ко. – 3-е изд., стер. – М.: Изд. центр “Академия”, 2006. – 336 с.
2. Информационно-измерительная техника и технологии / В.И. Калашников, С.Ф. Нефедов, А.Б. Путилин [и др.]; под ред. Г.Г. Раннева. – М.: Высшая школа, 2002. – 454 с.
3. *Голик О.В.* Исследование дефектности нагревостойких проводов с двойной полиимидной эмальизоляцией при испытаниях высоким напряжением на проход / О.В. Голик // Український метрологічний журнал. – 2009. – № 1. – С. 12–17.
4. Силові кабелі низької та середньої напруги. Конструювання, технологія, якість: підруч. для студ. вузів / В.П. Карпушенко, Л.А. Щебенюк, Ю.О. Антонець, О.А. Науменко. – Харків: Регіон-інформ, 2000. – 376 с.
5. *Золотарёв В.М.* Контроль дисперсии параметров деформации пластмасс для изоляции и оболочек кабелей в пожаробезопасном исполнении / В.М. Золотарёв, О.В. Васильєва, Л.А. Щебенюк // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. – Харків, 2012. – № 28. – С. 91–95.

УДК 681.518+621.373

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УНИФИЦИРОВАННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН С ЧАСТОТНЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ ИЗМЕРЯЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ

А.В. Гусельников, *аспирант Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”*

Статья посвящена разработке математической модели унифицированного преобразователя физических величин с частотным представлением измерительной информации. Приведены функциональная схема и математические модели такого прибора.

The article is devoted to development of the mathematical model of unified converter of physical quantities with frequency representation of the measured data. The functional diagram and mathematical models of the elements of such setup are presented.

В настоящее время в современных системах измерения, контроля и управления широкое распространение получили измерительные преобразователи физических величин (ИФВ) с частотным представлением измерительной информации. Такие ИФВ, состоящие из автогенераторных датчиков (АГД), содержащих один или два автогенератора (АГ) электрических колебаний с частотозадающими первичными преобразователями (ПП), такими как LRC-цепи, пьезо-, струнные и акустические резонаторы и некоторые другие элементы, с параметрами, которые определяются значением преобразуемой в частоту электрических колебаний величины X, и кодирующих преобразователей (КП) с выходным сигналом в виде цифрового (числоимпульсного) кода [1, 2]. Метод построения унифицированных ИФВ и способ линеаризации их характеристик преобразования приведены в работе [3].

Целью настоящей работы является разработка математической модели унифицированных преобразователей физических величин с частотным представлением измеряемой информации.

Функция преобразования унифицированного ИФВ с АГД, устанавливающая связь между входным X и выходным N_X сигналами унифицированного ИФВ, в общем виде может быть представлена выражением

$$N_X = SX,$$

где S – статистическая чувствительность:

$$S = \frac{\partial N_X}{\partial X};$$

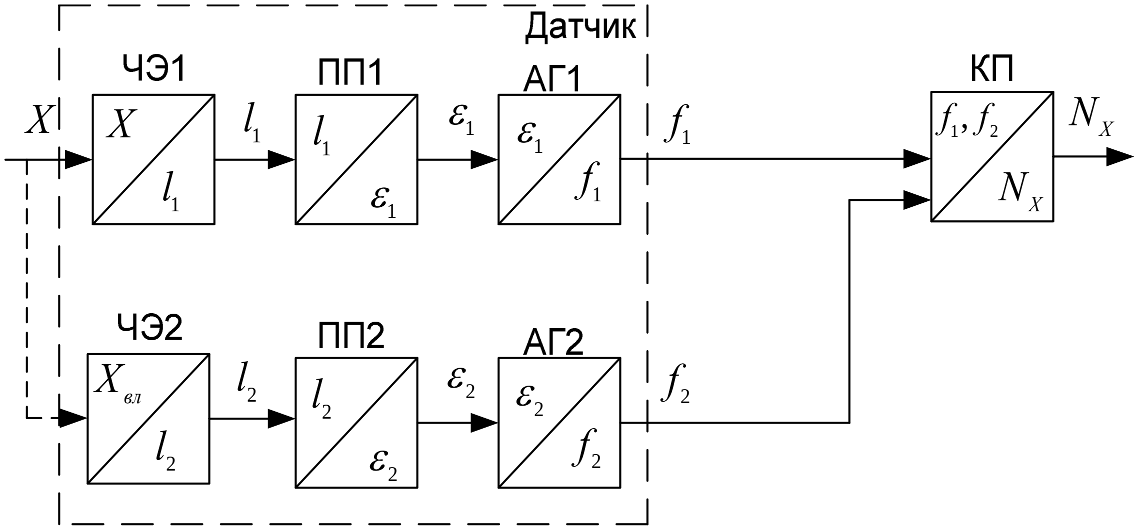
в случае линейности характеристики преобразования унифицированного ИФВ:

$$S = \frac{N_X}{X}.$$

Функциональная схема унифицированного ИФВ приведена на рисунке.

