

В. Г. ГАЛАЛУ

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КОД—НАПРЯЖЕНИЕ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ

Предложена структура преобразователя код—напряжение (ПКН) с суммированием равных токов на аттенюаторе лестничного типа, которая может применяться в цепи обратной связи цифровых вольтметров повышенной точности. Приведены результаты экспериментального исследования ПКН на четыре десятичных разряда с относительной погрешностью менее 0,01 %.

**Ключевые слова:** аттенюатор лестничного типа, генератор тока, делитель напряжения.

Современные цифровые вольтметры (ЦВ) с ручным и автоматическим выбором пределов измерения имеют до 12 диапазонов измерения с перекрытием в 2—3—10 раз, например, 1, 3, 10, 30 или 1, 2, 5, 10 В. Для измерения напряжения меньше 1 В исследуемые сигналы усиливают при помощи измерительных усилителей, а большие — ослабляют с помощью делителей. Чаще всего порог срабатывания компараторов составляет 10—20 мкВ, в связи с чем для обеспечения требуемой разрядности ЦВ диапазон выходных напряжений преобразователя код—напряжение (ПКН) должен составлять 0—999,9, 0—1999,9 или 0—2999,9 мВ. Рассмотрим возможности создания двоично-десятичного ПКН с диапазоном выходных напряжений 0—999,9 мВ.

Основными требованиями к таким ПКН можно считать следующие: возможность гибридного или микроэлектронного исполнения, технологичность производства, значения сопротивления резисторов в диапазоне 1—100 кОм, минимум подгоняемых резисторов, малая потребляемая мощность и т.п. Наиболее полно перечисленным требованиям отвечают двоично-десятичные ПКН с суммированием равных токов на аттенюаторе лестничного типа. Теория двоичных ПКН такого типа хорошо разработана [1, 2]. Например, для одной декады ЦВ, работающей в коде 8-4-2-1, можно использовать аттенюатор  $R—2R$  (рис. 1).

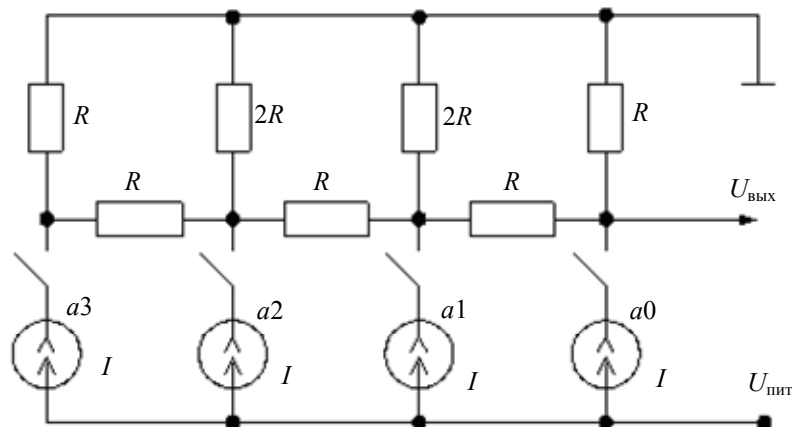


Рис. 1

Нагрузка каждого генератора тока (см. рис. 1) равна  $2/3R$ , и максимальное выходное напряжение составит:

$$U_m = \frac{2}{3}RI \left( a_0 \cdot 1 + a_1 \cdot \frac{1}{2} + a_2 \cdot \frac{1}{4} + a_3 \cdot \frac{1}{8} \right). \quad (1)$$

Для выходного напряжения 0—999,9 мВ весовые коэффициенты старшей декады должны составлять 800, 400, 200 и 100 мВ, для более младшей декады — 80, 40, 20 и 10 мВ и т.д.

На рис. 2 представлена схема attenuатора для двоично-десятичного ПКН на 4 десятичных разряда. Для преобразования входного кода в напряжение генераторы равных и стабильных токов коммутируются на узловые точки 1—16 (старшая декада 1—4).

