

ник/Под ред. Н.Д. Егупова; изд 2-ое, стереотипное. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.

5. *Финаев В.И., Павленко Е.Н.* Методы искусственного интеллекта в задачах организации водно-химического режима тепловых электростанций. – Таганрог: ТРТУ, 2004.
6. *Асатурян В.И.* Теория планирования эксперимента. – М.: Радио и связь, 1983.

УДК 621.335.2

В.Г. Галалу

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ КОДОВ ФИБОНАЧЧИ В НАПРЯЖЕНИЕ С СУММИРОВАНИЕМ ВЗВЕШЕННЫХ ТОКОВ В УЗЛОВЫХ ТОЧКАХ АТТЕНЮАТОРА ЛЕСТНИЧНОГО ТИПА

Основным недостатком рассмотренных ранее схем ПКНФ с суммированием равных токов является необходимость использования большого количества прецизионных резисторов в аттенюаторе [1]. Проблема достаточно просто может быть решена при суммировании нескольких взвешенных токов в каждой узловой точке.

На рис. 1 представлен аттенюатор лестничного типа для суммирования 4-х групп взвешенных токов ($I_1 \div I_4$) и формирования весовых коэффициентов ряда Фибоначчи при $p=1$. Представим эту числовую последовательность:

1, 1, 2, 3, 5, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 654, 1597 ...

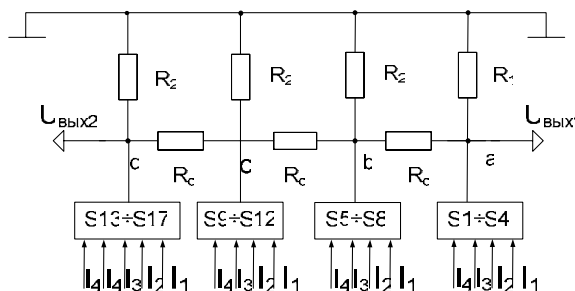


Рис. 1. ПКНФ с суммированием взвешенных токов

При 17 членах ряда сумма составит 4180, что соответствует 12-ти двоичным разрядам (0,025%). Так как два младших кванта равны 1, то для их формирования используются одинаковые токи I_4 . Рассмотрим основные соотношения для рассматриваемого аттенюатора. В каждой узловой точке суммируются 4 взвешенных тока $I_1 \div I_4$, каждый более младший должен быть в $K=1,6180$ раза меньше. Таким образом, общий коэффициент деления между ячейками аттенюатора должен составлять $(1,6180)^4=6,8540$. Если принять $R_1=R$, то для обеспечения требуемого деления резистор связи R_c должен составлять $R_c=(K^4-1)R=5,8540R$.

Этот коэффициент деления должен выполняться для всех ячеек аттенюатора, то есть эквивалентные сопротивления нагрузки R_n в узловых точках a, b, c, d должен быть одинаковыми и стремиться к R (рис. 2).

Легко можно показать, что для этого резистор R_2 должен равняться:

$$R_2 = R \cdot \frac{K^4}{K^4 - 1}, \quad R_2 = \frac{6,854}{5,854} R. \quad (1)$$

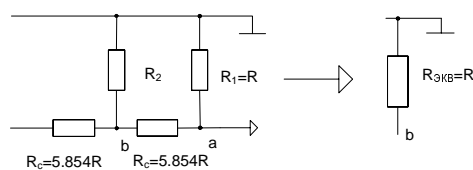


Рис. 2. Эквивалентные сопротивления нагрузки R_n

Соответственно, сопротивление нагрузки R_n для каждой группы из 4-х взвешенных токов будет равно:

$$R_n = R \cdot \frac{K^4}{K^4 + 1}, \quad R_n = R \cdot \frac{6.854^4}{7.854} \quad (2)$$

Тогда, старший разрядный ток I_1 будет формировать на выходе напряжение U_1 :

$$U = I_1 \cdot R_n, \quad U = I_1 \left(R \cdot \frac{K^4}{K^4 + 1} \right) \quad (3)$$

Второй разрядный ток I_2 – напряжение U_2 , которое должно быть в $K=1,6180$ раз меньше и так далее. Например, старший разрядный ток может составлять 5 мА, второй разрядный ток – 3,09 мА, третий разрядный ток – 1,84 мА и четвертый разрядный ток – 1,14 мА.