С учетом зависимостей, приведенных в работе [3], и обозначений на рисунке, определены приведенные в табл. 1 математические модели элементов автогенераторных датчиков, содержащих один АГ, автогенераторных датчиков, содержащих измерительный и компенсационный АГ, и автогенераторных датчиков, содержащих два измерительных АГ, с дифференциально включенными ПП.

Математическая модель всего датчика, в зависимости от варианта исполнения унифици-



Функциональная схема унифицированного ИФВ

Таблица 1

Математические модели элементов АГД унифицированного ИФВ

Элемент	Входная величина	Выходная величина	Математическая модель	Чувствительность
1	2	3	4	5
Одногенераторный АГД				
ЧЭ1	X	l_1 – изменение параметра ЧЭ1	$l_1 = K_{ЧЭ1}X$, где $K_{ЧЭ1}$ – коэффициент преобразования ЧЭ1	$S_{ЧЭ1} = K_{ЧЭ1}$
ПП1	l_1	$\varepsilon_1 = \dfrac{\Delta Z}{Z_0}$ – относительное изменение параметра Z элемента ПП1	$\varepsilon_1 = K_{ПП1} l_1$, где $K_{ПП1}$ – коэффициент преобразования ПП1	$S_{ПП1} = K_{ПП1}$
АГ1	ε_1	f_1	$f_1 = f_0(1+\varepsilon_0+\varepsilon_1)^n = f_0(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^n$	$S_{АГ1} = f_0 n(1+\varepsilon_0+\varepsilon_1)^{n-1} = f_0 n(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^{n-1}$
Двугенераторный АГД				
ЧЭ1	X	l_1	$l_1 = K_{ЧЭ1}X$,	$S_{ЧЭ1} = K_{ЧЭ1}$
ПП1	l_1	$\varepsilon_1 = \dfrac{\Delta Z}{Z_0}$	$\varepsilon_1 = K_{ПП1} l_1$,	$S_{ПП1} = K_{ПП1}$
АГ1	ε_1	f_1	$f_1 = f_0(1+\varepsilon_0+\varepsilon_1)^n = f_0(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^n$	$S_{АГ1} = f_0 n(1+\varepsilon_0+\varepsilon_1)^{n-1} = f_0 n(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^{n-1}$
ЧЭ2		l_2 – изменение параметра ЧЭ2	$l_2 = 0$	
ПП2		ε_2 – относительное изменение параметра Z элемента ПП2	$\varepsilon_2 = 0$	
АГ2		f_2	$f_2 = f_0$	
Дифференциальный АГД				
ЧЭ1	X	l_1	$l_1 = K_{ЧЭ1}X$	$S_{ЧЭ1} = K_{ЧЭ1}$
ПП1	l_1	$\varepsilon_1 = \dfrac{+\Delta Z}{Z_0}$	$\varepsilon_1 = K_{ПП1} l_1$,	$S_{ПП1} = K_{ПП1}$

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
АГ1	ε_1	f_1	$f_1 = f_0(1+\varepsilon_0+\varepsilon_1)^n = = f_0(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^n$	$S_{АГ1} = f_0 n(1+\varepsilon_0+\varepsilon_1)^{n-1} = = f_0 n(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^{n-1}$
ЧЭ2	X	l_2	$l_1 = K_{ЧЭ2} X$	$S_{ЧЭ2} = K_{ЧЭ2}$
ПП2	l_2	$\varepsilon_2 = \frac{-\Delta Z}{Z_0}$	$\varepsilon_2 = K_{ПП2} l_2$	$S_{ПП2} = K_{ПП2}$
АГ2	ε_2	f_2	$f_2 = f_0(1-\varepsilon_0-\varepsilon_1)^n = = f_0(1-\varepsilon_0-K_\Sigma X)^n$	$S_{АГ2} = f_0 n(1-\varepsilon_0-\varepsilon_1)^{n-1} = = f_0 n(1-\varepsilon_0-K_\Sigma X)^{n-1}$

рованного ИФВ, определяется следующими уравнениями:

1) математическая модель датчиков, содержащих один АГ:

$$f_1 = f_0\left(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X\right)^n;$$

2) математическая модель автогенераторных датчиков, содержащих измерительный и компенсационный АГ:

$$\begin{cases} f_1 = f_0(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^n; \\ f_2 = f_0; \end{cases}$$

3) математическая модель автогенераторных датчиков, содержащих два измерительных АГ, с дифференциально включенными ПП:

$$\begin{cases} f_1 = f_0(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^n; \\ f_2 = f_0(1-\varepsilon_0-K_\Sigma X)^n, \end{cases}$$

где f_1 и f_2 – частоты измерительного и компенсационного генераторов; f_0 – частота измерительного генератора при условии равенства нулю преобразуемой величины X; $\varepsilon_0 = \Delta Z_0 / Z_0$ – относительное приращение параметра элемента ПП измерительного АГ при $X=0$; K_Σ – коэффициент преобразования чувствительного элемента (ЧЭ) и ПП измерительного автогенератора; n – показатель степени, зависящий от типа чувствительного частотозадающего элемента АГ-датчика. В общем случае n – любое действительное число. Для наиболее распространенных частотных датчиков $n = \pm(0{,}5\ldots2{,}0)$.

