

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

УДК 681.142.68

А. П. ВИШНЕВСКИЙ

(Новосибирск)

ПРИМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ СИНТЕЗЕ ПОЛИЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Одно из главных мест при решении общей проблемы автоматизации умственного труда занимают измерительные информационные системы [1]. Важным оказывается повышение гибкости структуры всей измерительной системы в целом и блоков обработки измерительной информации и автоматического управления в особенности, применение устройств с логически изменяемой структурой [2, 3]. При создании таких блоков значительный интерес представляют простые полилогические элементы (ПЛЭ), т. е. схемы, способные выполнять все или некоторое множество логических функций. Среди семейства измерительных информационных систем можно выделить подкласс систем, который характеризуется большой пространственной распределенностью блоков, выполняющих примерно одинаковую программу измерений и телеуправляемых централизованно по радио устройством автоматического управления, например сеть необслуживаемых метеорологических станций, серия космических спутников. Сюда также относятся сравнительно небольшие измерительные информационные системы с измерительными блоками, находящимися на различных средствах передвижения или на транспортируемых объектах одноразового действия, когда экономически невыгодно строить автономное устройство управления для каждого использованного объекта и целесообразно иметь отдельное устройство управления многократного действия. В такого рода измерительных системах лучше использовать принципы и схемы ПЛЭ с частотным кодированием вектора изображения функции (частотные ПЛЭ). Однако последние могут применяться и в измерительных приборах, аналогичных описанным в [4].

В частотных ПЛЭ на базе управляемых автогенераторов [5] эталонные числа вектора изображения функции кодируются с помощью частот селекции избирательного проходного четырехполюсника, а уровень входной функции — частотой автогенератора. В настоящей работе рассматриваются новые частотные ПЛЭ, в которых для кодирования уровня входной функции используется частота селекции управляемой избирательной системы, а эталонным числам вектора изображения выполняемой функции соответствуют частоты спектральных составляющих напряжения. Благодаря этому схемы ПЛЭ получаются проще, а их

сложность и топология не зависят от числа и вида выполняемых логических функций. В зависимости от способа перестройки с одной выполняемой функцией на другую различают позиционные и комбинационные ПЛЭ [6]. В работе рассмотрены оба вида ПЛЭ.

Позиционные частотные ПЛЭ. Блок-схема позиционного ПЛЭ приведена на рис. 1, где 1 — управляемая избирательная система, 2 — детектор со сглаживающим фильтром, 3 — формирователь. В качестве управляемой избирательной системы могут быть использованы различные управляемые фильтры верхних и нижних частот, параллельные или последовательные резонансные контуры, гребенчатые фильтры и т. д. Избирательная система играет роль сумматора с преобразованием сигнала. В позиционном ПЛЭ она имеет входы информации x_1, x_2, \dots, x_n и входы настройки m_0, m_1, \dots, m_{k-1} , по которым осуществляется изменение ее амплитудно-частотной характеристики, и вход β , на который подается дискретный линейчатый спектр заданного неизменного состава. Функционирование позиционного ПЛЭ описывается выражением

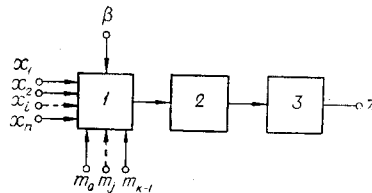


Рис. 1.

описывается выражением

$$z = \begin{cases} 1, & \text{если } |f_k = f_{k0} \pm \left(\sum_{i=1}^n x_i r_i U_i + \sum_{j=0}^{k-1} m_j R_j U_j \right) \alpha'' - f_{cs}| \leq \Delta f'; \\ 0, & \text{если } |f_k - f_{cs}| > \Delta f'; \quad f_{cs} \in C, \end{cases}$$

где $x_i, z \in \{0, 1\}$ — переменная соответственно на входе x_1, \dots, x_n и выходе ПЛЭ; $m_j \in \{0, 1, 2, \dots, q-1\}$ — переменная на входе настройки; $\Delta f'$ — окрестность горба частотного гребенчатого порога;