Максимальное выходное напряжение для рассматриваемого ПКНФ может быть представлено следующим образом:

$$U_m = R_n \cdot \left[(I_1 + I_2 + I_3 + I_4) + \frac{1}{K^4} \cdot (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) + \frac{1}{K^8} \cdot (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) + \dots \right] \quad (4)$$

Ниже представлены расчетные таблицы сопротивлений R_c , R_2 , R_n для рядов Фибоначчи ($P=1,2,3$) при числе взвешенных токов, суммируемых в одном узле $S=1,2,3,4,5$. Там же представлено общее количество прецизионных резисторов, используемых в генераторах взвешенных токов и аттенуаторе для обеспечения точности, соответствующей 0,025% (12 двоичных разрядов).

Кроме того, в табл. 1, 2, 3 представлены обобщенные формулы для расчетов резисторов связи между узловыми точками аттенуатора R_c , сопротивлений нагрузки в каждой узловой точке R_n и внутренних резисторов аттенуатора R_2 . Расчеты производились для количества взвешенных токов в узле от 1 до 5.

Таблица 1.

Расчетные значения резисторов для кода Фибоначчи при $P=1$

$P=1, K=1,6180, \Sigma A_i=4180, n=17, \delta=0,025\%$					
Кол-во взвешенных токов в узле S	1	2	3	4	5
Кол-во узлов L	16	8	6	4	3
$K_{дел} = K^S$	1.6180	2.6180	4.2360	6.8540	11.090
$R_c = (K^S - 1)R$	0.6180R	1.6180R	3.2360R	5.8540R	10.090R
$R_2 = R \cdot \frac{K^S}{K^S - 1}$	2.6180R	1.6180R	1.3090R	1.1709R	1.0991R
$R_n = R \cdot \frac{K^S}{K^S + 1}$	0.6180R	0.7236R	0.8090R	0.8726R	0.9173R
Кол-во прецизионных резисторов N	17+31	17+15	17+11	17+7	17+5

Таблица 2

Расчетные значения резисторов для кода Фибоначчи при P=2

<i>P=2, K=1,4656, ΣA_i=4022, n=21, δ=0,025%</i>					
<i>Кол-во взвешенных токов в узле S</i>	1	2	3	4	5
<i>Кол-во узлов L</i>	19	10	7	5	4
$K_{дел}=K^S$	1,4656	2,1480	3,1481	4,6138	6,7620
$R_c=(K^S-1)R$	0.4656R	1.1480R	2.1481R	3.6138R	5.7620R
$R_2 = R \cdot \frac{K^S}{K^S - 1}$	3.1477R	1.8710R	1.4656R	1.2767R	1.1735R
$R_n = R \cdot \frac{K^S}{K^S + 1}$	0.5945R	0.6823R	0.7589R	0.8219R	0.8712R
<i>Кол-во прецизионных резисторов N</i>	21+41	21+19	21+13	21+9	21+7

Таблица 3

Расчетные значения резисторов для кода Фибоначчи при P=3

<i>P=3, K=1,3803, ΣA_i=4533, n=25, δ=0,021%</i>					
<i>Кол-во взвешенных токов в узле S</i>	1	2	3	4	5
<i>Кол-во узлов L</i>	21	12	8	6	5
$K_{дел}=K^S$	1,3803	1,9052	2,6298	3,6299	5,0103
$R_c=(K^S-1)R$	0,3803R	0,9052R	1,6298R	2,6299R	4,0103R
$R_2 = R \cdot \frac{K^S}{K^S - 1}$	3,6295R	2,1047R	1,6138R	1,3803R	1,2494R
$R_n = R \cdot \frac{K^S}{K^S + 1}$	0,5799R	0,6558R	0,7245R	0,7840R	0,8336R
<i>Кол-во прецизионных резисторов N</i>	25+41	25+23	25+17	25+11	25+9

Таким образом, введение суммирования взвешенных токов в узлах аттенюатора позволяет существенно, в $1,5 \div 2$ раза, уменьшить число прецизионных резисторов и, самое главное, повысить точность суммирования токов (напряжений) в узловых точках [2].