Чувствительность всего датчика, в зависимости от варианта исполнения унифицированного ИФВ, определяется следующими уравнениями:

1) одногенераторный и двугенераторный АГД:

$$S_{датчика} = S_{АГ1} = f_0 n(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^{n-1};$$

2) дифференциальный АГД:

$$S_{датчика} = S_{АГ1} - S_{АГ2} = 2(f_0 n)^{\frac{1}{n-1}}(\varepsilon_0 + K_\Sigma X).$$

Математическая модель унифицированного ИФВ с автогенераторным датчиком, содержащим один АГ, и автогенераторным датчиком, содержащим измерительный и компенсационный АГ, следующая:

Таблица 2

Математические модели элементов унифицированного ИФВ

Элемент	Входная величина	Выходная величина	Математическая модель	Чувствительность
Одногенераторный АГД				
Датчик	X	f_1	$f_1 = f_0(1+\varepsilon_0+\varepsilon_1)^n = = f_0(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^n$	$S_{датчика} = f_0 n(1+\varepsilon_0+\varepsilon_1)^{n-1} = = f_0 n(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^{n-1}$
ИФВ	X	N_X	$N_X = N_0(\varepsilon_0+K_\Sigma X)$	$S_{ИФВ} = N_0 K_\Sigma$
Двугенераторный АГД				
Датчик	X	f_1, f_2	$f_1 = f_0(1+\varepsilon_0+\varepsilon_1)^n = = f_0(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^n$	$S_{датчика} = f_0 n(1+\varepsilon_0+\varepsilon_1)^{n-1} = = f_0 n(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^{n-1}$
ИФВ	X	N_X	$N_X = N_0(\varepsilon_0+K_\Sigma X)$	$S_{ИФВ} = N_0 K_\Sigma$
Дифференциальный АГД				
Датчик	X	f_1, f_2	$\begin{cases} f_1 = f_0(1+\varepsilon_0+K_\Sigma X)^n; \\ f_2 = f_0(1-\varepsilon_0-K_\Sigma X)^n, \end{cases}$	$S_{датчика} = 2(f_0 n)^{1/(n-1)}(\varepsilon_0+K_\Sigma X)$
ИФВ	X	N_X	$N_X = 2N_0(\varepsilon_0+K_\Sigma X)$	$S_{ИФВ} = 2N_0 K_\Sigma$

$$N_X = N_1 - N_0 = N_0 \frac{f_1^{1/n}}{f_0^{1/n}} - N_0 =$$

$$= N_0 \left(\frac{f_0^{1/n}\left((1 + \varepsilon_0 + K_\Sigma X)^n\right)^{1/n}}{f_0^{1/n}} - 1 \right) = N_0(\varepsilon_0 + K_\Sigma X). \quad (1)$$

Математическая модель унифицированного ИФВ с автогенераторным датчиком, содержащим два измерительных АГ, с дифференциально включенными ЧЭ:

$$N_X = \Delta N_1 - \Delta N_2 = N_0 \left(\frac{f_0^{1/n}\left((1 + \varepsilon_0 + K_\Sigma X)^n\right)^{1/n}}{f_0^{1/n}} - 1 \right) -$$

$$- N_0 \left(\frac{f_0^{1/n}\left((1 - \varepsilon_0 - K_\Sigma X)^n\right)^{1/n}}{f_0^{1/n}} - 1 \right) = 2N_0(\varepsilon_0 + K_\Sigma X). \quad (2)$$

Общая математическая модель унифицированного ИФВ, с учетом выражений (1) и (2), может быть представлена следующим образом:

$$N_X = iN_0(\varepsilon_0 + K_\Sigma X),$$

где коэффициент i, в зависимости от типа АГД, может принимать значения 1 или 2.

Математические модели АГД и унифицированного ИФВ приведены в табл. 2.

Приведенные математические модели могут быть использованы в инженерных расчетах при конструировании унифицированных ИФВ различных физических величин, работающих с разными видами автогенераторных датчиков.

Список литературы

1. Пат. 59973 UA. Автогенераторний вимірювач фізичних величин / О.В. Гусельніков. – Опубл. 10.06.2011, Бюл. № 11. – 6 с.
2. *Кондрашов С.І.* Автогенераторний перетворювач фізичних величин / С.І. Кондрашов, О.В. Гусельніков // Метрологія та вимірювальна техніка: VII Міжнар. наук.-техн. конф “Метрологія–2010”, 12–14 жовтня 2010 р., Харків: наук. праці: в 2 т. Т. 2. – Харків: ННЦ “Інститут метрології”, 2010. – С. 337–340.
3. *Кондрашов С.І.* Метод построения универсальных преобразователей физических величин с частотным представлением измерительной информации / С.І. Кондрашов, О.В. Гусельніков // Український метрологічний журнал. – 2011. – № 2. – С. 55–58.