

УДК 621.3.087.92.001.24

**К РАСЧЕТУ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
«НАПРЯЖЕНИЕ-ЧАСТОТА» СО СТАБИЛЬНОЙ
ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ИМПУЛЬСНОГО
ОБРАТНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ**

Е.Г. АБАРИНОВ, **А.А. КОНДРАТЬЕВ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»,
Республика Беларусь*

В информационно-измерительной и преобразовательной технике для преобразования аналоговых величин в цифровые в устройствах интегрирования тепло- и электросчетчиков широко используются преобразователи «напряжение-частота» (ПНЧ). Для этих целей выпускается специализированная микросхема $\kappa 1108\text{пп}1$, построенная по принципу импульсного обратного интегрирования, в которой длительность импульсного обратного интегрирования задается навесной RC -цепью. Выходная частота в соответствии с [1] определяется по формуле:

$$f = \frac{U_{вх}}{U_{оп} \cdot R \cdot C}, \quad (1)$$

где $U_{вх}$ – входное напряжение;

$U_{оп}$ – напряжение внутреннего источника опорного напряжения;

R, C – значение навесных элементов.

Как видно из (1), стабильность преобразования будет зависеть от стабильности навесных конденсатора и резистора. Что касается сопротивления, то имеется достаточный выбор резисторов с высокой температурной и временной стабильностью. Конденсаторы же, обладая высокой температурной стабильностью, не имеют временной стабильности и могут изменять значение емкости на несколько процентов за время работы. Например, при использовании одного из лучших конденсаторов К73-17-63В $\pm 10\%$ -В, для которого за время наработки на отказ, составляющее при непрерывной работе 10000 часов (примерно 1 год 2 месяца), в соответствии с ОЖО.461.104 ТУ допускается отклонение емкости на $\pm 15\%$ [2].

Для обеспечения высокой временной стабильности преобразования напряжения в частоту, профессором Клисториным И.Ф. [3] было предложено импульс обратного интегрирования формировать с помощью кварцевого генератора (КГ), как показано на рис. 1. Для кварцевых резонаторов допустимое отклонение частоты от номинальной находится в пределах $10^{-6}..10^{-10}\%$. Необходимая длительность импульса обратного интегрирования обеспечивается частотой КГ и объемом счетчика (Сч).

Целью данной статьи является разработка методики расчета основных элементов схемы такого преобразователя.

Принцип работы всего преобразователя можно описать следующим образом. В первом такте интегрируется входное напряжение U_x , т. к. ключ Кл, управляемый высоким потенциалом с инверсного выхода триггера, замыкает сопротивление R_o на землю. При достижении напряжения на выходе интегратора значения U_o срабатывает СУ и устанавливает на прямом выходе триггера высокий потенциал, в результате чего открывается схема И, пропускающая на выход счетчика импульсы КГ, а со-

противление R_0 подключается к эталонному напряжению $U_{эм}$. В этот момент заканчивается формирование времени прямого интегрирования t_x . Формирование длительности обратного интегрирования t_u заканчивается в момент, когда счетчик полностью заполнится, тогда ФКИ переводит триггер в другое состояние, и начинается такт прямого интегрирования. Выходная частота будет обратно пропорциональна периоду преобразования T , равного сумме t_x и t_u :

