

Ю. А. АЛАБУЖЕВ

(Новосибирск)

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕ — ЧАСТОТА С ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Среди преобразователей напряжения в частоту схемы с импульсной обратной связью (ПНЧ-ИОС) обладают рядом достоинств, позволяющих считать их наиболее перспективными устройствами.

Существование обширной литературы, посвященной исследованию и описанию конкретных схем [1], исключает необходимость анализа всех особенностей таких ПНЧ, а частный вопрос линеаризации преобразования заслуживает дополнительного рассмотрения.

Привлекательное качество ПНЧ-ИОС — отсутствие начальной частоты F_0 при нулевом входном сигнале — практически не реализуется из-за роста нелинейности преобразования в нижней части диапазона $U_{вх}$. Вследствие этого ПНЧ за счет фиксированного смещения оказывается в «автоколебательном» режиме, исключая начальный участок характеристики $F(U)$.

Такой прием эффективен при относительно высоких коэффициентах преобразования S , соответствующих частотам $F_{вых-ном}$ до десятков килогерц. Однако в ряде случаев измерительной практики, например при преобразовании аналоговых сигналов в хроматографии, термографии, калориметрии и т. п., для осуществления их интегральной оценки крутизна преобразования должна быть существенно ниже, чтобы исключить избыточность в числовом представлении измеряемых величин. При этом F_0 может быть столь малой, что средства ее вычитания могут оказаться намного сложнее собственно преобразователя.

На основе ПНЧ такого назначения, в котором при $U_{вх} = 0 \div 10$ В и $S \approx 10$ Гц/В компенсация $Q_n(I_{вх})$ осуществлялась калиброванным зарядом $Q_k = C_n U_k$, была изучена возможность уменьшения нелинейности γ_n с одновременным выполнением требования $F_0 = 0$. Использовались следующие соображения.

При условии, что емкость интегрирующего конденсатора $C_n \gg C_k$, исходным уравнением ПНЧ-ИОС служит тождество

$$Q_n(I_{вх}) = \frac{U_{вх}}{R_{вх}} \int_0^T e^{-\frac{T-t}{\tau}} dt = Q_k, \quad \tau = R_{вх} C_n.$$

После несложных преобразований характеристическое уравнение ПНЧ принимает вид

$$F_{вых} = U_{вх} \frac{1}{R_{вх}} \frac{1}{C_n U_k} \left[\frac{1}{1 + \frac{1}{2} \frac{u_C(Q_k)}{U_{вх}} + \frac{1}{3} \left(\frac{u_C(Q_k)}{U_{вх}} \right)^2} \right], \quad (1)$$

$u_C(Q_k) = \frac{C_k}{C_n} U_k$ — напряжение перезаряда C_n под воздействием Q_k . Выделенный скобками сомножитель определяет нелинейность преобразования, которая имеет место во всем диапазоне $U_{вх}$, но особенно проявляется при малых напряжениях. Значение этого коэффициента (без слагаемого второго порядка малости в знаменателе) обычно служит оценкой качества преобразователя [2].

Функциональная зависимость (1) может быть расширена за счет некоторых уточнений в работе ПНЧ-ИОС. Так, если после первого цикла накопления $Q_k(I_{вх})$ и его компенсации зарядом Q_k эквивалентное напряжение на входе интегрирующего звена $R_{вх} C_n$ представить как

$$U'_{вх} = U_{вх} + [u_C(Q_k) - u_{ср}],$$

то, внося эту поправку в (1), получим

$$F_{вых} = U_{вх} \frac{1}{R_{вх}} \frac{1}{C_n U_k} \left[\frac{1 + \frac{u_C(Q_k) - u_{ср}}{U_{вх}}}{1 + \frac{1}{2} \frac{u_C(Q_k)}{U_{вх}} + \frac{1}{3} \left(\frac{u_C(Q_k)}{U_{вх}} \right)^2} \right]. \quad (2)$$

Это уравнение наглядно характеризует роль приведенного порога срабатывания ИОС $u_{ср}$ и полностью описывает $F(U_{вх})$ при любых его значениях и вариациях, в то время как по (1) оценка γ_n верна лишь при $u_{ср} = u_c(Q_k)$.

Возможность параметрической линеаризации заключается в том, что, как видно из (2), между значениями $u_{ср}$ и $u_c(Q_k)$ существует взаимосвязь, оказывающая корректирующее влияние на характеристику преобразования. Действительно, без учета квадратичной составляющей условие

$$\frac{U_{вх} + u_c(Q_k) - u_{ср}}{U_{вх} + 0,5u_c(Q_k)} = 1 \quad (3)$$

является линеаризующим фактором, справедливым при

$$u_{ср} = 0,5u_c(Q_k). \quad (4)$$

Практически это означает, что пилообразные колебания на конденсаторе C_k должны быть симметричными по отношению к нулевому уровню.

Экспериментальные исследования показали высокую эффективность условия (4). Таким способом в упомянутом низкочастотном ПНЧ с $u_{ср} \approx 10$ мВ удалось сократить нелинейность на уровне $0,02 U_{вх-ном}$ до $\gamma_{max} < 0,3\%$, т. е. более чем в 20 раз по отношению к рассчитанной по (1), что соответствует приведенной погрешности $\gamma \approx 0,005\%$. Эта погрешность, а также увеличение γ_n при дальнейшем понижении $U_{вх}$ отвечает растущему влиянию неучтенной в предпосылке (3) квадратичной составляющей знаменателя (2).

Некоторым изменением соотношения $u_{ср}/u_c(Q_k)$ можно минимизировать γ_{max} при еще меньших значениях входного напряжения, однако это едва ли целесообразно для графически уже неинформативного диапазона сигналов менее 2% от $U_{вх-ном}$. Вместе с тем достаточное условие $u_{ср} = 0,5u_c(Q_k)$ характеризуется простотой в реализации и может быть основой для схем и приемов автоматического симметрирования колебаний на интегрирующем конденсаторе ПНЧ-ИОС.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ф. Гарасов, Э. К. Шахов. Полупроводниковые преобразователи напряжения — частота (обзор).— Приборы и системы управления, 1971, № 4.
2. В. С. Гутников, В. В. Лопатин. Преобразователь напряжения в частоту на интегральных схемах.— Приборы и системы управления, 1972, № 6.

Поступило в редакцию 24 апреля 1973 г.

УДК 681.325.3

В. И. АКУЛИНИН, В. Ф. ОДИНОКОВ

(Рязань)

ЦИФРОАНАЛОГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НА НЕТОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ДЛЯ ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ С ЦИФРОАНАЛОГОВОЙ ПАМЯТЬЮ

В замкнутой системе регулирования и коррекции с цифроаналоговой памятью высокая разрешающая способность может быть получена применением преобразователей код — напряжение, характеристика которых имеет неоднозначное соответствие между входной (N) и выходной (U) величинами*. Особенностью таких цифроаналоговых преобразователей (ЦАП) является возможность построения их на менее прецизионных элементах, что значительно сокращает стоимость и габариты конструкции.

Ниже рассматривается один из вариантов преобразователя код — напряжение на неточных элементах, управление которого осуществляется от двоичного реверсивного счетчика (РС).

* Полупроводниковые кодирующие и декодирующие преобразователи напряжения. Под. ред. В. Б. Смолова и Н. А. Смирнова. Л., «Энергия», 1967.