

Сведения об авторах

- Артур Александрович Абдуллин** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра электротехники и прецизионных электромеханических систем; E-mail: artur.abdullin@gmail.com
- Николай Александрович Поляков** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра электротехники и прецизионных электромеханических систем; E-mail: polyakov.ets.itmo@gmail.com

Рекомендована кафедрой
электротехники и прецизионных
электромеханических систем

Поступила в редакцию
17.06.13 г.

УДК 681.511.4; 629.78.054.623

С. В. Лучко, С. Ю. Балувев, М. А. Ватутин, Ю. А. Кузьмичев,
А. И. Ключников, В. П. Ефимов

ТОЧНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НЕЛИНЕЙНОГО ЗВЕНА ДЛЯ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

Даны рекомендации по минимизации влияния отклонений от номинального значения параметров применяемых радиоэлементов для снижения погрешности измерений.

Ключевые слова: датчики, автоколебательный режим, погрешность измерения ускорения, акселерометр, возмущение.

Одним из способов снижения погрешности измерений с помощью серийного маятникового акселерометра является обеспечение работы его чувствительного элемента (подвижной массы) в режиме автоколебаний [1] путем введения в схему нелинейного звена (НЗ).

Электромеханическая часть маятникового акселерометра в первом приближении является системой второго порядка. Возникновение автоколебаний в такой системе обеспечивает введение нелинейности типа „петля гистерезиса“ [2], характеристика которой приведена на рис. 1.

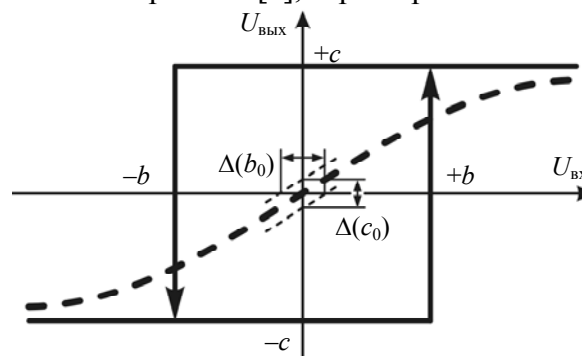


Рис. 1

Нелинейное звено характеризуется двумя параметрами — выходным уровнем сигнала $\pm c$ и порогом срабатывания $\pm b$. Их нестабильность приводит к смещению характеристики от нулевого значения на $\Delta(c_0)$ и $\Delta(b_0)$ соответственно и повышению погрешности выполняемых измерений. Очевидно, что для снижения погрешности и увеличения стабильности производимых измерений необходимо уменьшать отклонение параметров нелинейного звена b и c от их номинальных значений.

Реализовать характеристику „петля гистерезиса“ на электронных компонентах наиболее удобно при помощи операционного усилителя (ОУ) DA и двуханодного стабилитрона VD (рис. 2) по схеме триггера Шмитта (здесь R_6 — балластное сопротивление параметрического стабилитрона).

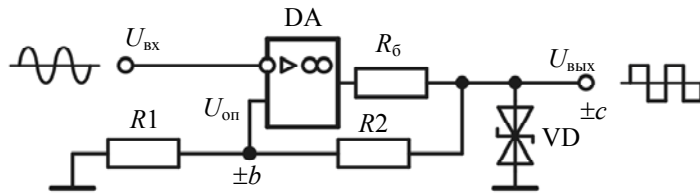


Рис. 2

В нелинейном звене формируются напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ и $U_{\text{оп}}$, которые по сути являются параметрами $\pm c$ и $\pm b$ соответственно.

На неинвертирующий вход ОУ поступает напряжение $U_{\text{ВХ}}$, значение которого пропорционально углу отклонения маятника, оно сравнивается с опорным $U_{\text{оп}}$, на выходе НЗ формируется дискретный сигнал $U_{\text{ВЫХ}}$ прямоугольной формы.

Величина опорного напряжения $U_{\text{оп}}$ зависит от параметров каждого элемента, используемого в нелинейном звене:

$$U_{\text{оп}} = F(R1, R2, U_{\text{ст}}, U_{\text{см}}),$$

где $U_{\text{ст}}$ — напряжение стабилизации стабилитрона; $U_{\text{см}}$ — напряжение смещения операционного усилителя, и определяется следующим выражением:

$$U_{\text{оп}} = \frac{R2}{R1 + R2} U_{\text{ст}} + U_{\text{см}}. \quad (1)$$

Использование элементов с параметрами, отличными от расчетных, приводит к отклонению $\Delta(U_{\text{оп}}^*)$ опорного напряжения от расчетной величины $U_{\text{оп}}^*$:

$$U_{\text{оп}} = U_{\text{оп}}^* + \Delta(U_{\text{оп}}^*). \quad (2)$$

У любого радиоэлемента отклонение от номинального значения $\Pi_{\text{ном}}$ параметра Π можно разделить на статическое $\Delta_c(\Pi)$ (разброс значения параметра, неизменно во времени) и динамическое $\Delta_d(\Pi)$ (дрейф значения параметра во времени):

$$\Pi = \Pi_{\text{ном}} + \Delta_c(\Pi) + \Delta_d(\Pi). \quad (3)$$

Статическое отклонение параметра $\Delta_c(\Pi)$ относится к систематической погрешности. Погрешность, вызванную отклонением параметра $\Delta_c(\Pi)$, можно учесть при изготовлении и калибровке измерительного прибора.

Значение отклонения параметра $\Delta_d(\Pi)$ изменяется в процессе эксплуатации радиоэлемента, что приводит к погрешности функционирования электронного блока, в состав которого входит элемент.