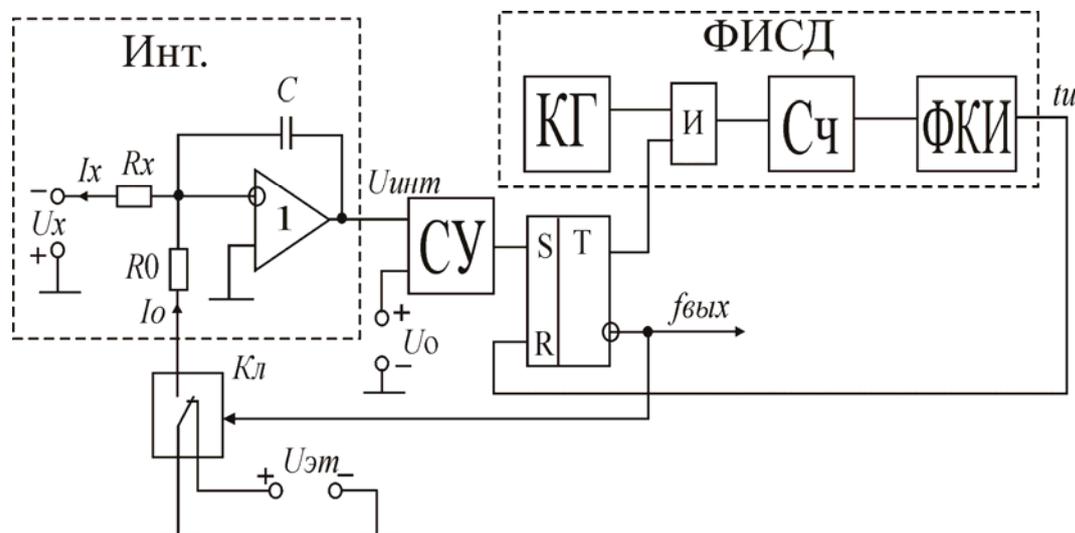


Рис. 1. Функциональная схема ПНЧ со стабильной длительностью импульсного обратного интегрирования, где: Инт. – интегрирующий усилитель; ФИСД – формирователь импульса стабильной длительности; СУ – сравнивающее устройство; Т – RS-триггер; КГ – кварцевый генератор; И – элемент логического умножения (конъюнктор); Сч. – счетчик; ФКИ – формирователь коротких импульсов; Кл – перекидной ключ; U_x – входное напряжение; $U_{эм}$ – эталонное напряжение; $I_x = U_x / R_x$, $I_0 = U_{эм} / R_0$ – токи, протекающие через резисторы R_x и R_0 , соответственно.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_x + t_u}.$$

Вывод формулы преобразования целесообразно осуществлять с графическими пояснениями, приведенными на рис. 2, где показано, как изменяется напряжение на выходе интегрирующего усилителя при преобразовании малого входного напряжения ($U_x \rightarrow 0$).

Учитывая, что $I_x = const$, $I_0 = const$, можно записать

$$U_p = U_0 - \frac{I_0 - I_x}{C} \cdot t_u. \quad (2)$$

Изменение напряжения $\Delta U_{обр}$ при обратном интегрировании будет, как следует из (2),

