

УДК 681.335

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ АМПЛИТУДНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

© Е.И. Глинкин

*Ключевые слова:* амплитудные преобразователи; методы эквивалентов; идеальный конечный результат; статические и метрологические характеристики; оценки эффективности; закономерности; информационная технология.

Проведена оценка эффективности характеристик амплитудного преобразователя по эквивалентам и относительно пассивного делителя для выявления закономерностей развития линейных интегральных схем.

Методы идеального конечного результата (ИКР) определяют закономерности линейного преобразования [1–4] за счет тождественности исследуемых характеристик желаемому нормированному эквиваленту – предельному значению нелинейности (или линейности) в виде константы единичного уровня с минимальной погрешностью нулевой меры. Относительные и абсолютные оценки эффективности организуют сопоставлением исследуемых характеристик с нелинейностью относительно эквивалента линейного преобразования для мониторинга и прогнозирования уровня инновации технических решений по нормированным мерам эквивалентов.

Цель: повысить метрологическую эффективность интегральных схем и методов оптимизации ИКР.

Задачи:

- 1) рассчитать характеристики исследуемого преобразователя;
- 2) определить оптимальные характеристики линейного преобразования и оценки эффективности;
- 3) выявить закономерности оптимизации методами ИКР;
- 4) провести анализ эффективности пассивного делителя и амплитудного преобразователя.

## ИССЛЕДУЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Синтезируем исследуемые характеристики амплитудного преобразователя на примере инверсного операционного усилителя с отрицательной обратной связью на делителе напряжения последовательного соеди-

нения резисторов сопротивлениями  $R_1$ ,  $R_2$  и проводимостью  $Y_i = \frac{1}{R_i}$  для  $i = 1, 2$  (рис. 1), усиливающего входное напряжение  $U_1$  до выходного уровня  $U_2$  за счет избыточного усиления  $\beta \rightarrow \infty$  операционного усилителя. Расчет инвертора проведем методом узловых потенциалов по схеме замещения (рис. 1б) на сигнальных графах по первому для узла  $e$  и второму для потенциала  $U_2$  по правилам Кирхгофа. Математическая модель инвертора напряжения включает систему из двух уравнений, соответственно, для токов и напряжений:

$$\begin{cases} e(Y_1 + Y_2) = U_1 Y_1 + U_2 Y_2 \\ U_2 = -\beta e. \end{cases} \quad (1)$$

Выразим неизвестный потенциал  $e$  из второго уравнения системы (1):

$$e = -\frac{U_2}{\beta} \quad (1a)$$

и подставим его в первое уравнение:

$$-\frac{U_2(Y_1 + Y_2)}{\beta} = U_1 Y_1 + U_2 Y_2. \quad (1b)$$

Из уравнения (1b) после приведения подобных членов следуют переходная статическая характеристика  $U_2(U_1)$ :

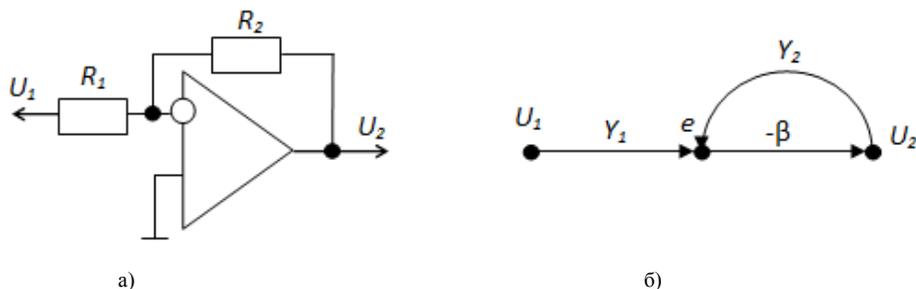


Рис. 1. Электрические схемы инвертора напряжения: а) принципиальная; б) на сигнальных графах

$$U_2 = -\frac{U_1 Y_1}{Y_2 + \frac{Y_1 + Y_2}{\beta}} \quad (2)$$

и характеристика коэффициента усиления:

$$k = -\frac{U_2}{U_1} = \frac{Y_1}{Y_2 + \frac{Y_1 + Y_2}{\beta}}, \quad (2a)$$

а с учетом нормированного эквивалента

$$k_0 = \frac{Y_1}{Y_2} = \frac{R_2}{R_1}, \quad (2б)$$

находим нормированную характеристику:

$$k = \frac{k_0}{1 + \frac{1+k_0}{\beta}}. \quad (2в)$$

Уникальность характеристики (2в) обусловлена зависимостью исследуемого коэффициента  $k$  с ИКР нормированного  $k_1$  (2б) линейного усиления, желаемой характеристикой, принимаемой за эквивалент. Характеристики (2а–2в) позволяют оценить эффективность исследуемого инвертора с заведомо нелинейным усилением (ненормированной оценкой, дрейфом, т. е. «гадкого утенка») относительно желаемого ИКР (2б) с линейным преобразованием (без дрейфа, с гальванической развязкой, т. е. «белого лебедя»). При этом эффективность как неопределенная дефиниция [1, с. 1569] итерационного анализа представляется в информационной технологии проектирования [2–4] нормированной мерой оценки результата действия (эффекта), т. е. уровня научно-технического решения. Эффективность служит количественной оценкой качества инноваций (уровня новизны и творчества, производительности и рентабельности, комфорта и гармонии и т. д.) относительно эквивалентов метрологии (точности, оперативности и надежности) и производной от нее иерархии эффективности: технологичности и экономичности, экологичности и эргономичности [2, с. 74–79].

Метод тождественности эквивалентам ИКР [3, 4] позволяет из нормированной характеристики (2в) усиления определить характеристики нелинейности  $\eta$  и погрешности  $\delta$ , для этого составим систему из уравнений (2б) и (2в):

$$\begin{cases} k_0 = \frac{R_2}{R_1} \\ k = \frac{k_0}{1 + \delta} \end{cases}, \quad (3)$$

где погрешность  $\delta$  является дробью знаменателя характеристики (2в):

$$\delta = \frac{1+k_0}{\beta}. \quad (3a)$$

Представим тождество (3) произведением линейного эквивалента  $k_0$  на нелинейность:

$$k = \frac{k_0}{1 + \delta} = k_0 \eta, \quad (3б)$$

из которого следует характеристика нелинейности, как система отношений:

$$\begin{cases} \eta = \frac{1}{1 + \delta} \\ \eta = \frac{k}{k_0} \end{cases}. \quad (4)$$

Качественный анализ выражения (3б) методом эквивалентов [3] показывает тождественность исследуемого коэффициента  $k$  эквиваленту  $k_0$ :

$$\text{opt}_{\eta \rightarrow 1} k = k_0, \quad (5)$$

когда нелинейная функция  $\eta$  (4) в пределе представлена нормированной константой единичной меры при оптимальной закономерности:

$$\text{opt}_{\delta \rightarrow 0} \eta = \eta_0 = 1. \quad (5a)$$

Закономерности (5) справедливы, если погрешность  $\delta$  (3а) будет нормирована пределом  $\delta_0$  нулевого уровня:

$$\text{opt}_{\beta \rightarrow \infty} \delta = \delta_0 = 0, \quad (5б)$$

что обусловлено избыточностью усиления:

$$\text{opt}_{e \rightarrow 0} \beta = \infty \quad (5в)$$

и нормированию нулевой мерой потенциала  $e$  (1а):

$$\text{opt}_{\beta \rightarrow \infty} e = 0 \quad (5г)$$

до бесплатного эталона земли.

Закономерности (5) являются оптимальными условиями линейного преобразования инвертора напряжения, что очевидно при их подстановке в характеристики (1)–(4). Знания теории линейности преобразования, систематизированные закономерными условиями (5), значительно сокращают решение системы (1). При этом левая часть первого уравнения системы (1) обнулена потенциалом земли  $e = 0$  (1а):

$$0 = U_1 Y_1 + U_2 Y_2, \quad (6)$$

откуда следует линейное решение:

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{R_1} = k_0, \quad (7)$$

тождественное эквиваленту (3) при условиях (5).

Следовательно, приведен алгоритм расчета статистических характеристик инвертора напряжения, связывающих исследуемый коэффициент усиления с нормируемым эквивалентом ИКР как меры оценки метрологической эффективности. Метод эквивалентов при выполнении условий закономерности значительно сокращает алгоритм преобразования линейного решения.

## ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Приведены оценки эффективности по линейности и нелинейности, относительной и абсолютной погрешности, коэффициентам преобразования и потенциалам отсчета амплитудных преобразователей для доказательства линейности инвертора относительно нормированных эквивалентов и делителя напряжения.

**Нелинейность коэффициентов преобразования**

$\eta = \frac{k}{k_0}$  инвертора  $\eta_1$  и делителя  $\eta_2$  напряжения по методу тождественности эквивалентов соответствует системе уравнений:

$$\begin{cases} \eta_1 = \frac{1}{1 + \frac{1+k_0}{\beta}} \\ \eta_2 = \frac{1}{1+k_0} \end{cases} \quad (8)$$

Оценим эффективность  $\eta_\eta$  нелинейностей, поделив уравнения системы (8):

$$\eta_\eta = \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{1+k_0}{1 + \frac{1+k_0}{\beta}} = \beta \quad (8a)$$

при условии, что  $1+k_0 \gg 1$ , что соответствует

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{\beta} \quad (8b)$$

Для линейного эквивалента  $\eta_1 = 1$  (5a), при этом погрешность операционного усилителя близка к нулю из-за избыточности условия  $\beta \rightarrow \infty$ . Следовательно, для линейного эквивалента инвертора напряжения справедлива закономерность:

$$\text{ор}_{\delta_1 \rightarrow 0} \eta_1 = \eta_0 = 1, \quad (9)$$

т. к. выполняются условия (5), а именно:

$$\text{ор}_{\eta_1 \rightarrow 1} k_1 = k_0 \quad \text{и} \quad \text{ор}_{\beta \rightarrow \infty} \delta_1 = \delta_0 = 0. \quad (9a)$$

Для нелинейного преобразования пассивного делителя из соотношения (8б) следует:

$$\text{ор}_{\beta \rightarrow \infty} \eta_2 = \frac{\eta_0}{\beta} = 0, \quad (10)$$

а коэффициент деления  $k_1$  стремится к нулю, т. к. эффективность нелинейностей  $\eta_\eta = \beta = \infty$  равна избыточности.

Анализ эффективности нелинейностей показывает невозможность линейного преобразования пассивным делителем, а линейный эквивалент тождественен нормированной единичной мере при избыточности усиления, что достигают средствами микроэлектроники в базе линейных интегральных схем.

**Абсолютные погрешности** инвертора  $\delta_1$  и делителя  $\delta_2$  по методу тождественности эквивалентов определяются системой уравнений:

$$\begin{cases} \delta_1 = \frac{1+k_0}{\beta} \\ \delta_2 = k_0 \end{cases} \quad (11)$$

Оценим эффективность  $\eta_\delta$  погрешностей, представив первое выражение системы (11) тождеством через второе:

$$\delta_1 = \delta_2 \eta_\delta = k_0 \frac{\frac{1}{\beta} + 1}{\beta}, \quad (11a)$$

из которого выразим эффективность абсолютных погрешностей:

$$\eta_\delta = \frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{1}{\beta}, \quad (11b)$$

с учетом, что эквивалент линейности  $k_0 \gg 1$ , т. к. она выражена алгоритмом:

$$\eta_\delta = \frac{\frac{1}{\beta} + 1}{\beta} \quad (11b)$$

Из оценки (11б) следует, что погрешность амплитудного преобразователя в  $\beta$  раз меньше абсолютной погрешности пассивного делителя. Аналогичный результат получаем для эффективности  $\eta_\delta$ , представленной относительными погрешностями:

$$\begin{cases} \delta_1 = k_0 \varepsilon_1 = k_0(1 - \eta_1) = k_0 \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{k_0 + 1}{\beta}} \right) \\ \delta_2 = k_0 \varepsilon_2 = k_0(1 - \eta_2) = k_0 \left( 1 - \frac{1}{1 + k_0} \right) \end{cases} \quad (12)$$

т. к. при условии  $(1+k_0) \approx k_0$ , система (12) имеет вид:

$$\begin{cases} \delta_1 = k_0 \frac{1}{\frac{\beta}{k_0 + 1} + 1} \\ \delta_2 = k_0 \end{cases} \quad (12a)$$

а эффективность погрешностей определяется отношением:

$$\eta_\delta = \frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{1}{\frac{\beta}{k_0 + 1} + 1} \quad (12b)$$

Из отношения (12б) при условиях избыточности усиления  $\beta \rightarrow \infty$  и стремления к нулю эквивалента  $k_0$

пассивного делителя находим эффективность  $\eta_\delta$  погрешностей, тождественную алгоритму (11б).