$f_k = f_{k0} \pm \left(\sum_{i=1}^n x_i r_i U_i + \sum_{j=0}^{k-1} m_j R_j U_j \right) \alpha''$ — закон изменения частоты избирательной системы (в данном случае системы типа резонансный контур); f_{k0} — начальная частота системы; α'' — постоянная, характеризующая нелинейность системы; $r_i U_i, R_j U_j$ — веса входов x_i и m_j соответственно, обычно $U_i = U, U_j = U/l$, где l — целое число;

$C = \{f_{c0}, f_{c1}, \dots, f_{cs}, \dots, f_{c(p-1)}\}$ — множество частот дискретного линейчатого спектра, соответствующее множеству эталонных чисел вектора изображения функции позиционного ПЛЭ [6]; выполняется условие $f_{cs} = f_{ks}; 0 < \Delta f' < (f_{ks} - f_{k(s-1)})/2$.

На рис. 2 приведена принципиальная схема варианта позиционного ПЛЭ. Элемент представляет собой последовательный резонансный контур с набором подключаемых с помощью ключей емкостей. Предполагается, что ключи K_x и K_y управляются сигналами информации, поступающими на входы. Ключ замкнут, когда входной сигнал отсутствует, и разомкнут при наличии сигнала. Многопозиционный ключ K_p — простейший многоустойчивый элемент типа «шаговый искатель» — может занимать одно из пяти положений. На вход β подается синусоидальное напряжение с частотой f_c . При замкнутых ключах K_x и K_y , если последовательно перевести ключ K_p в положения 0, 1, 2, 3, 4, резонансная частота контура принимает соответственно значения f_0, f_1, f_2, f_3, f_4 (рис. 3). Между величинами емкостей соблюдается соотношение $C_0 > C_1 > C_2 > C_3 > C_4$, и они находятся по формуле $C_i = 1/4\pi^2 f_i^2 L - (C_5 - C_6)$. Когда контур настраивается на частоту

$f_4 = f_c$, на выходе z появляются колебания, которые снимаются через детектор на вход усилителя постоянного тока, нагрузкой которого служит обмотка реле с одним контактом или набором контактов, управляющих входами последующих логических элементов (на рис. 2 не показано). Емкость C_5 выбирается такой, что при размыкании ключа K_x , когда ключ K_p находится в положении 2, резонансная частота контура изменяется на величину $f_4 - f_2$. Емкость C_6 выбирается, исходя из условия перестройки контура на величину $f_4 - f_3$ при размыкании ключа K_y , когда ключ K_p находится в положении 3. Контур должен настраиваться также в резонанс с f_c при одновременном размыкании ключей K_x и K_y , если K_p находится в положении 1. Во всех остальных случаях контур расстроен относительно частоты f_c . Минимальный разнос между частотами определяется добротностью контура и должен быть таким, чтобы в полосу его пропускания не попадала частота сигнала f_c при любой частоте настройки, не равной f_4 .

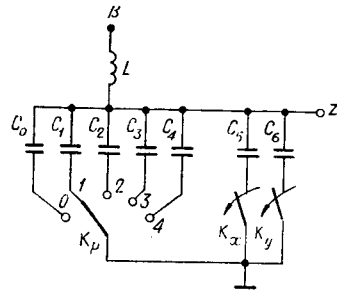


Рис. 2.

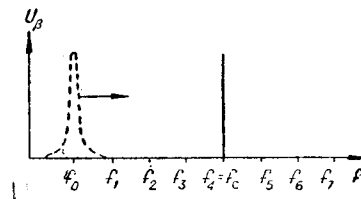


Рис. 3.

