ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ЭТАЛОННОЙ ПОГРЕШНОСТИ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ «КОД-НАПРЯЖЕНИЕ» С МНОЖЕСТВОМ ИСТОЧНИКОВ ЭТАЛОННЫХ Э. Д. С.

А. Ф. Сушко, А. А. Сорокин, М. В. Хохряков
Харьков

Техника аналого-цифрового преобразования широко использует декодирующие преобразователи напряжения (ДПН). Матричные ДПН относятся к классу так называемых точных параллельных делителей напряжения и являются весьма перспективными при построении преобразователей повышенной точности [1—3].

В настоящей работе анализируется ДПН, выполненный на базе звездообразной матрицы, в каждой ветви которой используются автономные источники эталонных э. д. с. (рис. 1).

Анализу подвергается погрешность, обусловленная параметрами эталонных источников, которая включает две составляющие:

а) погрешность, вызванную внесением внутренних сопротивлений источников эталонных э. д. с. в ветви матрицы, которая определяется как погрешность деформации;

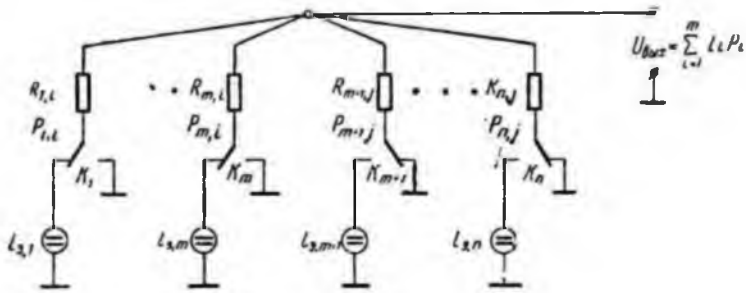


Рис. 1.

б) погрешность, вызванную отклонениями э. д. с. эталонных источников от своих номинальных значений, которая определяется как погрешность смещения n-й точки дискретной шкалы напряжения от нормированного (идеального) значения.

Рассмотрим деформированную матрицу, изображенную на рис. 2.

Каждая ветвь матрицы характеризуется передаточным коэффициентом по напряжению P, который называют весовым коэффициентом.

Представим нормированный весовой коэффициент n-й ветви следующим образом:

$$\mathring{P}_n = \frac{\mathring{a}_n}{\lambda(\mathring{A})}, \qquad (1)$$

где $\mathring{a}_n$ — числитель нормированного весового коэффициента; назовем его нормированным кодовым числом n-й ветви;

$\lambda(\mathring{A}) = \sum_{n=1}^{k} \mathring{a}_n$ — интенсивность набора нормированных кодовых чисел матрицы.

Для получения на выходе матрицы необходимого напряжения ее ветви коммутируются ключами напряжения, которые подключают источники э. д. с. к i-м ветвям, а j-е ветви — к общему проводу.

Поставим в соответствие нормированной матрице (т. е. каждой ее ветви) нормированный набор кодовых чисел $\mathring{A}$

$$\mathring{A} \equiv \mathring{A}\,[\mathring{a}_1, \mathring{a}_2, \ldots, \mathring{a}_k].$$

Если матрица скоммутирована, то i-м ветвям поставим в соответствие активную выборку нормированных кодовых чисел $\mathring{N}$

$$\mathring{N} \equiv \mathring{N}\,[\ldots, \mathring{a}_l, \ldots, \mathring{a}_m];$$

j-м ветвям поставим в соответствие пассивную выборку нормированных кодовых чисел $\overline{\mathring{N}}$

$$\overline{\mathring{N}} \equiv \overline{\mathring{N}}\,[\ldots, \mathring{a}_l, \ldots, \mathring{a}_n].$$

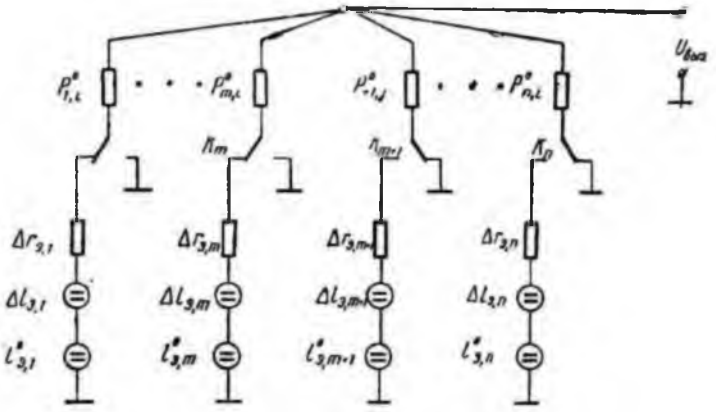


Рис. 2.