**Относительные погрешности** инвертора  $\varepsilon_1$  и делителя  $\varepsilon_2$  по методу тождественности эквивалентов соответствуют системе уравнений, аналогичной системе (12а):

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \frac{\delta_1}{k_0} = \frac{1}{k_0 + 1} \\ \varepsilon_2 = \frac{\delta_2}{k_0} = 1. \end{cases} \quad (13)$$

При условии избыточности находим из системы (13) оценку эффективности относительных погрешностей:

$$\eta_\varepsilon = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{1}{\beta}, \quad (13a)$$

тождественную алгоритму (11б) эффективности  $\eta_\delta$  абсолютных погрешностей.

Из алгоритмов (11б) и (13а) очевидны тождественности эффективностей погрешностей:

$$\eta_\varepsilon = \eta_\delta, \quad (14)$$

а также, что относительная погрешность амплитудного преобразователя, как и абсолютная, в  $\beta$  раз меньше аналогичных погрешностей пассивного делителя.

Тождественную алгоритму (13а) получают эффективность относительных погрешностей из системы (11) абсолютных погрешностей. Действительно, из (11) справедлива система уравнений:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \frac{\delta_1}{k_0} = \frac{1+k_0}{k_0\beta} = \frac{1}{\beta} \\ \varepsilon_2 = \frac{\delta_2}{k_0} = \frac{k_0}{k_0} = 1. \end{cases} \quad (15)$$

Находим эффективность  $\eta_\varepsilon$  относительных погрешностей в процессе деления уравнений системы (15):

$$\eta_\varepsilon = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{1}{\beta}, \quad (15a)$$

тождественную зависимости (13а) с аналогичными условиями тождественности эквивалентов по закономерностям (5).

**Линейность** коэффициентов преобразования амплитудного усилителя  $\Psi_1$  и пассивного делителя  $\Psi_2$  находят из отношения системы уравнений:

$$\begin{cases} \Psi_1 = 1 + \frac{1+k_0}{\beta} \\ \Psi_2 = 1 + k_0. \end{cases} \quad (16)$$

Эффективность линейностей  $\eta_\Psi$  из уравнения:

$$\eta_\Psi = \frac{\Psi_1}{\Psi_2} = \frac{1}{1+k_0} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\beta}, \quad (16a)$$

при  $k_0 \gg 1$ , откуда следует:

$$\Psi_2 = \Psi_1\beta. \quad (16b)$$

Для линейного эквивалента  $\Psi_2 = 1$ , при этом линейность делителя в  $\beta$  раз ниже нормы инвертора напряжения за счет линейности.

**Диапазон**  $D_1$  усилителя в  $\beta$  раз шире диапазона  $D_2$  пассивного делителя как при фиксированных абсолютных  $\delta_1 = \delta_2$ , так и относительных  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$  погрешностях:

$$D_1 = \frac{D_2}{\beta}. \quad (17)$$

Соотношение (17) обусловлено системой уравнений:

$$\begin{cases} D_1 = \frac{\delta_1}{\varepsilon_1} \\ D_2 = \frac{\delta_2}{\varepsilon_2} \end{cases} \quad (17a)$$

в процессе их деления для оценки эффективности диапазонов  $\eta_D = \frac{D_1}{D_2}$ . Из системы (17а) также следует для

фиксированных диапазонов  $D_1 = D_2$  снижение в  $\beta$ -раз погрешности линейного эквивалента  $\varepsilon_1$  относительно нелинейного делителя:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_2}{\beta} \\ \delta_1 = \frac{\delta_2}{\beta}, \end{cases} \quad (17b)$$

что подтверждает тождественность абсолютных (11б) и относительных (13а) погрешностей, полученных при оценке нелинейности  $\eta$  (8).