Рассмотрим, каким образом происходит выполнение логических операций. Пусть ключ K_p находится в положении 2, первоначальная частота контура равна f_2 . Размыкание ключа K_x вызывает настройку контура на $f_4 = f_c$ и на выходе присутствуют колебания. В случае размыкания только ключа K_y или одновременно K_x и K_y частота контура меньше или больше f_c и сигнал на выходе отсутствует, т. е. реализуется функция запрета по y $z = xy$. Нетрудно увидеть, что, изменяя положение ключа K_p , можно реализовать другие функции двух переменных, всего пять функций: 0 , xy , \overline{xy} , $x\overline{y}$, $\overline{x\overline{y}}$. В общем случае ПЛЭ на управляемом резонансном контуре, запитанном напряжением с одной спектральной составляющей, реализует не более $2^n + 1$ функций. Если число положений переключателя K_p и соответственно число резонансных частот контура (при замкнутых ключах K_x и K_y) довести до 16,

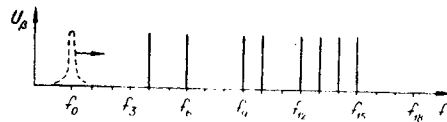


Рис. 4.

а на вход β подать спектр, содержащий восемь частотных составляющих, кодирующих эталонные числа вектора изображения функции минимизированного ПЛЭ, расположенных, как показано на рис. 4, то элемент способен выполнять все шестнадцать функций двух переменных выполняемых ПЛЭ функций n переменных равно $\rho = 2^{2^n}$. Очевидно, максимальное значение ρ определяется диапазоном перестройки и добротностью контура ПЛЭ, видом питающих напряжений и режимом работы схемы.

С точки зрения простоты схемы и повышения быстродействия ПЛЭ, выгодно использовать для перестройки резонансной частоты контура

нелинейные реактивности, управляемые током или напряжением [7]. Однако это не значит, что нет путей повышения быстродействия и упрощения схем с реле. Применение электростатических (магнитоуправляемых) реле, особенно в пленочном исполнении, а также электронных ключей позволит не только улучшить упомянутые параметры, но и сократить габариты схемы и повысить ее экономичность.

Комбинационные ПЛЭ. В тех случаях, когда из-за недостаточности диапазона перестройки по частоте резонансного контура или активного RC-фильтра не удается реализовать заданное множество логических функций на позиционном ПЛЭ, необходимо переходить к комбинационным частотным ПЛЭ. Блок-схема комбинационного ПЛЭ такая же, как и позиционного ПЛЭ. На входы x_1, \dots, x_n также поступают сигналы, управляющие резонансной частотой контура, а на вход настройки в соответствии с выполняемой функцией подается сигнал в виде комбинации составляющих линейчатого спектра. Функционирование комбинационного частотного ПЛЭ описывается выражением

$$z = \begin{cases} 1, & \text{если } \left| f_k = f_{k0} \pm \left(\sum_{i=1}^n x_i r_i U_i \right) \alpha'' \right| - f_{cs} \leq \Delta f'; \\ 0, & \text{если } |f_k - f_{cs}| > \Delta f', \quad f_{cs} \in C, \end{cases}$$

где $x_i \in \{0,1\}$; $C = \{\gamma_0 f_{c0}, \gamma_1 f_{c1}, \dots, \gamma_s f_{cs}, \dots, \gamma_{p-1} f_{c(p-1)}\}$ — управляемое множество частотных составляющих спектра напряжения, подаваемого на избирательный вход β , а $\gamma_s \in \{0,1\}$. Мощность множества $C^* = p$. Множество C порождает 2^p подмножеств частот $C_j \subseteq C$, соответствующих подмножествам эталонных чисел векторов изображения выполняемых ПЛЭ функций. Если $\beta_j (\gamma_0 \gamma_1 \dots \gamma_{p-1})$ — вектор изображения j -й выполняемой функции, то частоты подмножества C_j , соответствующего этой функции, получаются в результате использования операции [6]

$$\gamma_s \beta_j = \gamma_s f_{cs} = \begin{cases} f_{cs}, & \text{если } \gamma_s = 1; \\ \text{пустой член, если } \gamma_s = 0. \end{cases}$$

До сих пор рассматривались ПЛЭ, у которых имело место преобразование $u \rightarrow f \rightarrow u$, т. е. логические переменные на входе представлялись уровнем напряжения (тока), а частота была во внутреннем преобразовании. Иногда оказывается удобным радиоимпульсное представление информации на входах x_i с целью однотипности представления ее с информацией на входах настройки, где последняя представлена в виде радиосигнала. В этом случае имеет место преобразование $f \rightarrow u \rightarrow f$.