Для проверки основных положений две из рассмотренных структур ПКНФ ($p=1, p=2$) были проверены экспериментально для варианта с 4-мя узловыми точками, проверялись следующие положения:

- ◆ сопротивления нагрузки в узловых точках;
- ◆ коэффициенты деления отдельных ячеек;
- ◆ формирование выходных напряжений, пропорциональных весовым коэффициентам рядов Фибоначчи.

В таблицах 4 и 5 представлены полученные результаты. После подбора резисторов аттенюатора проверялись эквивалентные сопротивления нагрузки в каждой узловой точке – они соответствовали теоретическим с относительной погрешностью $\pm 0,3\%$. Режим делителя напряжений заключался в одновременном подключении всех генераторов тока к одной из узловых точек, т. е. проверялся коэффициент деления между ячейками. И, наконец, поочерёдное подключение взвешенных генераторов тока к каждой из узловых точек позволяет проверить возможность формирования требуемых весовых коэффициентов.

Таблица 4

Экспериментальные данные для ПКНФ при P=1

$P=1, K=1,6180, S=4, K_{дел}=K^S=6.854, L=4, R=200 \text{ Ом}, R_c=1171 \text{ Ом}, R_2=234 \text{ Ом}, R_H=174,50 \text{ м}$

Узловые точки		a	B	c	d
$R_{HЭКВ} \text{ Ом}$		174.4	174.4	174.7	174.6
Режим делителя напряжений, мВ		3570	521.30	76.05	11.20
Режим делителя напряжений, мВ		11.09	76.33	522.07	3571
Режим делителя напряжений, мВ		521.44	3571	521.57	76.13
$U_{вых} \text{ мВ}$	$I_1=9,15 \text{ мА}$	1597	233	34	5
	$I_2=5,66 \text{ мА}$	987	144	21	3
	$I_3=3,50 \text{ мА}$	610	89	13	2
	$I_4=2,16 \text{ мА}$	377	55	8	1.1
$K_{дел} \text{ напряжения экп}$		6.85±0.07			

Таблица 5

Экспериментальные данные для ПКНФ при P=2

$P=2, K=1,4656, S=5, K_{дел}=K^S=6.7620, L=4, R=200 \text{ Ом}, R_c=1152,4 \text{ Ом}, R_2=234,7 \text{ Ом}, R_H=174,24 \text{ Ом}, R_H=174,50 \text{ м}$

Узловые точки		a	B	c	d
$R_{HЭКВ} \text{ Ом}$		174.3	174.3	174.5	174.4
Режим делителя напряжений, мВ		3428	511,2	75,35	11,05
Режим делителя напряжений, мВ		509,9	3428	505,6	75,24
Режим делителя напряжений, мВ		11,01	75,20	508,9	3428
$U_{вых} \text{ мВ}$	$I_1=7,33 \text{ мА}$	1278	188	28	4
	$I_2=5,00 \text{ мА}$	872	129	19	3
	$I_3=3,41 \text{ мА}$	595	88	13	2
	$I_4=2,33 \text{ мА}$	406	60	9	1
	$I_5=1,59 \text{ мА}$	277	41	6	1,1
$K_{дел} \text{ напряжения экп}$		6.76±0.06			

Обе проверенные структуры ПКНФ показали возможность формирования требуемых весовых коэффициентов рядов Фибоначчи ($p=1, p=2$) при регулировке расчётных взвешенных токов в пределах $\pm 0,5\%$.