Применяя анализ бесконечно малых и разложение функции весового коэффициента в окрестности нормированной точки в ряд Тейлора, получим следующее аналитическое описание погрешности, обусловленной внутренними сопротивлениями эталонных источников и отклонениями э. д. с. источников от номинальных значений:

$$\delta e_{n(э)} = \delta e_э \lambda^{-1}(\mathring{A})\,\lambda(\mathring{N}) - \delta r_э \lambda^{-2}(\mathring{A})\,\lambda(\overline{\mathring{N}})\,\sigma(\mathring{N}), \qquad (2)$$

где $\delta e_{n(э)} = \dfrac{\Delta e_n}{|\mathring{e}_э|}$ — относительная эталонная погрешность n-й точки дискретной шкалы напряжения, приведенная к концу шкалы;

$\mathring{e}_э$ — э. д. с. нормированного эталона;

$\Delta e_n = |e_n| - |\mathring{e}_n|$ — отклонение напряжения n-й метки шкалы от своего нормированного значения;

e_n — действительное значение напряжения n-й точки шкалы преобразования;

$\overset{\circ}{e}_n$ — нормированное значение напряжения n-й точки шкалы;

$\delta e_э = \dfrac{\Delta e_э}{|\overset{\circ}{e}_э|}$ — относительное смещение эталонного источника;

$\Delta e_э = |e_э| - |\overset{\circ}{e}_э|$ — отклонение э. д. с. эталонного источника от своего номинального значения;

$e_э$ — действительное значение э. д. с. эталона;

$\delta r_э = \Delta r_э \overset{\circ}{r}_м^{-1}$ — коэффициент относительной деформации матрицы;

$\Delta r_э$ — внутреннее сопротивление эталонного источника;

$\overset{\circ}{r}_м$ — выходное сопротивление нормированной матрицы;

$\lambda(\overset{\circ}{N}) = \sum\limits_{a_i \in \overset{\circ}{N}} \overset{\circ}{a}_i$ — интенсивность активной выборки нормированных кодовых чисел;

$\lambda(\overset{\circ}{\bar{N}}) = \sum\limits_{a_i \in \overset{\circ}{\bar{N}}} \overset{\circ}{a}_i$ — интенсивность пассивной выборки нормированных кодовых чисел;

$\sigma(\overset{\circ}{N}) = \sum\limits_{a_i \in \overset{\circ}{N}} \overset{\circ}{a}_i^2$ — плотность активной выборки нормированных кодовых чисел.

Применение дифференциального анализа и метода динамического программирования при исследовании данного выражения позволило разработать методику для инженерного расчета статической эталонной погрешности декодирующего преобразователя рассматриваемой структуры.

Методика определения наибольшей положительной погрешности

1. Определяется максимальное значение относительного смещения эталона по абсолютной величине

$$\hat{\delta e}_э = \left| \frac{\hat{e}_э - \overset{\circ}{e}_э}{\overset{\circ}{e}_э} \right|, \qquad (3)$$

где $\hat{e}_э$ — наибольшее из возможных значений э. д. с. эталонного источника.

Предполагается, что э. д. с. эталонных источников отклоняются симметрично относительно номинальных значений, т. е.

$$e_э = \overset{\circ}{e}_э \pm \overset{\wedge}{\Delta e}_э.$$

2. Определяется наибольшая положительная погрешность

$$\max \overset{\wedge}{\delta e}_{п(э)} = \overset{\wedge}{\delta e}_э. \tag{4}$$

3. Определяется нормированная точка шкалы преобразования, в которой имеет место $\max \overset{\wedge}{\delta e}_{п(э)}$

$$\overset{\circ}{e}_{п(\max)} = \frac{\lambda(\overset{\circ}{N}_{кр})}{\lambda(\overset{\circ}{A})} \cdot \overset{\circ}{e}_э, \tag{5}$$

где

$$\lambda(\overset{\circ}{N}_{кр}) = \lambda(\overset{\circ}{A}).$$

Методика определения наибольшей отрицательной погрешности

1. Определяется постоянная деформации

$$C_д = \delta r_э \lambda^{-3}(\overset{\circ}{A}). \tag{6}$$

2. Определяется постоянная смещения

$$C_с = \overset{\wedge}{\delta e}_э \lambda^{-1}(\overset{\circ}{A}). \tag{7}$$

3. Определяется критическая выборка $\overset{\circ}{N}_{кр}$, на которой погрешность $\overset{\wedge}{\delta e}_{п(э)}$ достигает минимума.