Схема комбинационного ПЛЭ функций двух переменных с радиоимпульсным представлением информации на входах приведена на рис. 5. Элемент выполнен на резонансном диэлектрическом усилителе $LC_1C_2C_3C_4$, использующем нелинейные емкости. Соединенные попарно последовательно-встречно емкости C_1C_2 и C_3C_4 включены параллельно, так что у усилителя образуются два независимых входа управления, к которым подсоединяются диоды D_1, D_2 детекторов. На входы x и y поступает двоичная информация, представленная амплитудой синусоидальных колеба-

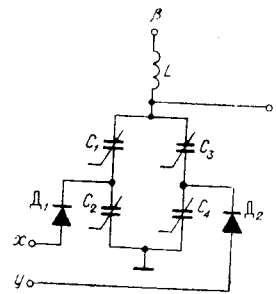


Рис. 5.

ний. Пусть логической единице соответствует наличие колебаний большой амплитуды (A), а нулю — колебания малой амплитуды или полное отсутствие колебаний. Синусоидальное напряжение, поступающее на вход логического элемента, детектируется, в точке соединения емкостей образуется уровень постоянного напряжения U , которое, управляя емкостью, перестраивает резонансную частоту диэлектрического усилителя.

При $x=0$, $y=0$ собственная частота усилителя равна f_0 . Нелинейные емкости в каждой паре C_1C_2 и C_3C_4 имеют одинаковые параметры и выбираются так, что веса входов логического элемента различны, хотя действующий уровень постоянного напряжения на каждом из них одинаков. Сигнал по входу y перестраивает резонансную частоту диэлектрического усилителя на дискретную величину $\Delta f_1 = f_1 - f_0$, а по входу x — на $\Delta f_2 = f_2 - f_0$. Одновременное воздействие сигналов на входы x и y приводит к изменению резонансной частоты усилителя на $\Delta f_3 = f_3 - f_0$. При этом желательно, чтобы выполнялись условия: $\Delta f_3 - \Delta f_2 \geq \Delta f'$, $\Delta f_2 - \Delta f_1 \geq \Delta f''$, $\Delta f_1 \geq \Delta f'''$ и $\Delta f' = \Delta f'' = \Delta f''' \gg f_i Q$.

На вход β логического элемента подается настроенный сигнал в виде переменного напряжения U_β с заданным составом линейчатого спектра. На описываемом ПЛЭ могут быть реализованы все 16 функций двух переменных. Соответственно U_β принимает 16 значений с различными комбинациями из множества частот спектра (рис. 6). Абсолютные значения частот спектра $f_{c0}, f_{c1}, f_{c2}, f_{c3}$ выбираются соответственно равными дискретным резонансным частотам диэлектрического усилителя f_0, f_1, f_2, f_3 . Обработанная двоичная информация снимается с выхода z в виде амплитуды синусоидальных колебаний. Последние присутствуют на выходе только в том случае, если в полосу пропускания диэлектрического усилителя попадает одна из спектральных составляющих напряжения U_β . Например, при подаче на вход β напряжения $U_{\beta 1}$, содержащего одну спектральную составляющую f_{c3} (см. рис. 6), ПЛЭ выполняет функцию $z = xy$.

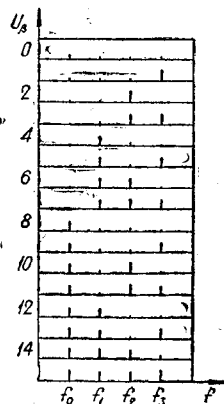


Рис. 6.

Для получения элемента, способного без изменения схемы, выполнять все функции трех переменных, т. е. $p=256$, необходимо добавить для входа третьей переменной еще одну пару управляемых емкостей с соответствующим весом. Мощность спектра при этом равна $2^3=8$. В общем случае число переменных определяет количество пар нелинейных емкостей, мощность спектра $p = \sum_{i=1}^n r_i + 1$ и

число выполняемых функций $p=2^p$. Количество выполняемых функций увеличивается, если организовать, кроме основных, дополнительные входы путем присоединения детектирующих диодов к средним точкам соединения нелинейных емкостей.

