

Моделиране на грешката от неравенството на изходните напрежения на компаратор в състава на честотен преобразувател

Свилен Стоянов, Владимир Демирев, Станимир Станков

Matlab Modeling of the Error due to the Output Voltage Inequalities of a Comparator Included in the Composition of a Frequency Converter: This report presents a mathematical modeling of the transfer function for bidirectional strain gauge to frequency deviation transducer. For this converter a metrological analysis is made. On the basis of which the error coming from the inequalities of the absolute values for the output voltages of the comparator is analysed. The results are presented in tabular and graphic form and can be used for further development of the schematic in the direction of improving the linearity of the converter and extension of the measuring range.

Key words: Frequency transducer, Mathematical modeling, Metrological analysis, Strain gauge.

ВЪВЕДЕНИЕ

Измерването на неелектрически величини с тензосъпротивителни преобразуватели винаги е поставяло на дневен ред въпроси относно увеличаване на измервателните диапазони, подобряване на линейността и чувствителността им и не на последно място, схемотехнично опростяване и използване на съвременни електронни компоненти.

За измерване на неелектрически величини е разработен двустранен линеен преобразувател на изменението на съпротивлението в изменение на честотата, работещ по метода на правото разгъващо преобразуване. Схемата е проектирана за работа с пълен Уитстонов мост, но може да работи и с един или два датчика. Характерно за този клас схеми е относителната им простота, която се характеризира с малък брой елементи, влизащи в състава на уравнението на преобразуване [3].

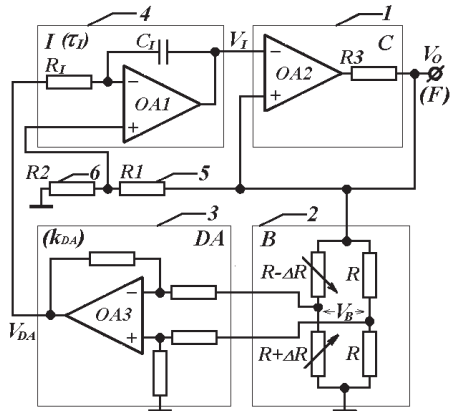
Постигнатата до този момент висока линейност в измервателния диапазон, прави схемата изключително перспективна за последващи разработки и усъвършенстване. Извършването на метрологичен анализ, моделиране на уравнението на преобразуване и анализиране влиянието на неравенството от изходните напрежения на компаратора би спомогнало за гарантиране на линейността на преобразуване при различни режими и по-точна оценка на грешките при работа [1], [5].

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Схемно предложение

Принципната схема на предложението преобразувател е показана на фиг. 1. Състои се от интегратор 4, компаратор 1, тензорезистивен мост (с две активни рамена) 2, диференциален усилвател 3 и делител на напрежение 5, 6 [3].

Времениаграмите на работа са показани на фиг. 2, като изходното напрежение V_{out} се получава на изхода на компаратора 1- V_0 . В установен режим $t = t_1$, изходното напрежение на компаратора 1 заема едно от двете състояния $+V_0$ или $-V_0$ (фиг. 2.), като това напрежение постъпва едновременно като: прагово напрежение (V_0) за компаратора 1, захранващо напрежение на тензорезистивния мост 2 и входно напрежение на



Фиг.1. Схема на преобразувателя

резистивния делител на напрежение, съставен от резисторите 5 и 6. В момента $t = t_2$, изходното напрежение $V_1(t_2)$ на интегратора 4 става равно на праговото напрежение V_0 на компаратора 1 и последният превключва изхода си от $+V_0$, в $-V_0$.

Уравнението на преобразуване (в случая на две активни рамена на моста) е изведено на базата на симетричността на двата времеви интервала ($t_1 \pm t_2$ и $t_2 \pm t_3$):

$$F = \frac{1}{T} = \frac{\beta}{4\tau_i(1-\beta)} + \frac{k_{DA}}{8\tau_i(1-\beta)} \delta R \quad (1)$$

където:

$$\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \text{коэффициент на делителя на}$$

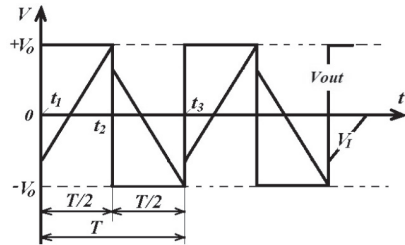
напрежение;

τ - времеконстанта на интегратора;

T - изходен период;

δR - относително изменение на съпротивлението на тензодатчиците;

K_{DA} - коэффициент на усилване на диференциалния усилвател.



Фиг.2. Графична зависимост $F=f(\Delta R)$

Първата част от уравнението (1) представлява базовата честота на преобразувателя, а втората част е изменението на изходната честота спрямо базовата при двупосочно натоварване на тензомоста.

2. Анализ на грешката от неравенството на изходните напрежения на компаратора.