Следовательно, оценка эффективности линейностей доказывает повышение точности и диапазона амплитудного преобразователя в  $\beta$  раз за счет снижения на коэффициент усиления нелинейности и погрешности пассивного делителя. Метрологическая оценка показывает тождественность условий эффективностей пассивных преобразователей относительно эквивалентов линейности и нелинейности, погрешности и диапазона для нормированной оценки эффективностей инвертора и делителя.

#### ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ

Показана адекватность предельных условий метода эквивалентов качественного анализа закономерностям линейных эквивалентов количественного анализа метода экстремума производных.

**Нелинейность** инвертора напряжения определяется характеристиками (2)–(4) относительного линейного эквивалента  $k_0$ . Выявим относительный эквивалент  $optk = k^*$  амплитудного преобразователя по экстремуму производной  $\frac{dk}{dk_0} = 0$  характеристики усиления  $k$  инвертора (2в):

$$\frac{dk}{dk_0} = \frac{\frac{dk_0}{1 + \frac{1+k_0}{\beta}}}{dk_0} = \frac{1}{1 + \frac{1+k_0}{\beta}} - \frac{\frac{k_0}{\beta}}{\left(1 + \frac{1+k_0}{\beta}\right)^2}. \quad (18)$$

Вынесем за скобку в выражении (18) первое слагаемое и на основании зависимости (2в) запишем:

$$\frac{1}{1 + \frac{1+k_0}{\beta}} \left(1 - \frac{\frac{k_0}{\beta}}{1 + \frac{1+k_0}{\beta}}\right) = \eta \left(1 - \frac{k^*}{\beta}\right) = 0,$$

откуда следует закономерность (5) тождественности исследуемого коэффициента  $k$  эквиваленту  $k_0 = k^*$ :

$$opt_{\eta \rightarrow k} k = k_0, \quad (19)$$

которую регламентирует избыточность  $\beta$  коэффициента усиления операционного усилителя:

$$opt_{k \rightarrow k_0} k_0 = \beta. \quad (19a)$$

Условие (19a) конкретизирует закономерность (19) и показывает максимальное усиление инвертора, стремящегося к избыточности  $\beta \rightarrow \infty$  в отличие от пассивного делителя с эквивалентом  $k_0$ , приближающегося к нулю из-за  $k < 1$  не превышающего единицы. По аналогии с (19) и (19a) можно выявить предельные условия увеличения  $k$  по отношению к коэффициенту усиления  $\beta$ :

$$\frac{dk}{d\beta} = \frac{\frac{d\beta}{\beta + 1 + k_0}}{d\beta} = \frac{1}{\beta + 1 + k_0} - \frac{\beta}{(\beta + 1 + k_0)^2},$$

откуда находим равенство с учетом (2в):

$$\frac{1}{\beta + 1 + k_0} \left(1 - \frac{\beta}{\beta + 1 + k_0}\right) = \frac{k}{\beta} (1 - k^*) = 0$$

и закономерное требование линейности:

$$opt_{\beta \rightarrow \infty} k = k^* = k_0, \quad (19б)$$

что также уточняет качественную оценку (5).

Оценим предел нелинейности  $\eta$  инвертора относительно абсолютной погрешности  $\delta$  по алгоритму (4)

при замене  $\Delta = \frac{1}{\delta}$ , отражающей стандартный прием инверсии:

$$\frac{d\eta}{d\delta} = \frac{d\eta}{d\Delta} \frac{d\Delta}{d\delta} = \frac{1}{1 + \Delta} - \frac{\Delta}{(1 + \Delta)^2}.$$

Это соответствует, согласно алгоритму (4), выражению:

$$\frac{1}{1 + \Delta} \left(1 - \frac{\Delta}{1 + \Delta}\right) = \frac{\eta}{\Delta} (1 - \eta_0) = \eta \delta (1 - \eta_0) = 0$$

и закономерности:

$$opt_{\delta \rightarrow 0} \eta = \eta_0 = 1, \quad (19в)$$

тождественной условию (5a) с инверсным требованием:

$$opt_{\Delta \rightarrow \infty} \eta = \eta_0 = 1. \quad (19г)$$

**Абсолютная погрешность**  $\delta$  вычисляется по алгоритму (3a), и ее оптимум выявляют для избыточности  $\beta$  и эквивалента  $k_0$ :

$$d\delta = \left(\frac{1 + k_0}{\beta}\right)' = \frac{1}{\beta} \partial k_0 - \frac{1 + k_0}{\beta^2} \partial \beta.$$

После преобразования и с учетом (3a) следует:

$$\frac{1}{\beta} \left(\partial k_0 - \frac{1 + k_0}{\beta} \partial \beta\right) = \frac{1}{\beta} (\partial k_0 - \delta_0 \partial \beta) = 0,$$

приводящее к закономерности:

$$opt_{\beta \rightarrow \infty} \delta = \delta_0 = \frac{\partial k_0}{\partial \beta} = 0, \quad (19д)$$

тождественной условию (5б).