При экспериментальной проверке принципа работы комбинационного ПЛЭ от двух переменных в качестве нелинейных емкостей использовались p - n переходы кремниевых стабилитронов типа Д810 с начальными значениями емкостей $C_{10}=C_{20}=480$ пф, $C_{30}=C_{40}=254$ пф; индуктивность $L=0,375$ мкн. Настроенное напряжение U_β формировалось из спектральных составляющих с частотами $f_{c0} = 430$, $f_{c1} = 488$, $f_{c2} = 560$, $f_{c3} = 710$ кГц. Амплитуда каждой спектральной составляющей равна

0,15 в. Амплитуда колебаний на входах x и y и соответственно на выходе соответствует $A=5$ в. Постоянное напряжение, образующееся в точке соединения емкостей в результате детектирования, составляет $U=5$ в. К выходу проверенной схемы может быть подсоединено 8 входов подобных элементов. Весьма перспективно использование в схеме элемента нелинейных емкостей с ярко выраженным ступенчатым характером нелинейности.

Полилогический элемент может быть выполнен на базе резонансного магнитного усилителя с несколькими обмотками подмагничивания (рис. 7). Настраиваемое напряжение с заданным составом линейчатого спектра поступает на резонансный контур CL_1L_2 , последовательно с которым включен диодный мостик $D_1 \div D_4$. Логические переменные на входе и выходе такого элемента представлены в виде постоянного тока. Различие весов по входам x и y обеспечивается за счет разного количества витков во входных обмотках подмагничивания. Выходной сигнал в виде выпрямленного тока снимается с диагонали ab моста.

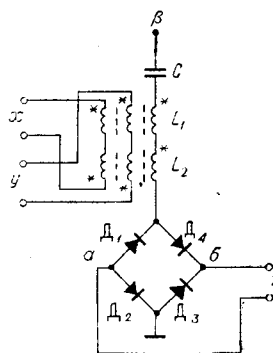


Рис. 7.

Коэффициент передачи усилителя по напряжению обеспечивается путем выбора соответствующих значений параметров схемы и высокочастотного питающего напряжения. В том случае, когда трудно обеспечить заданный коэффициент усиления резонансного диэлектрического (магнитного) усилителя или схема обладает недостаточными формирующими свойствами, на выходе элемента ставится усилитель переменного напряжения или сигнал преобразуется детектированием в видеосигнал и далее подается на формирователь.

ПЛЭ на управляемых фильтрах. Как позиционные, так и комбинационные ПЛЭ могут быть построены на базе управляемых фильтров верхних или нижних частот. Сигналы логических переменных в этом случае воздействуют на входы x_1, \dots, x_n , по которым осуществляется изменение частоты среза фильтра, его полосы прозрачности. В позиционных ПЛЭ на фильтрах настройка на выполняемую функцию производится также изменением частоты среза фильтра под воздействием сигнала настройки. В схемах комбинационных ПЛЭ перестройка с одной функции на другую осуществляется изменением спектрального состава напряжения, подаваемого на избирательный вход фильтра.

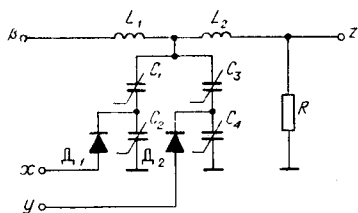


Рис. 8.

В качестве примера на рис. 8 приведен вариант схемы двухвходового комбинационного ПЛЭ на фильтре нижних частот. На рис. 9 показана амплитудно-частотная характеристика последнего. Изменение частоты среза фильтра в сторону ее уменьшения (возможно, в сторону увеличения) осуществляется с помощью нелинейных емкостей, включенных встречно и управляемых постоянным напряжением, образующимся в точке их соединения в результате детектирования синусоидальных колебаний, поступающих на входы x, y . Логической единице на входах x, y соответствует наличие колебаний амплитуды A , нулю — отсутствие или колебания малой амплитуды. Веса входов определяются выбором значений нелинейных емкостей. Настраиваемое напряжение с заданным со-

