ВИКТОРОВ Д. С., ПЛАСТИНИНА Е. В., МОТРЮК Е. Н. КОМПЕНСАЦИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

УДК 629.054, ВАК 05.11.16, ГРНТИ 50.09.45

Компенсация систематических погрешностей первичных измерительных преобразователей бортовых информационных систем

Д. С. Викторов[1], Е. В. Пластинина[1], Е. Н. Мотрюк[2]

[1]Военная академия воздушно-космической обороны, г. Тверь,
[2]Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

В статье рассматривается способ компенсации систематических погрешностей первичных измерительных преобразователей бортовых информационных систем. Проведён анализ конструктивных особенностей первичных измерительных преобразователей и выявлены составляющие суммарной систематической погрешности.

Ключевые слова: *бортовая информационная система, первичный измерительный преобразователь, систематическая погрешность измерения.*

Compensation of systematic errors in primary measuring converters of on-board information systems

D. S. Viktorov[1], E. V. Plastinina[1], E. N. Motryuk[2]

[1]Military Academy of Aerospace Defense, Tver,
[2]Ukhta State Technical University, Ukhta

The article deals with the method of compensation of systematic errors in primary measuring converters of on-board information systems. The analysis of design features of primary measuring converters is carried out and components of a total systematic error are revealed.

Keywords: *on-board information system, primary measuring converter, systematic error of measurement.*

Введение

В данной статье пойдёт речь о систематических погрешностях, возникающих при работе первичных измерительных преобразователей бортовых информационных систем летательных аппаратов (ЛА), и способе их компенсации.

Бортовая информационная система ЛА в общем случае состоит из *следующих подсистем*: подсистемы измерения и преобразования информации, подсистемы обработки (вычислительной подсистема и подсистема отображения) [1]. *Подсистема измерения и преобразования* осуществляет прием и измерение аналоговых и дискретных сигналов (от тех систем и датчиков ЛА, которые не имеют собственных средств измерения и преобразования сигналов в цифровую форму), выполняет предварительную обработку этих сигналов, преобразование их в цифровой код и передачу в таком виде в подсистему обработки для дальнейшего использования.

В подсистеме измерения и преобразования бортовых информационных систем формируется информация о численном значении измеряемого параметра (результат измерения). С этой точки зрения подсистему измерения и преобразования можно рассматривать как первичный измерительный преобразователь с нормированными метрологическими характеристиками.

Современные первичные измерительные преобразователи строятся на высокопроизводительной элементной базе, позволяющей обеспечить сравнительно высокую точность измерения контролируемых параметров.

Однако, конструктивные особенности первичных измерительных преобразователей и специфические условия эксплуатации ЛА (резкие перепады температур, повышенный радиационный фон, перепады питающего напряжения, вибрация) приводят к возникновению *систематической погрешности*, которая устойчиво искажает результат измерения контролируемого параметра.

Теоретический анализ

Наибольшее распространение получили первичные измерительные преобразователи, использующие двухэтапное преобразование контролируемого параметра в цифровой код. На первом этапе контролируемый параметр преобразуется в пропорциональное его величине постоянное напряжение. На втором этапе постоянное напряжение преобразуется в цифровой код.

Метод преобразования контролируемого параметра в постоянное напряжение определяется требованиями к точности измерений и условиями эксплуатации бортовой информационной системы ЛА [2].

Следовательно, систематическая погрешность за счёт преобразования контролируемого параметра в постоянное напряжение нормируется для каждого типа первичных преобразователей индивидуально.

Для преобразования постоянного напряжения в цифровой код в первичных измерительных преобразователях наиболее часто применяются два метода: время-импульсный и частотно-импульсный.

Время-импульсный метод преобразования заключается в преобразовании измеряемого постоянного напряжения U_x в пропорциональный интервал времени T_x, заполнении этого интервала импульсами с известным периодом следования $T_{эт}$ и последующим их счётом. Измеренное значение U_x пропорционально количеству импульсов.

$$U_x = \frac{T_{\text{эт}} N}{K_{\text{МП}} \operatorname{tg} \alpha} \qquad (1)$$

где $T_{\text{эт}}$ – период следования эталонных импульсов; N – количество подсчитанных импульсов в течение измеряемого интервала времени; $K_{\text{МП}}$ – коэффициент передачи масштабного преобразователя; tgα – скорость нарастания линейно изменяющегося напряжения.

Структурная схема времяимпульсного преобразователя включает следующие узлы: МП – масштабный преобразователь; СУ – сравнивающее устройства; ЭК – электронный ключ; Сч – счётчик импульсов; ГЭЧ – генератор эталонной частоты; ГЛИН – генератор линейно изменяющегося напряжения; БУ – блок управления (рис. 1).