**Относительная погрешность**  $\epsilon$  инвертора является отношением  $\frac{\delta}{k_0}$ , где  $\delta = k - k_0$ , поэтому экстремум погрешности  $\epsilon$  находят как относительно приращения  $\partial k$ , так и частной производной  $\partial k_0$ :

$$\partial \epsilon = \left(\frac{k - k_0}{k_0}\right)' = \frac{1}{k_0} \partial k - \left(\frac{1}{k_0} + \frac{k - k_0}{k_0}\right) \partial k_0.$$

В предположении тождественности  $\partial k = \partial k_0$  сокращаются первое и второе слагаемые, и справедливо выражение:

$$\frac{d\epsilon}{dk_0} = \frac{k - k_0}{k_0} = \epsilon_0 = 0,$$

при условии оптимальности:

$$\text{ор}_{k \rightarrow k_0} \varepsilon = \varepsilon_0 = 0, \quad (19e)$$

предваряющую закономерность (19).

**Потенциал  $e$**  является отношением (1a), а его экстремум ищут по приращениям напряжения  $\partial U$  и избыточности  $\partial \beta$ :

$$de = \left( \frac{U}{\beta} \right)' = \frac{1}{\beta} \partial U - \frac{U}{\beta^2} \partial \beta = 0,$$

что соответствует уравнению:

$$\frac{1}{\beta} (\partial U - e_0 \partial \beta) = 0$$

и алгоритму нормирования потенциала нулевой мерой (5г) при избыточности усиления:

$$\text{ор}_{\beta \rightarrow \infty} e = e_0 = \frac{\partial U}{\partial \beta} = 0. \quad (19ж)$$

**Линейность  $\Psi$**  амплитудного преобразователя является инверсией нелинейности (4) с погрешностью (3a). Важной характеристикой инвертора служит чувствительность линейности  $d\Psi$  относительно изменения усиления  $d\beta$ , что соответствует экстремуму производной:

$$\frac{d\Psi}{d\beta} = \frac{\frac{d(\beta+1+k_0)}{\beta}}{d\beta} = \frac{1}{\beta} - \frac{\beta+1+k_0}{\beta^2}.$$

С учетом выражения линейности (4) находим:

$$\frac{1}{\beta} \left( 1 - \frac{\beta+1+k_0}{\beta} \right) = \frac{1}{\beta} (1 - \psi_0) = 0,$$

откуда следует закономерность линейности:

$$\text{ор}_{\beta \rightarrow \infty} \Psi = \psi_0 = 1 \quad (19з)$$

как тождественного эквивалента с единичной нормой.

Анализ закономерностей оптимизации характеристик инвертора методами ИКР показывает адекватность результатов количественной оценки методом экстремума качественной оценке методом эквивалентов нелинейности и погрешности с предельными нормами единичного и нулевого уровня.

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Приведен сопоставительный анализ метрологической эффективности исследуемых пассивного делителя и инвертора напряжения относительно их предельных эквивалентов ИКР для доказательства линейного преобразования амплитудного усилителя за счет избыточности усиления относительно нелинейности делителя с коэффициентом преобразования меньше единицы.

Методы ИКР отождествляют исследуемую функцию «гадкого утенка» желаемому идеальному образу «белого лебедя» – эквиваленту линейного преобразо-

вания с нормированной мерой без параметрического дрейфа для выявления оптимальных условий – необходимых закономерностей ИКР.

Расчет исследуемых характеристик приведен на примере инвертора напряжения с избыточным усилением методом узловых потенциалов по схеме замещения на сигнальных графах по правилам Кирхгофа.