$$\Delta U_{обр} = U_0 - U_p = \frac{I_0 - I_x}{C} \cdot t_u. \quad (3)$$

Время прямого интегрирования t_x можно определить из следующего выражения

$$U_0 = U_p - \frac{1}{C} \cdot \int_0^{t_x} I_x dt.$$

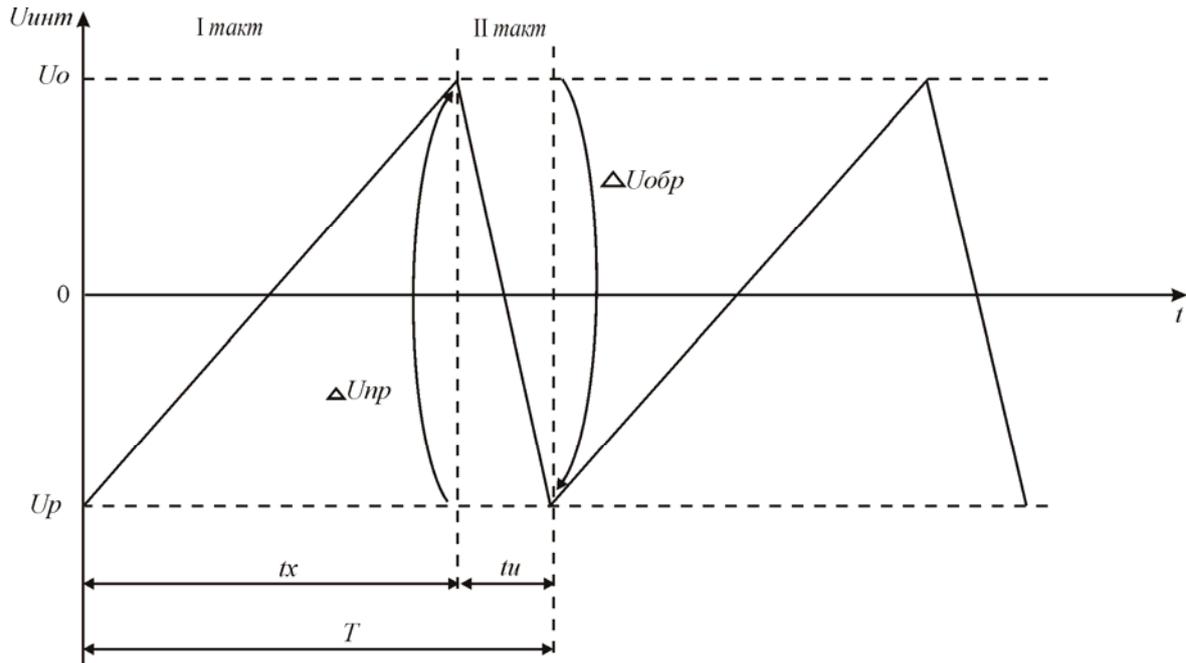


Рис. 2. Временные диаграммы напряжения на выходе интегрирующего усилителя при $U_x \rightarrow 0$

С учетом, что $I_x = const$:

$$U_0 = U_p - \frac{I_x}{C} \cdot t_x. \quad (4)$$

Изменение напряжения в такте прямого интегрирования $\Delta U_{пр}$, с учетом (4), будет

$$\Delta U_{пр} = U_p - U_0 = \frac{I_x}{C} \cdot t_x. \quad (5)$$

Учитывая, что это преобразователь постоянного напряжения, и оно за два такта преобразования не должно изменяться, можно записать

$$\Delta U_{пр} = \Delta U_{обр}.$$

Это равенство позволяет определить время прямого интегрирования, приравняв (3) и (5)

$$\frac{I_0 - I_x}{C} \cdot t_u = \frac{I_x}{C} \cdot t_x$$

$$t_x = \left(\frac{I_0}{I_x} - 1 \right) \cdot t_u.$$

Период преобразования будет

$$T = t_x + t_u = \frac{I_0}{I_x} \cdot t_u. \quad (6)$$

Выразив I_0 и I_x через соответствующие напряжения, получим

$$T = \frac{U_{эм}}{U_x} \cdot \frac{R_x}{R_o} \cdot tu.$$

Выходная частота будет

$$f = \frac{U_x}{U_{эм}} \cdot \frac{R_o}{R_x} \cdot \frac{1}{tu}. \quad (7)$$

Сравнивая (1) и (7), видим достоинства такого ПНЧ: стабильность результата преобразования зависит от стабильной длительности tu и от отношения сопротивлений, у которых температурный коэффициент отношения (ТКО) на порядок меньше ТКС.

Расчет такого ПНЧ будет заключаться в выборе tu и определении емкости C .

Емкость C , как видно из (3), влияет на величину размаха изменения напряжения $\Delta U_{обр}$ и должна выбираться с учетом максимального использования допустимого размаха напряжений усилителя $\Delta U_{макс.ус} = \Delta U_{обр}$.