Кроме того, проверялось суммирование весовых коэффициентов в разных узловых точках. Относительная погрешность суммирования из-за влияния внутренних сопротивлений генераторов тока, выполненных по каскадной схеме, не превышала 0,01%.

Для проведения прецизионных измерений использовался вольтметр универсальный В1-78. Резисторы аттенюатора набирались из рядов Е-96 и Е-192 типов С1-29, С1-31 класса 0,1, номиналы подбирались с точностью $\pm 0,5 \text{ Ома}$.

Заключение. Основные выводы следующие:

- ◆ Разработанная структура ПКНФ с суммированием взвешенных токов в узловых точках аттенюатора обеспечивает формирование требуемых выходных напряжений для любых рядов Фибоначчи ($p=1, 2, 3$).
- ◆ Метод суммирования взвешенных токов позволяет в 1,5/2 раза уменьшить количество прецизионных резисторов и обеспечивает возможность микроэлектронного исполнения ПКНФ высокой точности (0,025%).
- ◆ Аналогичные результаты были получены и для двоичного ряда, который является частным случаем кодов Фибоначчи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Galalu V.G. Digital analog converter for Fibonacci code // Материалы международной научной конференции «Оптимальные методы решения научных и практических задач». – Таганрог, 2005, Ч. 3. – С. 16-20.
2. Патхор Т.С. Цифровые измерения. АЦП / ЦАП. – М.: Техносфера, 2006. – 392 с.

УДК 004.932.1

Е.И. Патана

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ
ТЕКСТУРНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ*

Введение. Основными задачами этапа предварительной обработки изображений являются задачи, связанные с фильтрацией изображений, определением краев объектов, сегментацией. Сегментация изображений является одним из важнейших шагов при анализе и обработке изображений. Для сегментации изображений наиболее распространенными являются методы, основанные на использовании текстур [1]. Сегментацию изображений можно определить, как процесс разделения изображения на непересекающиеся области с однородными свойствами, каждая из которых обладает текстурой, отличной от других областей [2].

Одним из способов анализа текстур является определение характера изменения градаций тона внутри текстурных элементов. Для этого вводятся текстурные характеристики. Обычно они не зависят от положения объекта, его формы и размеров. Существует множество методов выделения текстурных характеристик изображения [1]. Наиболее распространенным является статистический метод, основанный на построении, так называемой, матрицы взаимного расположения градаций тона [1].

Матрица взаимного положения градаций тона. Пусть $I = \|I(x, y)\|_{N \times M}$, $x \in \{1, \dots, N\}$, $y \in \{1, \dots, M\}$ – цифровое изображение размером $N \times M$ пикселей. Будем считать, что элементы изображения $I(x, y)$ принимают дискретные значения из некоторого K -элементного множества, например, из множества $\{0, 1, 2, \dots, 255\}$. Матрицей взаимного расположения градаций тона называется матрица $P_{\vec{d}}$ размера $K \times K$, элементы которой определяются следующим образом:

$$P_{\vec{d}}(i, j) = \left| \left\{ \left((x_1, y_1), (x_2, y_2) \right) \mid I(x_1, y_1) = i, I(x_2, y_2) = j \right\} \right|,$$

где (x_1, y_1) , $(x_2, y_2) = (x_1 + dx, y_1 + dy)$ – координаты пикселей в I [1]. Вектор $\vec{d} = (dx, dy)$ называется вектором смещения.

В работе предлагается построение инвариантной матрицы $\tilde{P}_{\vec{d}}^S$ относительно углов поворота изображения. Рассмотрим исходное цифровое изображение размером $N \times M$ пикселей: $I_1 = \|I_1(x, y)\|_{N \times M}$, $x \in \{1, \dots, N\}$, $y \in \{1, \dots, M\}$. Изображение I_1 , повернутое на угол равный 180° , обозначим через I_2 (рис. 1). Рассчитаем матрицу $P_{\vec{d}}(I_1)$ для некоторого вектора смещения \vec{d} . Затем повернем изображение I_1

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 08-07-00129, 07-07-00067