

С.И. КОНДРАШОВ, док. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»

А.В. ГУСЕЛЬНИКОВ, магистр НТУ «ХПИ»

Т.Б. БЕЛИКОВА, инженер ХНЕУ

РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИЛ

В статті розглянута, розроблена авторами, інженерна програма розрахунку метрологічних характеристик вимірювальних перетворювачів сил по заданим конструктивним параметрам їх елементів. Дана програма дозволяє розрахувати характеристики вимірювальних перетворювачів складених з механічного пружного елемента з тензорезисторами включеними за мостовою схемою.

The article reviewed, the authors, engineering program for calculation of metrological characteristics of measuring transducers forces given by the constructive parameters of their elements. The given program allows calculating characteristics of measuring converters consisting of a mechanical elastic element with tensoresistors included on the bridge circuit.

Конструирование измерительных преобразователей (ИП) сил, которые широко применяются в различных измерительных устройствах, предполагает предварительный расчет их метрологических характеристик по заданным конструктивным параметрам их элементов или решения обратной задачи. Математические выражения, описывающие характеристики преобразования этих элементов весьма громоздки, что увеличивает затраты времени их конструирования.

В связи с изложенным, разработана компьютерная программа [1], которая позволяет рассчитывать характеристики наиболее распространенных ИП сил состоящих из упругих чувствительных элементов с тензорезистивными вторичными преобразователями включенными в мостовые схемы. Программа составлена на языке C++ Builder 5 и позволяет рассчитать основные характеристики (функцию преобразования, чувствительность, частотный диапазон и др.) ИП сил (F) в постоянное электрическое напряжение ($U_{вых}$), состоящих из упругих чувствительных элементов (ЧЭ) с тензорезисторами (ТР) включенными в мостовые схемы (МС) с внешними источниками питания с напряжением (U). Обобщенная структурная схема такого ИП приведена на рис.1.

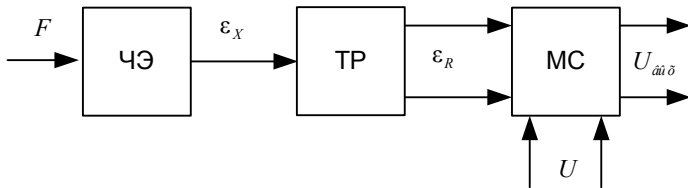


Рисунок 1 – Структурная схема ИП силы

Программа предназначена для инженерного расчета ИП сил с ЧЭ видов: упругая балка, упругий стержень, упругое кольцо и плоская мембрана с проволочными, фольговыми и полупроводниковыми ТР, включенными по четверть, полу и полномостовым схемам. В алгоритм программы расчета, с учетом положений [2] входят следующие семь функций.

1. Функция WinMain, которая является основной функцией программы и вызывается при запуске программы. Из этой функции вызываются все остальные функции и обработчики событий.

2. Функция Form1Create, которая вызывается при создании приложения (программы) и служит для отображения основной (главной) формы и задания начальных значений переменных.

3. Функция N10Click, которая вызывается при нажатии пункта меню «Выбор\Характеристики\Материаль». Служит для отображения формы, на которой располагаются названия материалов и их характеристики, а также для выбора нужного материала чувствительных элементов ИП.

4. Функция N12Click, которая вызывается при нажатии пункта меню «Выбор\Характеристики\Тензорезисторы». Служит для отображения формы на которой располагаются названия тензорезисторов и их характеристики, а также для выбора тензорезистора.

5. Функция N5Click, которая вызывается при нажатии пункта меню «Расчет\Расчет». Служит для расчета характеристик выбранного объекта и проверки правильности расчета характеристик, а так же вывода на экран сведений об ошибках.

6. Функция N3Click, которая вызывается при нажатии пункта меню Помощь. Служит для предоставления помощи пользователю.

7. Функция Image1MouseDown, которая вызывается при нажатии кнопки «мыши» на изображении балок или мембраны и служит для обработки события (нажатия клавиши мыши). Функция отображает точку приложения усилия и высчитывает расстояние от точки приложения силы до края балки.

Виды и основные расчетные соотношения [3] чувствительных элементов, тензорезисторов и мостовых схем ИП сил приведены соответственно в в таблицах 1, 2 и 3.