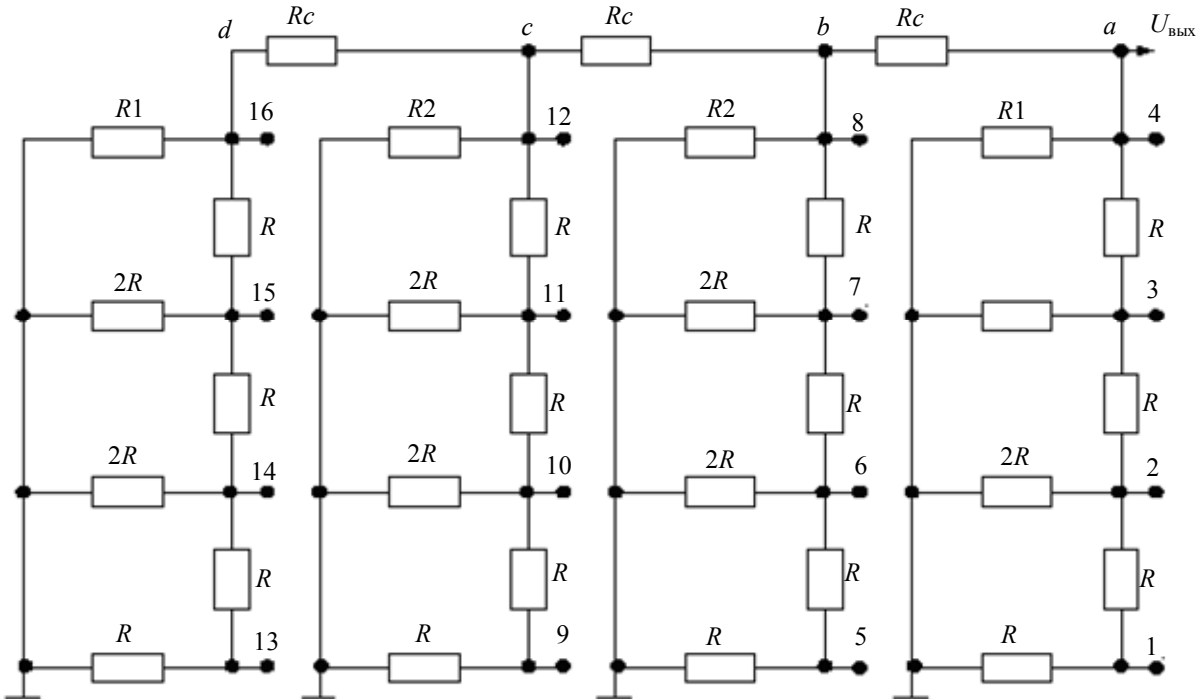


Рис. 2

Выходное напряжение для такого ПКН должно составлять:

$$U_m = \frac{2}{3} RI \left( a_4 \cdot 1 + a_3 \cdot \frac{1}{2} + a_2 \cdot \frac{1}{4} + a_1 \cdot \frac{1}{8} \right) + \frac{1}{10} \cdot \frac{2}{3} RI \left( a_8 \cdot 1 + a_7 \cdot \frac{1}{2} + a_6 \cdot \frac{1}{4} + a_5 \cdot \frac{1}{8} \right) + \frac{1}{100} \cdot \frac{2}{3} RI \left( a_{12} \cdot 1 + a_{11} \cdot \frac{1}{2} + a_{10} \cdot \frac{1}{4} + a_9 \cdot \frac{1}{8} \right) + \frac{1}{1000} \cdot \frac{2}{3} RI \left( a_{16} \cdot 1 + a_{15} \cdot \frac{1}{2} + a_{14} \cdot \frac{1}{4} + a_{13} \cdot \frac{1}{8} \right). \quad (2)$$

Цепочный делитель на 10 может быть реализован способом, представленным на рис. 3.