Располагаются кодовые числа в нормированном наборе $\overset{\circ}{A}$ в порядке неубывания

$$\overset{\circ}{a}_1 \geqslant \ldots \geqslant \overset{\circ}{a}_q \geqslant \ldots \geqslant \overset{\circ}{a}_n.$$

По порядку, начиная с 1-го, вводим кодовые числа в критическую выборку $\overset{\circ}{N}_{кр}$ до нарушения условия следующего неравенства:

$$\overset{\circ}{a}_q > \frac{C_д \sigma_{q-1} - C_с}{C_д \lambda_{q+1}}, \tag{8}$$

где $\sigma_{q-1} = \sum_{i=1}^{q-1} \overset{\circ}{a}_i^2$ — плотность активной выборки нормированных кодовых чисел до введения в нее $\overset{\circ}{a}_q$-го кодового числа;

$\lambda_{q+1} = \sum_{j=q+1}^{n} \overset{\circ}{a}_j$ — интенсивность пассивной выборки нормированных кодовых чисел после вывода из нее $\overset{\circ}{a}_q$-го кодового числа.

Кодовое число, для которого данное неравенство нарушается, в критическую выборку не вводится.

Определяются интенсивности и плотности критических выборок:

$$\lambda(\overset{\circ}{N}_{кр}) = \sum_{i=1}^{q-1} \overset{\circ}{a}_i; \tag{9}$$

$$\lambda(\overline{\overset{\circ}{N}_{кр}}) = \lambda(\overset{\circ}{A}) - \lambda(\overset{\circ}{N}_{кр}); \tag{10}$$

$$\sigma(\overset{\circ}{N}_{кр}) = \sum_{i=1}^{q-1} \overset{\circ}{a}_i^2. \tag{11}$$

4. Определяется наибольшее отрицательное значение эталонной погрешности

$$\min \delta e_{п(э)} = -[C_д \sigma(\overset{\circ}{N}_{кр}) \lambda(\overline{\overset{\circ}{N}_{кр}}) + C_c \lambda(\overset{\circ}{N}_{кр})]. \tag{12}$$

5. Определяется нормированная точка $\overset{\circ}{e}_{п(\min)}$, в которой имеет место $\min \delta e_{п(э)}$:

$$\overset{\circ}{e}_{п(\min)} = \lambda(\overset{\circ}{N}_{кр}) \lambda^{-1}(\overset{\circ}{A}) \overset{\circ}{e}_э. \tag{13}$$

Определение эталонной погрешности $\delta e_{п(э)}$ в любой точке $(\overset{\circ}{e}_x)$ дискретной шкалы преобразования

1. Определяется интенсивность и плотность выборок нормированных кодовых чисел для исследуемой точки $\overset{\circ}{e}_x$

$$\lambda(\overset{\circ}{N}_x) = \overset{\circ}{e}_x \overset{\circ}{e}_э^{-1} \lambda(\overset{\circ}{A}); \tag{14}$$

$$\lambda(\overline{\overset{\circ}{N}_x}) = \lambda(\overset{\circ}{A}) - \lambda(\overset{\circ}{N}_x); \tag{15}$$

$$\sigma(\overset{\circ}{N}_x) = \sum_{\overset{\circ}{a}_i \in \overset{\circ}{N}_x} \overset{\circ}{a}_i^2. \tag{16}$$

2. Определяем эталонную погрешность $\delta e_{п(э)}$ в точке $\overset{\circ}{e}_x$ из следующего выражения:

$$\delta e_{п(э)} = \pm C_c \lambda(\overset{\circ}{N}_x) - C_д \sigma(\overset{\circ}{N}_x) \lambda(\overline{\overset{\circ}{N}_x}). \tag{17}$$

Полученные теоретически расчетные соотношения проверены экспериментально. Расхождение между расчетными и экспериментальными результатами не превышает 3%.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Б. Смолов и др. Полупроводниковые кодирующие и декодирующие преобразователи напряжения. Изд-во «Энергия», Л., 1967.

2. А. П. Стахов, А. Ф. Сушко, Л. В. Потемкин. Анализ статических погрешностей, обусловленных сопротивлением эталонного источника э. д. с., для декодирующих преобразователей напряжения одного класса. Труды семинара «Кибернетика и автоматическое управление», вып. 3. ИК АН УССР, Киев, 1968.

3. А. Ф. Сушко. Автореф. канд. дисс., Харьков, 1969.