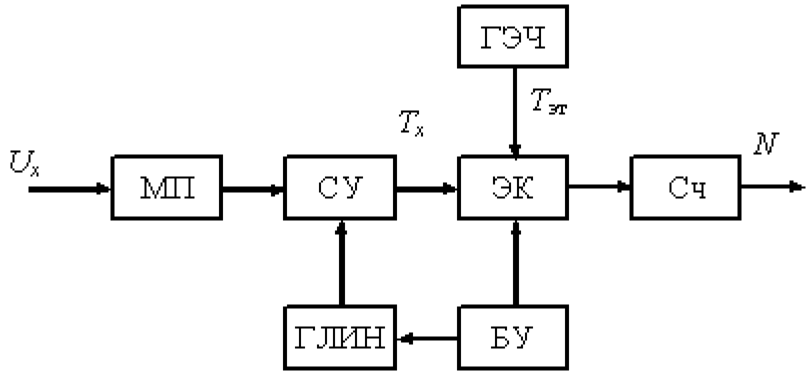

Рисунок 1. Структурная схема времяимпульсного преобразователя

В свою очередь, *частотно-импульсный метод* основан на предварительном преобразовании постоянного напряжения в пропорциональную частоту следования импульсов с последующим измерением этой частоты методом последовательного счёта.

Структурная схема частотно-импульсного преобразователя включает следующие модули (рис. 2): Инв. – инвертор; К – коммутатор; БУ – блок управления; ПНЧ – преобразователь напряжение-частота; ЭК1, ЭК2 – электронные ключи; ФВИ – формирователь временных интервалов; ГЭЧ – генератор эталонной частоты; ДЧ – делитель частоты; РСч – реверсивный счётчик; БР – блок регистрации.

Уравнение, характеризующее преобразование постоянного напряжения в цифровой код с помощью частотно-импульсного преобразователя выглядит следующим образом:

$$N_{\text{и}} = \int_0^T k_{\text{ПНЧ}} U_x dt = k_{\text{ПНЧ}} T_{\text{и}} \overline{U_x}, \qquad (2)$$

где $k_{\text{ПНЧ}} = f_x / U_x$ – коэффициент преобразования напряжение-частота.

Из (3) следует, что количество импульсов $N_{\text{и}}$ частоты f_x, подсчитанное за время $T_{\text{и}}$, пропорционально интегральному значению напряжения U_x, усреднённому за время $T_{\text{и}}$.

Для первичных измерительных преобразователей, использующих частотно-импульсный метод преобразования, свойственно существенное влияние шума на результат измерения, компенсировать которое можно синхронизацией генератора эталонной частоты с частотой шума.

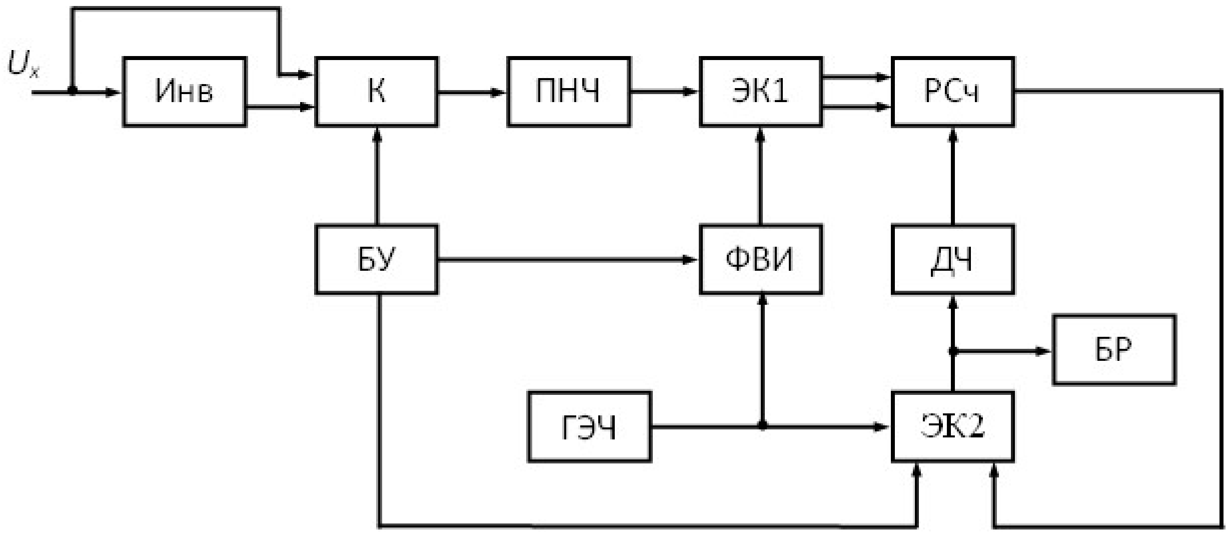

Рисунок 2. Структурная схема частотно-импульсного преобразователя

Методика

Результат измерений контролируемого параметра можно исправить, если исключить систематическую погрешность. *Сущность предлагаемого способа* заключается в коррекции результата измерений контролируемого параметра путём введения поправочного коэффициента, который зависит от конструктивных особенностей первичных измерительных преобразователей.