Выявлена уникальность характеристики инвертора, обусловленная зависимостью нелинейного коэффициента исследуемого усилителя («гадкого утенка») с ИКР коэффициента («белого лебедя») нормированного линейного преобразования, желаемой характеристикой, принимаемой за нормированный эквивалент, что позволяет оценить эффективность линейного преобразования (без дрейфа, с гальванической развязкой по нормированному уровню земли виртуального потенциала) с нелинейностью исследуемого инвертора (дрейфом и ненормированными мерами).

Эффективности как неопределенные дефиниции итерационного анализа представляются в информационной технологии проектирования как нормированные меры оценок результатов действия (эффектов), т. е. уровня творчества инноваций.

Расчет статических характеристик связывает исследуемые коэффициенты преобразования пассивного делителя и амплитудного усилителя с нормированными эквивалентами ИКР как мер оценок метрологической эффективности для сопоставительного анализа технологичности и экономичности, экологичности и эргономичности.

Приведены оценки эффективностей нелинейности и линейности, погрешности и диапазону, чувствительности по усилению и гальванической развязке методами оптимизации ИКР, доказывающие повышение эффективности линейного преобразования инвертора напряжения в  $\beta$  раз относительно нормированного эквивалента пассивного делителя.

Методы оптимизации ИКР показывают тождественность исследуемых коэффициентов в пределе эквивалентам активного и пассивного преобразователей, когда характеристики нелинейности и линейности нормированы единичной константой при нормировании погрешностей эквивалентами нулевого уровня.

Сопоставительный анализ тождественных условий и закономерностей, методов оптимизации ИКР и оценок эффективностей показывает повышение метрологической эффективности линейного преобразования инвертора амплитуды в  $\beta$  раз при избыточности усиления  $\beta \rightarrow \infty$  относительно нормированного эквивалента пассивного делителя.

## ВЫВОДЫ

1. Рассчитаны статистические характеристики амплитудного усилителя на примере инвертора напряжения, связывающие исследуемый коэффициент преобразования с нормированными эквивалентами ИКР линейности и погрешности, чувствительности и диапазона как мер оценок метрологической эффективности относительно пассивного делителя для сопоставительного анализа технологичности и экономичности, экологичности и эргономичности.

2. Выведены оценки эффективностей нелинейности и линейности, погрешности и диапазона, чувствительности по усилению и гальванической развязке ам-

плитудного усилителя и делителя напряжения, показывающие тождественность алгоритмов оптимизации методами ИКР и нормируемых линейных эквивалентов, соответствующих единичным и нулевым мерам.

3. Выявлены закономерности оптимизации методами ИКР, доказывающие качественно и количественно повышение метрологической эффективности линейного преобразования инвертора напряжения в  $\beta$  раз избыточности усиления относительно нормированных эквивалентов ИКР преобразователей амплитуды.

4. Проведен сопоставительный анализ тождественных условий и закономерностей, методов оптимизации ИКР и оценок эффективностей, отражающий вектор развития по избыточности усиления взаимозаменяемых линейных эквивалентов нормируемых мер и оценок метрологической эффективности мониторинга и прогноза новизны и творчества, производительности и рентабельности инноваций.

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры биомедицинской техники, заслуженный изобретатель Российской Федерации, e-mail: bmt@nnn.tstu.ru

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Bio-medical Technics Department, Honored Inventor of RF, e-mail: bmt@nnn.tstu.ru

## ЛИТЕРАТУРА

1. Советский энциклопедический словарь / гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Сов. энциклопедия, 1987. 1600 с.
2. Глинкин Е.И. Техника творчества. Тамбов: ТГТУ, 2010. 168 с.
3. Глинкин Е.И., Глинкин М.Е. Технология аналого-цифровых преобразователей. Тамбов: ТГТУ, 2008. 140 с.
4. Глинкин Е.И. Схемотехника аналоговых интегральных схем. Тамбов: ТГТУ, 2012. 152 с.

Поступила в редакцию 7 апреля 2014 г.

### Glinkin E.I. EFFICIENCY OF AMPLITUDE CONVERTER

The assessment of efficiency of characteristics of the amplitude converter on equivalents and rather passive divider for detection of regularities of development of linear integrated schemes is carried out.

*Key words:* amplitude converters; methods of equivalents; ideal end result; static and metrological characteristics; efficiency estimates; regularities; information technology.