Для нелинейного звена (см. рис. 2) значение дрейфа $\Delta_d(\Pi)$ зависит от следующих элементов:

- операционный усилитель — дрейф напряжения смещения $\Delta(U_{\text{см}})$ [4];
- стабилитрон — температурный коэффициент напряжения (ТКН) [5];
- резистор — температурный коэффициент сопротивления [6].

Отклонение опорного напряжения при произвольных значениях сопротивлений резисторов $R1$ и $R2$ определяется следующим образом [3]:

$$\Delta(U_{\text{оп}}^*) = \frac{\partial F}{\partial R1} \Delta(R1) + \frac{\partial F}{\partial R2} \Delta(R2) + \frac{\partial F}{\partial U_{\text{ст}}} \Delta(U_{\text{ст}}) + \frac{\partial F}{\partial U_{\text{см}}} \Delta(U_{\text{см}}). \quad (4)$$

Взяв частные производные, получим

$$\Delta(U_{\text{оп}}^*) = -\frac{R2}{(R1+R2)^2} \Delta(R1)U_{\text{ст}} + \frac{R1}{(R1+R2)^2} \Delta(R2)U_{\text{ст}} + \frac{R2}{R1+R2} \Delta(U_{\text{ст}}) + 1\Delta U_{\text{см}}.$$

Подведя выражение под общий знаменатель, окончательно получим:

$$\Delta(U_{\text{оп}}^*) = \frac{(R1\Delta(R2) - R2\Delta(R1))U_{\text{ст}}}{(R1+R2)^2} + \frac{R2\Delta(U_{\text{ст}})(R1+R2) + \Delta(U_{\text{см}})(R1+R2)^2}{(R1+R2)^2}. \quad (5)$$

Анализ выражения (5) показывает, что наибольшее влияние на отклонение опорного напряжения (с коэффициентом $(R1+R2)^2$) оказывает дрейф напряжения смещения операционного усилителя $\Delta(U_{\text{см}})$. В меньшей степени (с коэффициентом $R2(R1+R2)$) влияние оказывает ТКН стабилитрона.

Интересен случай $\Delta(R1)=\Delta(R2)$. Если предположить, что у резисторов $R1$ и $R2$ отклонение от номинального значения будет совпадать с высокой степенью точности, то выражение (5) примет вид

$$\Delta(U_{\text{оп}}^*) = \frac{R2\Delta(U_{\text{ст}}) + \Delta U_{\text{см}}(R1+R2)}{(R1+R2)}.$$

Промышленностью выпускаются сборки резисторов и делители напряжения [6]. Введем обозначение $R1=R2=R$, тогда:

$$\Delta(U_{\text{оп}}^*) = \frac{R[\Delta(U_{\text{ст}}) + 2\Delta(U_{\text{см}})]}{2R} = 0,5[\Delta(U_{\text{ст}}) + 2\Delta(U_{\text{см}})]. \quad (6)$$

Отсюда следует, что на значение отклонения опорного напряжения $\Delta(U_{\text{оп}}^*)$ и погрешность измерения маятникового акселерометра наибольшее влияние оказывают дрейф напряжения смещения операционного усилителя $\Delta(U_{\text{см}})$ и ТКН стабилитрона.

Делитель напряжения $R1R2$ в типовом нелинейном звене (см. рис. 2) применяется в случаях, когда и напряжение питания $\pm U_{\text{пит}}$ (на схеме не показано), и напряжение стабилизации стабилитрона $\pm U_{\text{ст}}$ имеют относительно высокие значения — до ± 15 В и $\pm (7-9)$ В соответственно, а опорное напряжение $\pm U_{\text{оп}}$ должно иметь значение 1—5 В. При наличии низковольтного стабилитрона делитель напряжения $R1R2$ из схемы можно исключить. В этом случае значение отклонения опорного напряжения $\Delta(U_{\text{оп}}^*)$ будет определяться из выражения (6) без условий, предъявляемых к делителю напряжения $R1R2$.

Таким образом, для снижения погрешности измерений необходимо применять высокостабильные радиоэлементы, а также использовать схемотехнические решения как в линейном усилителе-преобразователе, так и в нелинейном звене, направленные на снижение их общего числа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лучко С. В., Ватутин М. А. Компенсационный акселерометр в режиме автоколебаний // Изв. вузов. Приборостроение. 2005. Т. 48, № 6. С. 62.
2. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1975.
3. Основы метрологии и электрические измерения / Под ред. Е. М. Душина. Л.: Энергоатомиздат, 1987.

4. Операционные усилители и компараторы. Справочник. Т. 12. М.: Изд. дом „Додэка-XXI“, 2001.
5. Гитцевич А. Б., Зайцев А. А., Мокряков В. В. и др. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры: Справочник. М.: КУБК-а, 1994. 528 с.
6. Дубровский В. В., Иванов Д. М., Пратусевич Н. Я. и др. Резисторы: Справочник. М.: Радио и связь, 1991. 528 с.

Сведения об авторах

- Сергей Викторович Лучко** — д-р техн. наук, профессор; Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра бортовых информационных и измерительных комплексов, Санкт-Петербург
- Сергей Юрьевич Балугев** — канд. техн. наук, доцент; Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра бортовых информационных и измерительных комплексов, Санкт-Петербург
- Михаил Алексеевич Ватутин** — канд. техн. наук, доцент; Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра бортовых информационных и измерительных комплексов, Санкт-Петербург
- Юрий Алексеевич Кузьмичев** — канд. техн. наук, доцент; Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра автономных испытаний, Санкт-Петербург
- Алексей Игоревич Ключников** — 1-й ГИК, Архангельская обл., г. Мирный; старший инженер-испытатель
- Виталий Петрович Ефимов** — Военный институт (научно-исследовательский) Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург; старший научный сотрудник

Рекомендована кафедрой
бортовых информационных и
измерительных комплексов

Поступила в редакцию
12.02.13 г.