиционном ПЛЭ, который выполняет функции двух переменных и описывается формулой

$$z = v \curlywedge \beta\begin{pmatrix} \omega 0 \dots \omega s \dots \omega (p-2) \ \omega (p-1) \\ 0 \dots s \dots p-2 \quad 0 \end{pmatrix}.$$

ВИФ элемента фиксирован; $\omega s = (s+x_1+x_2) \mathrm{mod} p$; $v=0$; $p \geqslant q+1$ $x_i \in \{0, 1, ..., q-1\}$. Примем $p=q+1$. При замыкании входа x_1 с выходом получается МУЭ, описываемый системой

$$z = 0 \curlywedge \beta\begin{pmatrix} \omega 0 \dots \omega s \dots \omega (p-2) \ \omega (p-1) \\ 0 \dots s \dots p-2 \quad 0 \end{pmatrix};$$

$$\omega s = (s+x_1+x_2) \bmod p; \ z = x_1.$$

Для управления используется вход x_2. Если такой МУЭ работает в режиме счета импульсов, то $x_2 \in \{0,1\}$.

Под воздействием импульсных сигналов x_2 элемент последовательно переходит из s-го состояния в $(s+1)$-е. Условие устойчивости, которое записывается для данного типа схем как $\gamma_{\omega s} = \omega s$, выполняется для всех значений ωs, кроме $\omega(p-1)$. Когда элемент достигает состояния $p-1$, $\gamma_{\omega s} = 0$, условие устойчивости нарушено и счетчик возвращается в первоначальное состояние. Положение $p-1$ называется состоянием возврата в исходное. Схема имеет $N=q$ состояний.

МУЭ может быть получен на базе одного ПЛЭ, обладающего несколько другими функциональными возможностями. Пусть имеет место позиционный ПЛЭ, у которого $x_i, \gamma_{\omega s} \in \{0,1\}$, $m_j \in \{0, {}^1/_q \dots, q^{-1}/_q\}$, $R_j = q^{j-1}$, $\omega s = (s+A+B) \mathrm{mod} p$. Обычно при синтезе МУЭ выход z ПЛЭ замыкается со входом m_j, у которого $R_j = q$. Если оказывается, что подсоединения одного входа настройки к выходу ПЛЭ недостаточно для получения заданного числа устойчивых состояний, то к выходу z подключают параллельно несколько входов. МУЭ описывается системой формул

$$z = v \curlywedge \beta\begin{pmatrix} \omega 0 \dots \omega s \dots \omega (p-1) \\ 1 \dots 1 \dots 1 \end{pmatrix};$$

$$\omega s = \left(s + \sum_{i=1}^{n} x_i r_i + \sum_{j=1}^{k-\lambda} m_j R_j + z \sum_{l=1}^{\lambda} R_l\right) \bmod p,$$

где λ, R_l — число и веса входов настройки, подключенных к выходу z. Число устойчивых состояний определяется по формуле $N = \min\left(\sum_{l=1}^{\lambda} R_l/\alpha, N_{(1)}\right)$, где $N_{(1)}$ — число единиц в ВИФ на участке длиной $L = \left(\sum_{l=1}^{\lambda} R_l/\alpha - \right.$

$-1)\alpha$, используемом для организации устойчивых состояний. Воздействуя на остальные входы настройки, можно перемещать область устойчивых состояний по ВИФ. Входы $x_1, \ldots, x_n$ используются для управления МУЭ. Переменная z принимает в устойчивых состояниях значения из множества $\left\{0,1 \Big/ \sum_{l=1}^{\lambda} R_l, \ldots, \sum_{l=1}^{\lambda} R_l - 1 \Big/ \sum_{l=1}^{\lambda} R_l\right\}$.

Когда МУЭ, синтезированный непосредственным замыканием выхода z на один или несколько входов настройки, оказывается не оптимальным, с точки зрения возможностей управления, применяют несколько ПЛЭ. Например, система формул:

$$z_1 = v_1 \curlywedge \beta_1 \begin{pmatrix} \omega' 0 \ldots \omega' s \ldots \omega'(p-1) \\ p-1 \ldots p-s+1 \ldots 0 \end{pmatrix};$$

$$\omega' s = (s + x_1 + m_1) \operatorname{mod} p; \; m_1 = z_2;$$

$$z_2 = v_2 \curlywedge \beta_2 \begin{pmatrix} \omega'' 0 \ldots \omega'' s \ldots \omega''(p-1) \\ p-1 \ldots p-s+1 \ldots 0 \end{pmatrix};$$

$$\omega'' s = (s + x_2 + m_2) \operatorname{mod} p; \; m_2 = z_1,$$

где $m_1, m_2 \in \{0,1, \ldots, p-1\}$, $x_1, x_2 \, \{0,1\}$, описывает МУЭ на двух позиционных ПЛЭ с неизменными ВИФ. Управление МУЭ осуществляется кратковременным изменением переменных на входах x_1, x_2. Если единица появилась на входе x_1, то МУЭ переходит из s-го состояния в $(s+1)$-е относительно выхода z_1; появление единицы на входе x_2 переводит МУЭ из s-го состояния в $(s-1)$-е. Режим непрерывного счета по одному из входов, например x_1, обеспечивается до состояния $p-1$. Для перевода МУЭ в исходное состояние следует на вход x_2 подать $p-1$ импульсов и схема готова к продолжению счета импульсов по входу x_1.

Следует отметить, что рассмотренные МУЭ дают одно из новых возможных представлений о принципах организации памяти в нейронных сетях и взаимодействии нейронов.

Частотные ПЛЭ со сдвигом ВИФ могут быть также использованы при построении измерительных автоматов по сортировке по номиналам изготовляемых реактивностей, в том числе управляемых реактивностей.

В связи с крупномасштабной интеграцией и увеличением функциональных возможностей выпускаемых моноблоков в области микроэлектроники весьма перспективно построение частичных двухзначных полилогических элементов симметрических функций на базе широко применяемых в технике сдвигающих регистров, которые технологичны, так как являются ленточными однородными автоматами и обладают малым числом пересечений внутренних проводников.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Б. Карандеев, М. П. Цапенко. Состояние и проблемы автометрии.— Автометрия, 1967, № 5.
2. К. Б. Карандеев, В. Н. Охотская, Б. И. Пучкин, М. П. Цапенко. Бионические аспекты автометрии.— Автометрия, 1967, № 5.
3. А. П. Вишневский. Применение управляемых избирательных систем при синтезе полилогических элементов измерительных информационных устройств.— Автометрия, 1968, № 5.
4. А. П. Вишневский. К синтезу полилогических элементов.— Кибернетика, 1967, № 4.

Поступила в редакцию
3 января 1969 г.,
окончательный вариант —
20 августа 1969 г.