ставом спектра подается на избирательный вход β . Сопротивление R на выходе фильтра является согласующим и значительно меньше сопротивления по входам x, y . Выходная переменная ПЛЭ определяется выражением

$$z = \begin{cases} 1, & \text{если } [f_c = f_{c0} - (x r_x + y r_y) \alpha'' A] < f_{\beta i}; \\ 0, & \text{если } f_c > f_{\beta i}; \quad f_{\beta i} \in C_{\beta}, \end{cases}$$

где $x, y \in \{0,1\}$, $f_c = f_{c0} - (x r_x + y r_y) \alpha'' A$ — закон изменения частоты среза фильтра; f_{c0} — начальное значение частоты среза; α'' — постоянная; $C_{\beta} = \{\gamma_0 f_{\beta 0}, \dots, \gamma_s f_{\beta s}, \dots, \gamma_{p-1} f_{\beta (p-1)}\}$ — управляемое множество частот спектра; $\gamma_s \in \{0,1\}$; $p \leq r_x + r_y + 1$. На вход β обычно подаются подмножества спектра вида $\emptyset, \{f_{\beta 0}\}, \dots, \{f_{\beta s}\}, \dots, \dots, \{f_{\beta (p-1)}\}$ либо $\emptyset, \{f_{\beta 0}\}, \dots, \{f_{\beta 0}, \dots, f_{\beta (p-1)}\}$, где \emptyset — пустое подмножество; $f_{cs} = f_{\beta s} + \frac{1}{2} (f_{\beta s} - f_{\beta (s-1)})$. На рис. 9 приведены спектральные составы напряжения U_{β} и выполняемые элементом функции.

В общем случае описанный ПЛЭ по своим функциональным возможностям изоморфен обычному пороговому элементу и способен выполнять без переименования входов не более $2^n + 1$ функций n переменных.

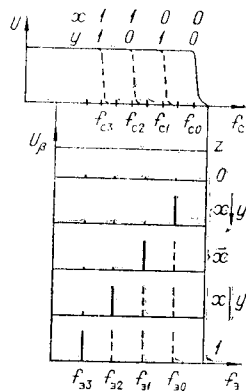


Рис. 9.

Схема элемента позволяет выполнить ее в микроминиатюрном виде. Фильтр нижних частот можно рассматривать как линию с распределенными параметрами единичной длины (отрезок полосковой линии), причем с целью перестройки усиливается емкостная составляющая путем напыления поверхностной емкости. Все это одновременно связано с переходом в область сверхвысоких частот, с повышением быстродействия. В качестве управляемой реактивности в фильтрах могут быть применены также и нелинейные индуктивности. Схемы логических элементов упрощаются, если фильтры верхних или нижних частот содержат только нелинейные *PL*- или *RC*-элементы. Последние в настоящее время могут изготавливаться в интегральном виде [8] и используются при построении набора монологических и запоминающих элементов [9].

Следует также отметить, что заманчивым представляется применение оптических управляемых избирательных систем как с точки зрения повышения быстродействия, так и уменьшения габаритов схемы. Перестройка с одной выполняемой функции на другую в них может осуществляться путем изменения спектрального состава, освещающего схему светового потока.

Синтез различных автоматов информационных устройств предполагает наличие не только функционально полной системы для синтеза логических схем, но и наличие элементарных запоминающих элементов, триггеров. Для получения триггера с отдельными входами используют два ПЛЭ, настроенные на функцию Пирса и описываемые в формализме [6] выражением $z = \sigma[x_1 + x_2 - \beta(100)]$. Структурная схема триггера описывается системой уравнений $z_1 = \sigma[x_1 + x_2 - \beta(100)]$; $z_1 = x_4$; $z_2 = x_2$; $z_2 = \sigma[x_3 \pm x_4 - \beta(100)]$. Управление триггером осуществляется по входам x_1, x_3 .

Триггер со счетным входом может быть выполнен на одном ПЛЭ, если последний настроен на функцию неравнозначности. Уравнение триггера имеет вид $z = \alpha[z + x - \beta(010)]$. Перевод триггера из состояния в состояние производится короткими импульсами, подаваемыми на вход x .