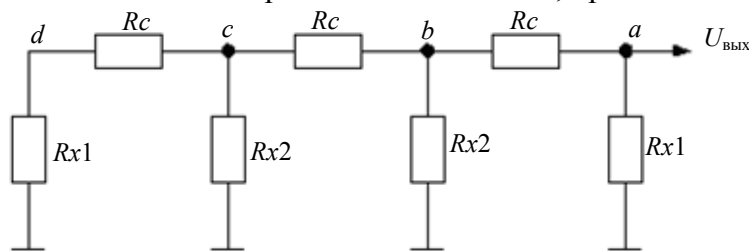


Рис. 3

Так как схема десятичного делителя связана с двоичными делителями декад, то резисторы  $R_{x1}$  и  $R_{x2}$  для обеспечения точного двоичного деления должны приближаться по номиналу к  $R$  и совместно с резисторами связи  $R_c$  обеспечивать сопротивления нагрузки, в каждой узловой точке равные  $2/3R$ . Для деления на 10 в точке  $a$  необходимо, чтобы выполнялось условие  $R_c/R_{x1}=9$ . Тогда эквивалентная схема для выходной ячейки делителя примет вид, представленный на рис. 4.

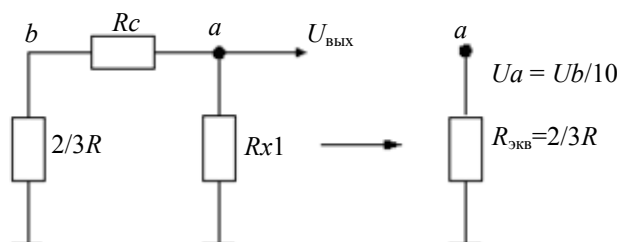


Рис. 4

$$R_{\text{экв}} = \frac{Rx1 \left( Rc + \frac{2}{3} R \right)}{Rx1 + Rc + \frac{2}{3} R} = \frac{2}{3} R. \quad (3)$$

Зная, что  $Rx = Rc/9$ , найдем  $Rc$ :

$$\frac{Rc}{9} \left( Rc + \frac{2}{3} R \right) = \frac{2}{3} R \left( \frac{Rc}{9} + Rc + \frac{2}{3} R \right). \quad (4)$$

Обозначим  $x = Rc$  и получим следующее квадратное уравнение:

$$\frac{x^2}{9} + \frac{2}{3} Rx - \frac{2}{3} R \cdot \frac{10}{9} x - \frac{4}{9} R^2 = 0, \text{ или } x^2 - 6Rx - 4R^2 = 0, \quad (5)$$

отсюда

$$x = 3R \pm \sqrt{9R^2 + 4R^2} = 3R \pm R\sqrt{13}, \quad (6)$$

таким образом,  $x = Rc = 6,605\ 55R$ .

Расчетные значения резисторов  $R1$  определяются из эквивалентной схемы, приведенной на рис. 5.

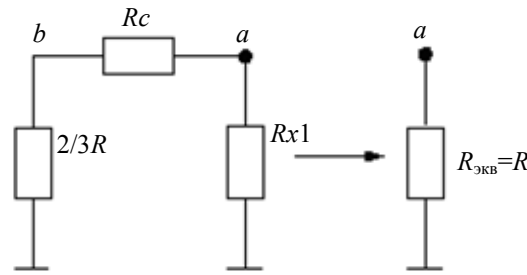


Рис. 5

$$R_{\text{экв}} = \frac{R1(Rc + 2/3R)/2}{R1 + (Rc + 2/3R)/2} = R. \quad (7)$$

При  $Rc = 6,605\ 55R$  получим  $R1 = 1,159\ 43R$ .

Аналогичным образом можно получить значения резисторов  $R2$  из рис. 6.