Максимальное значение $\Delta U_{обр.макс}$ будет, как это видно из (3), при токе I_x равном нулю. Поэтому выбор C будет определяться формулой

$$C = \frac{I_o}{\Delta U_{обр.макс}} \cdot tu. \quad (8)$$

Выбор tu неоднозначен. Как видно из (3), величина tu в большей степени влияет на величину минимального напряжения $U_{обр.мин}$ в такте обратного интегрирования при максимальном входном напряжении ($I_x = I_x_{макс}$):

$$\Delta U_{обр.мин} = \frac{I_o - I_x_{макс}}{C} \cdot tu. \quad (9)$$

Исключив из (9) C подстановкой (8), получим

$$\Delta U_{обр.мин} = \left(1 - \frac{I_x_{макс}}{I_o}\right) \cdot \Delta U_{обр.макс}.$$

Длительность импульса tu должна составлять определенную часть периода выходной частоты. Из (6) можно записать эту связь для $I_x = I_x_{макс}$:

$$tu = \frac{I_x_{макс}}{I_o} \cdot T = m \cdot T.$$

Индекс $m = I_x_{макс} / I_o$ определяет, какую часть периода выходной частоты будет составлять tu при максимальном входном напряжении (или при максимальной выходной частоте). Для наглядности взаимосвязи m и $\Delta U_{обр.мин}$ составлена таблица 1.

Таблица 1

Взаимосвязь между m и $\Delta U_{обр.мин}$ при $\Delta U_{обр.макс} = 20 В$

$m = I_x_{макс} / I_o$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\Delta U_{обр.мин}$, В	10	8	6	4	2

Для наглядности на рис. 3 приведена расчетная диаграмма выходного напряжения интегрирующего усилителя при $m = 0,5$, а на рис. 4 при $m = 0,8$ и $0,9$.

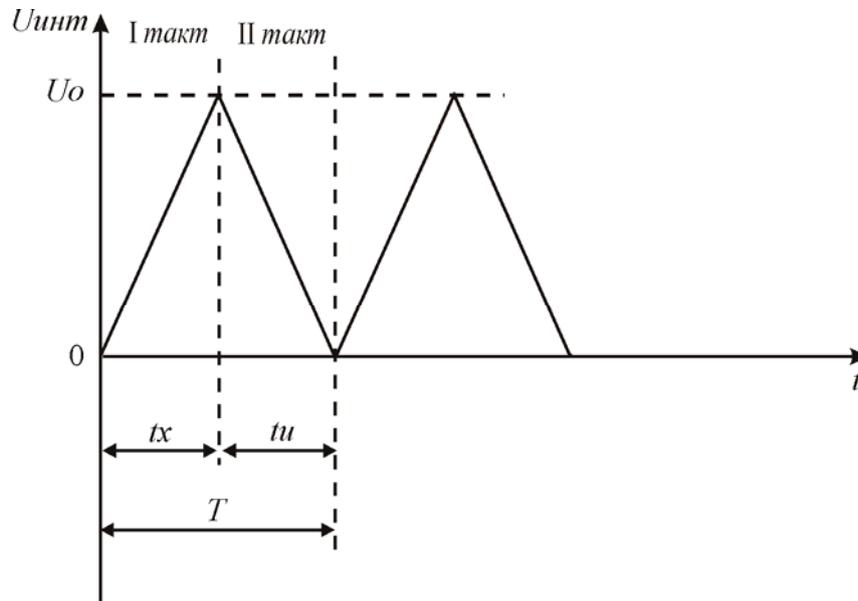


Рис. 3. Временные диаграммы напряжения на выходе интегрирующего усилителя при $m = 0,5$ ($t_{x \text{ мин}} = t_u$)