ПЛЭ могут быть использованы также при построении преобразователей информации цифра — аналог. В этом случае код подается на входы x_1, \dots, x_n , контур ПЛЭ подсоединяется к источнику спектра, который содержит частоты, соответствующие всем эталонным числам вектора изображения функции. Оказывается возможным применять позиционный контур.

Для суждения об эффективности ПЛЭ можно использовать известные понятия эффективности, а именно:

$$\varepsilon_1 = \frac{\text{число реализуемых функций}}{\text{число внешних выводов}};$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\text{число реализуемых функций}}{\text{число компонент}}.$$

При этом для позиционных ПЛЭ $\varepsilon_1 = \frac{\rho}{n + \text{Ent} \lfloor \log_q \rho \rfloor + \tau}$, где $\rho \leq 2^{2^n}$; q — основание системы счисления переменных на входах настройки; τ — число выводов, затрачиваемых на питающие, земляные и выходные полюса; обычно $\tau \leq 5$. Для комбинационных ПЛЭ $\varepsilon_1 = \frac{\rho}{n + \tau}$. Эффективность по числу компонент для позиционных ПЛЭ находится по формуле $\varepsilon_2 = \frac{\rho}{\tau_1 + n\tau_2 + \tau_3 \text{Ent} \lfloor \log_q \rho \rfloor}$. Для комбинационных ПЛЭ $\varepsilon_2 = \frac{\rho}{\tau_1 + \tau_2 n}$, где τ_1 — число компонент, затрачиваемых на индуктивность и формирование выходного сигнала; τ_2, τ_3 — число компонент, затрачиваемых на организацию одного входа переменной x и переменной m соответственно. Например, для схемы комбинационного ПЛЭ с $n=2$ $\varepsilon_1=16/5$, $\varepsilon_2=16/7$; для ПЛЭ с $n=3$ $\varepsilon_1=256/6$, $\varepsilon_2=256/6$. Из сравнения величин видно, что обе эффективности возрастают значительно с увеличением числа входов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение управляемых избирательных систем позволяет создавать сравнительно простые схемы ПЛЭ, характеризующиеся высокой универсальностью. Наличие наряду со статическим признаком (током, напряжением) динамического признака (синусоидальные колебания) информации позволяет по-новому взглянуть на организацию взаимодействия устройств, в которых используются частотные ПЛЭ. Открывается возможность дистанционной перестройки ПЛЭ с одной функции на другую путем питания электромагнитным полем с заданным спектральным составом, излучаемым одним или несколькими

радиопередатчиками. Это является благоприятным фактором при построении распределенных в пространстве измерительных информационных систем, а также других подобных систем телеавтоматизации и контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Б. Карандеев. Измерительные информационные системы и автоматика.— Вестник АН СССР, 1961, № 10.
2. К. Б. Карандеев, М. П. Чапенко. Измерительные информационные системы.— В сб. «Информация и кибернетика». М., «Советское радио», 1967.
3. Б. Г. Матиенко. Анализ и синтез управлений одним автоматом с переменной структурой.— В сб. «Вычислительные системы», вып. 26. Новосибирск, 1967.
4. Ю. Н. Емельянов, Л. С. Тимофеев. Прибор для исследования двоичных последовательностей.— «Автоматический контроль и методы электрических измерений» (Труды V конференции), т. 2. Новосибирск, «Наука», 1965.
5. А. П. Вишнеvский. Полилогические элементы на базе перестраиваемых автогенераторов.— Автоматика и телемеханика, 1966, № 11.
6. А. П. Вишнеvский. К синтезу полилогических элементов.— Кибернетика (Кисв), 1967, № 4.
7. А. П. Вишнеvский. Многофункциональный элемент. Авторское свидетельство № 186205.— ИПОТЗ, 1966, № 18.
8. Р. С. Нохмансон. Теория поверхности емкости.— Физика твердого тела, 1964, № 4.
9. А. П. Вишнеvский. Использование нелинейных RC-схем для создания элементов вычислительной техники и автоматки.— Изв. СО АН СССР, серия техн. наук, 1967, № 8, вып. 2.

*Поступила в редакцию
9 декабря 1967 г.,
окончательный вариант —
17 января 1968 г.*