На основании данной программы для чувствительных элементов могут быть получены по заданным конструктивным параметрам значения:

- относительной деформации; прогиба;
- частоты собственных колебаний.

Таблица 1 – Виды и основные расчетные соотношения УЭ

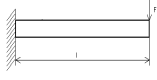
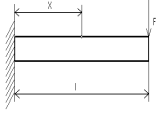
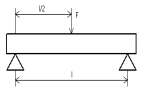
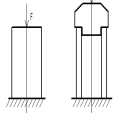
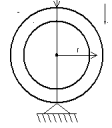
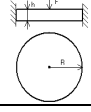
Виды ЧЭ	Исходные данные		Расчетные параметры	
	Предельные размеры ЧЭ, м	Относительная деформация ε	Частота собственных колебаний f_0 , Гц	
1	2	3	4	
<p>Балка равного сечения</p> 	$l = (0,02 \div 0,2);$ $b = (0,005 \div 0,05);$ $h = (0,0003 \div 0,02);$ $x = (0,02 \div 0,2)$	$\varepsilon_A = 0;$ $\varepsilon_x = \frac{6(l-x)}{Eh^2b} F$	$f_0 = \frac{0,162h}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	
<p>Балка равного сопротивления</p> 	$l = (0,02 \div 0,2);$ $b = (0,005 \div 0,05);$ $h = (0,0003 \div 0,02)$	$\varepsilon = \frac{6l}{Eh^2b} F$	$f_0 = \frac{0,316h}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	
<p>Балка на двух опорах</p> 	$l = (0,02 \div 0,2);$ $b = (0,005 \div 0,05);$ $h = (0,0003 \div 0,02);$ $x = (0,02 \div 0,2)$	$\varepsilon_A = \frac{3l}{Eh^2b} F;$ $\varepsilon_x = \frac{3(l/2-x)}{Eh^2b} F$	$f_0 = \frac{0,092h}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	
<p>Стержень упругий</p> 	$l = (0,01 \div 0,015);$ $R = (0,002 \div 0,05);$ $(R_\sigma - R_m) = 0,0005$	$\varepsilon_l = \frac{F}{S_q E};$ $\varepsilon_\phi = \frac{\mu F}{S_q E}; \mu = 0,6$	$f_0 = \frac{0,249}{l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	
<p>Кольцо упругое</p> 	$b = (0,002 \div 0,03);$ $R_\sigma = (0,01 \div 0,05);$ $R_m = (0,005 \div 0,049);$ $h = (R_2 - R_1) = 0,001;$ $\phi = (0 \div 360)^\circ$	$\varepsilon = \frac{R_{cp}}{Eh^2b} (1,91 - 3 \cos \phi) F;$ $\varepsilon_{внут} = -\varepsilon_{наруж}$	$f_0 = \frac{0,123h}{R^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$	
<p>Плоская мембрана</p> 	$R = (0,015 \div 0,1);$ $h = (0,0002 \div 0,005);$ $x = (0 \div 0,1)$	$\varepsilon_R = \frac{0,478(1-\mu^2)}{Eh^2} \cdot \left[\ln \frac{R}{x} - 1 \right] F; \mu = 0,6$	$f_0 = \frac{0,469h}{R^2} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\mu^2)}}$	

Таблица 2 – Виды и основные расчетные соотношения ТР

Виды ТР	Вводные данные ТР			Расчетные параметры	
	База l , мм	Коэффициент тензочувствительности, k	Номинальное сопротивление R , Ом	Абсолютное изменение сопротивления тензорезистора R , Ом	Относительное изменение сопротивления тензорезистора
ПКП-5-100 ПКП20-400	5...20	1,9...2,9	100...400	$\Delta R = kR\varepsilon_x$	$\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R}$
ПКБ-3-50 ПКБ-30-400 2ПКБ-5-50 2ПКБ- 30-400 К-2-20 К-30-200 Е-428-005 Е-428-012 Е-428-025	3...30 5...30 2...30 3 6 10	1,9...2,2	50...400 50...400 20...200 65 100 200	$\Delta R = kR\varepsilon_x$	$\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R}$
2ППКП-10-150 2ППКП-20-150 3ППКП-10-150 3ППКП-20-150	10 20 10 10	1,9...2,9	150	$\Delta R = kR\varepsilon_x$	$\varepsilon_R = 2 \frac{\Delta R}{R}$
2ФКПА 1ФКТК 2ФКПД	1...20 5...15 5	2...2,2	50...200 100...400 50...200	$\Delta R = kR\varepsilon_x$	$\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R}$