Анализ выражения (1) даёт основание считать, что максимальная относительная погрешность времяимпульсного преобразователя зависит от следующих факторов: погрешность, обусловленная подбором элементов масштабного преобразователя $\delta_{K\text{мп}}$; погрешность, выражающая нестабильность периода эталонных импульсов $\delta_{T\text{эт}}$; погрешность, обусловленная нелинейностью линейно-нарастающего напряжения $\delta_{\text{ГЛИН}}$; погрешность, вызванная дискретизацией постоянного напряжения δ_N. На практике принимают абсолютную погрешность дискретизации равной единице младшего разряда счётчика (Сч) ΔN.

Из сказанного выше следует, что суммарная систематическая погрешности первичного измерительного преобразователя с времяимпульсным преобразованием постоянного напряжения в цифровой код описывается выражением:

$$\delta_\Sigma = \sqrt{\delta_{\text{П}}^2 + \delta_{K_{\text{МП}}}^2 + \delta_{T_{\text{эт}}}^2 + \delta_{\text{ГЛИН}}^2 + \delta_N^2 + \delta_t^2}, \tag{3}$$

где δ_t – погрешность, обусловленная влиянием на процесс преобразования внешних факторов.

Как правило, первичные измерительные преобразователи с времяимпульсным преобразованием наиболее просты по схемному построению и в основном характеризуются малой относительной погрешностью измерения постоянного напряжения (порядка 0,05%). Однако, такие преобразователи подвержены *влиянию помех*, приводящих к значительным погрешностям измерения, достигающим амплитудного значения помех.

Из (2) следует, что основными составляющими систематической суммарной погрешности первичного измерительного преобразователя с частотно-импульсным преобразованием постоянного напряжения в цифровой код являются: погрешность квантования δ_N, погрешность формирования временного интервала $\delta_{T_и}$; погрешность преобразователя напряжение-частота $\delta_{ПНЧ}$. Суммарная относительная погрешность преобразования контролируемого параметра в цифровой код с частотно-импульсным преобразователем имеет вид

$$\delta_\Sigma = \sqrt{\delta_П^2 + \delta_{ПНЧ}^2 + \delta_{T_и}^2 + \delta_N^2 + \delta_t^2}, \quad (4)$$

где $\delta_П$ – погрешность за счёт преобразования контролируемого параметра в постоянное напряжение; δ_t – погрешность, обусловленная влиянием на процесс преобразования внешних факторов.

Зная численное значение систематической погрешности преобразования контролируемого параметра в цифровой код, имеется возможность рассчитать поправочный коэффициент.

Поправочным коэффициентом принято считать величину, равную по абсолютному значению систематической погрешности, но противоположную ей по знаку

$$\eta = -\frac{\delta_\Sigma X_N}{100} X_и, \quad (5)$$

где δ_Σ – суммарная погрешность преобразования контролируемого параметра в цифровой код; X_N – предел измерения первичного измерительного преобразователя; $X_и$ – измеренное значение контролируемого параметра.

Значения относительных погрешностей первичных измерительных преобразователей могут определяться в ходе проведения регламентных работ и заноситься в энергонезависимую память.

В дальнейшем вычислительная подсистема в ходе обработки результатов измерений контролируемых параметров учитывает значения поправочных коэффициентов, что позволяет автоматически компенсировать влияние систематических погрешностей.

Выводы

Таким образом, компенсация систематических погрешностей измерения контролируемых параметров путём введения поправочных коэффициентов позволяет повысить достоверность информации о режимах функционирования систем летательного аппарата.

Список литературы

1. Авакян А. А., Гориш А. В., Новиков И. Н. [и др.]. Синтез сверхнадёжной вычислительной системы авиационно-космического бортового измерительно-вычислительного комплекса // Измерительная техника. 2000. № 7. С. 12–17.

2. Батяев А. В., Викторов Д. С. Адаптивный бортовой информационно-вычислительный комплекс // Моделирование авиационных систем. М. : Российский фонд фундаментальных исследований, 2011. С. 318–326.

List of references

1. Avakyan, A. A., Gorish, A. V., Novikov, I. N., et al., “Synthesis of a highly reliable computing system for aerospace on-Board measuring and computing complex”, *Measuring equipment*, 2000, no. 7, pp. 12–17.

2. Batyaev, A. V., Viktorov, D. S., “Adaptive on-Board information computer complex”, *Simulation of aircraft systems*, Moscow, Russian Foundation for basic research, 2011, pp. 318–326/.