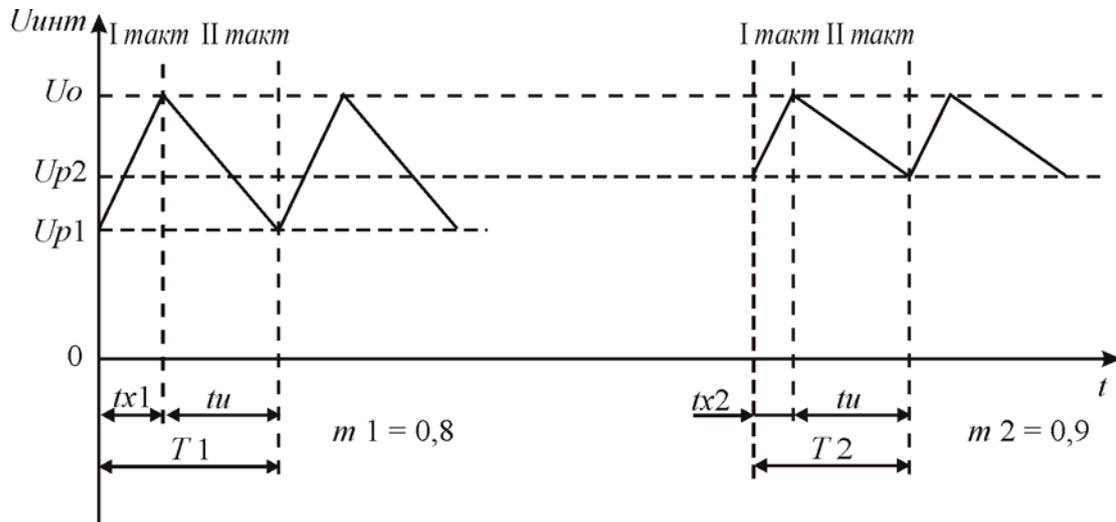


Рис. 4. Временные диаграммы напряжения на выходе интегрирующего усилителя при $m = 0,8$ и $0,9$

Как видно из таблицы 1 и диаграмм на рис. 3, 4, целесообразно принимать индекс m равным $0,8$ или $0,9$. Расчет в этом случае весьма упрощается.

Рассмотрим пример расчета данного ПНЧ для следующих исходных данных:

- диапазон значений выходной частоты: $f = 0..10$ кГц;
- диапазон значений входного напряжения: $U_x = 0..10$ В;
- значение эталонного напряжения: $U_{\text{эт}} = 10$ В;
- максимальный размах напряжения на выходе интегратора: $\Delta U_{\text{обр. макс}} = 20$ В;

Принимаем $m = 0,9$, т. е. $I_x \text{ макс} = 0,9 \cdot I_o$.

Длительность такта обратного интегрирования:

$$t_i = \frac{m}{f_{\text{макс}}} = \frac{0,9}{10^4} = 9 \cdot 10^{-5} \text{ с.}$$

Для выбора C (8) нужно задаться I_o . Принимаем $I_o = 1 \text{ мА}$.

$$C = \frac{I_o}{\Delta U_{\text{обр.макс}}} \cdot t_i = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{20} \cdot 9 \cdot 10^{-5} = 4,5 \text{ нФ.}$$

$$R_o = \frac{U_{\text{эм}}}{I_o} = \frac{10}{1 \cdot 10^{-3}} = 10 \text{ кОм.}$$

$$R_x = \frac{U_x \text{ макс}}{I_x \text{ макс}} = \frac{10}{0,9 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 11,11 \text{ кОм.}$$

$$\Delta U_{\text{обр.мин}} = 2 \text{ В.}$$

Для подтверждения достоверности разработанной методики расчета с помощью компьютера в программной среде Electronics Workbench EDA Version 5.0a была смоделирована принципиальная схема данного преобразователя. Параметры электронной модели (частота, размах напряжения на выходе интегрирующего усилителя и т. д.) совпали с аналогичными параметрами, рассчитанными теоретически.

Литература

1. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справчник /С.В. Якубовский, Л.И. Ниссельсон, В.И. Кулешова; Под ред. С.В. Якубовского. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.
2. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: Справ. /Н.Н. Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Прохоренко, Ю.П. Ходоренок – Мн.: Беларусь, 1994. – 591с.
3. Клисторин И.Ф., Гремальский А.А. Функциональный контроль микропроцессорных устройств /Под ред. Д.В. Гицу; Кишиневский политехнический институт им. С. Лазо. – Кишинев: Штиинца, 1990.- 90 с.

Получено 04.02.2002 г.