Таблица 3 – Виды и основные расчетные соотношения МС

Тип схемы	Вводные данные МС	Расчетные параметры МС
Четвертьмостовая схема	$\varepsilon_R = \Delta R/R$	$U_{\text{вых}} \approx 0,25 U \varepsilon_R$
Полумостовая схема	$\varepsilon_{R1}; \varepsilon_{R3}$	$U_{\text{вых}} = 0,5 U \varepsilon_R$
Полномостовая схема	$\varepsilon_{R1}; \varepsilon_{R3}; -\varepsilon_{R2}; -\varepsilon_{R4}$	$U_{\text{вых}} = U \varepsilon_R$

Для выбранных тензорезисторов могут быть получены значения:

- абсолютного изменения сопротивления;
- относительного изменения сопротивления;
- механического напряжения;
- минимальной абсолютной деформации упругого элемента, в месте крепления;

– максимального усилия, которое может выдержать упругий элемент с терморезистором.

Для примера произведем расчет измерительного преобразователя усилия состоящего из балки равного сечения с фольговыми тензорезисторами включенными по полумостовой схеме. Входным сигналом ИП является усилие 50Н, выходным сигналом является электрическое напряжение на измерительной диагонали моста.

Выбираем балку равного сечения со следующими геометрическими размерами:

- длина $l=0,05$ м;
- ширина $b=0,01$ м;
- толщина $h=0,005$ м.

Выбираем тензорезистор типа 2ФКПА со следующими параметрами: коэффициент тензочувствительности $k=2,2$;

- база тензорезистора $l_d = 0,0015$ м;
- номинальное сопротивление тензорезистора $R = 200$ Ом.

Задаем для полумостовой схемы:

- допустимую силу тока $I = 0,0025$ А;
- напряжение питания $U = 1$ В.

Перечисленные параметры являются исходными данными программы расчета. Результатом выполнения программы являются расчетные значения измерительного преобразователя усилия, приведенные в табл. 4.

Полученные с применением описанной программы, основные расчетные характеристики элементов измерительных преобразователей сил имеют отличие от экспериментальных не более чем на $\pm 10\%$, что позволяет рекомендовать эту программу для инженерных расчетов при проектировании таких устройств.

Программа проста и удобна в обращении, она существенно уменьшит затраты времени, позволит повысить производительность труда и может быть рекомендована, также инженерам-конструкторам и студентам электротехнических специальностей

Таблица 4 – Расчет параметров измерительного преобразователя усилия

Название элемента	Исходные значения (параметры элементов ИП)			Расчетные значения		
1	2			3		
Балка равного сечения	Длина l , м	Ширина b , м	Толщина h , м	Относительная деформация, ε_x	Частота собств. колеб. f_0 , Гц	
	0,05	0,01	0,005		0,00017	1523,45
Тензо- резистор 2ФКПА	База l_b , м	Коэф. тензочув- ствитель- ности k	Номинал. сопр. R , Ом	Абсолют. изменение сопр. R , Ом	Относит. изменен. сопр. ε	Механич. напряжение δ_m , Па
	0,0015	2,2	200	0,075	0,000375	$3 \cdot 10^7$
Полу- мостовая схема	Допустимая сила тока I , А		Напряжение питания моста U , В	Относительное изменение сопротивления тензорезисторов ε	Напряжение на выходе моста $U_{\text{вых}}$, В	
	0,0025				1,0	0,00075

Список литературы: 1. *Архангельский А.Я.* Программирование в С++ Builder 5. – М.: ЗАО “Издательство БИНОМ”, 2000.- 210с. 2. *Архангельский А.Я.* Разработка прикладных программ для Windows в С++ Builder 5. - М.: ЗАО “Издательство БИНОМ”, 2000. - 197 с. 3. *Полищук Е.С.* Измерительные преобразователи. – К.: Вища школа, 1981.– 296 с.

Поступила в редакцию 06.12.2010