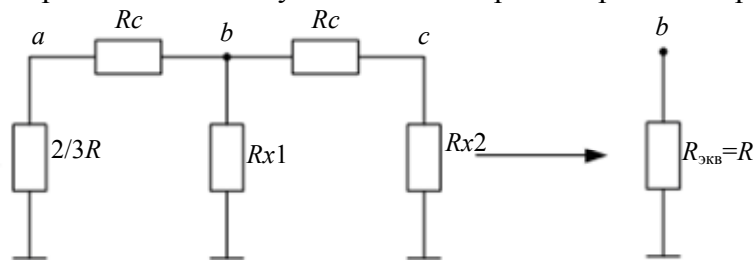


Рис. 6

$$R_{\text{экв}} = \frac{R2(Rc + 2/3R)/2}{R2 + (Rc + 2/3R)/2} = R. \quad (8)$$

При  $Rc = 6,605\ 55R$  получим  $R2 = 1,379\ 35R$ .

Для проверки основных теоретических положений исследовался макет 16-разрядного двоично-десятичного ПЧН (4 десятичных разряда) с выходным напряжением 0—999,9 мВ. В аттенуаторе использовались следующие резисторы:  $R=2000$ ,  $2R=4000$ ,  $R1=1,159\ 43R = 2319$ ,  $R2=1,379\ 35R=2759$ ,  $Rc=6,605\ 55R=13\ 211$  Ом. Все резисторы были типа С2-29 или С2-31 класса 0,1 (0,2) и подбирались с абсолютной погрешностью  $\pm 2$  Ом.

Для формирования выходных напряжений использовались 4 прецизионных генератора тока, выполненные на полевых транзисторах КП305, операционных усилителях ОРА820 и источнике опорного напряжения REF 02 (5 В). Номинальный ток генераторов был равен 600 мкА, внутреннее сопротивление  $R_i > 10$  МОм. При подключении одного генератора тока к узловым точкам 1—16 были получены следующие результаты.

Выход 4, мВ				Выход 16, мВ			
800,08	79,97	7,897	0,799	801,30	80,02	7,996	0,802
400,15	39,95	3,996	0,399	400,00	40,07	3,988	0,397
199,77	19,96	1,997	0,199	199,86	20,03	1,997	0,198
99,85	9,99	1,000	0,099	99,84	10,01	0,987	0,098

При одновременном подключении четырех генераторов к узловым точкам 1—4 или 13—16 формировались суммарные напряжения ( $1500 \pm 0,2$ ) мВ с относительной погрешностью менее 0,01 %. Для прецизионных измерений использовался цифровой вольтметр-калибратор В1-18 с разрешающей способностью 1 мкВ. Схема симметрична, выходы 4 и 16 равноценны.

На основании полученных результатов могут быть сделаны следующие выводы.

1. Предложенная схема двоично-десятичного ПКН даже без подстройки генераторов тока обеспечивает требуемые двоичные и десятичные коэффициенты деления с относительной погрешностью менее  $\pm 0,2$  %.

2. Сопротивления нагрузки для всех узловых точек были одинаковы и составляли  $2/3R = (1333 \pm 2)$  Ом, для измерений использовался цифровой омметр Е 7-10 класса 0,01 %.

3. Получение других диапазонов выходных напряжений, например 0—1999,9 мВ или 0—2999,9 мВ, не вызывает проблем: для этого к узловым точкам 4 и 2 подключаются дополнительные генераторы 600 мкА, которые и смещают выходное напряжение на 1000 (2 генератора) или 2000 мВ (4 генератора).

Разработанная схема перспективна для построения ЦВ повышенной точности на 4—5 десятичных разрядов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 304 с.
2. Галалу В. Г. Преобразователи код-напряжение с суммированием взвешенных токов на аттенуаторе лестничного типа // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53. № 1. С. 54—58.

#### Сведения об авторе

**Валентин Гаврилович Галалу** — канд. техн. наук, доцент; Таганрогский технологический институт Южного Федерального университета, кафедра автоматизированных систем научных исследований и экспериментов;  
E-mail: asni@fep.tsure.ru

Рекомендована кафедрой  
автоматизированных систем научных  
исследований и экспериментов

Поступила в редакцию  
06.08.07 г.