Неравенството на изходните напрежения [2], [4] довежда до добавяне или изваждане на стойността ΔV_{out} към стойностите $+V_{out}$ и $-V_{out}$, при което формулата за изходния период на преобразувателя получава следния вид:

$$T^* = T * \left(\frac{V_{out}^+ + |V_{out}^-|}{V_{out}^+} + \frac{V_{out}^+ + |V_{out}^-|}{V_{out}^-} \right) =$$

$$= T * \left(\frac{V_{out} - \Delta V_{out} + V_{out} + \Delta V_{out}}{V_{out} - \Delta V_{out}} + \frac{V_{out} - \Delta V_{out} + V_{out} + \Delta V_{out}}{V_{out} + \Delta V_{out}} \right) \quad (2)$$

След въвеждане на означението $\frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} = \delta V_{out}$, (3)

заместване с равенствата $V_{out}^+ = V_{out} - \Delta V_{out}$ и $V_{out}^- = V_{out} + \Delta V_{out}$ (4)

и извършване на преобразуванията се получава коригираната изходна честота f^* :

$$f^* = \frac{1}{T^*} = f \left(\frac{1 - \delta V_{out}^2}{1} \right) = \frac{2\beta + k_{DA}}{4\tau_i(1-\beta)} (1 - \delta V_{out}^2), \quad (5)$$

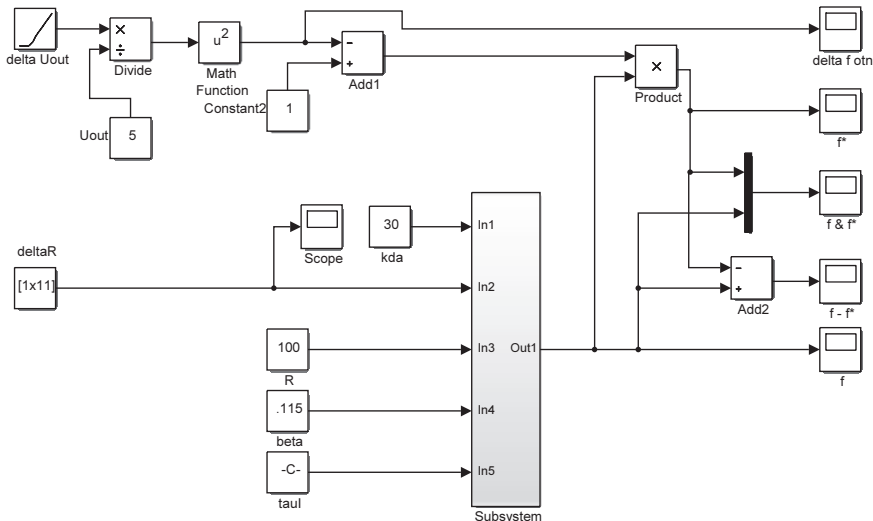
където δV_{out} е относителната грешка на изходното напрежение V_{out} .

За относителната мултипликативна грешка $\delta f_{V_{out}}$ на изходната честота, причинена от δV_{out} се получава:

$$\delta f_{V_{out}} = \frac{f^* - f}{f} = \frac{f(1 - \delta V_{out}^2) - f}{f} = 1 - \delta V_{out}^2 - 1 = -\delta V_{out}^2 \quad (6)$$

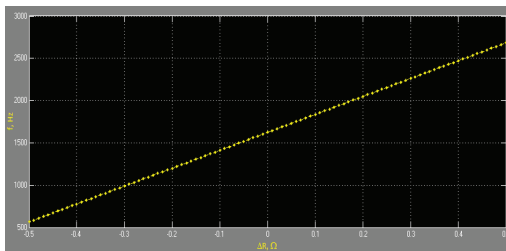
3. Моделиране на уравнението на преобразуване на преобразувателя

Уравнението на преобразуване (1) е моделирано в модул Subsystem (Simulink на Matlab). Стойностите на елементите влизащи в състава на уравнението на преобразуване са: резистор на интегратора $R_I=10\text{k}\Omega$, кондензатор на интегратора $C_I=2\text{nF}$, тензорезистори със съпротивление $R=100\Omega$, коефициент на делителя на напрежение $\beta=0,115$, коефициент на усилване на диференциалния усилвател $k_{DA}=30$. Зададено е двустранно изменение на съпротивлението на тензодатчиците от $-0,5\ \Omega$ до $+0,5\ \Omega$ със стъпка $0,01\ \Omega$ и начални условия на работа.



Фиг.3. Моделиране на уравнението на преобразуване и грешката от неравенството на изходните напрежения.

На фиг. 4 е показано изменението на честота във функция на изменението на съпротивлението на тензомоста. Базовата честота на преобразувателя при $\Delta R=0$ е $1624,29\ \text{Hz}$, а изменението ѝ е линейна функция. Тъй като в уравнението на преобразуване липсват конкретни стойности на параметрите на ОУ и стойностите на дискретни елементи са зададени без отчитане на толерансите им, то имаме пълно съвпадение на моделните и аналитичните зависимости.

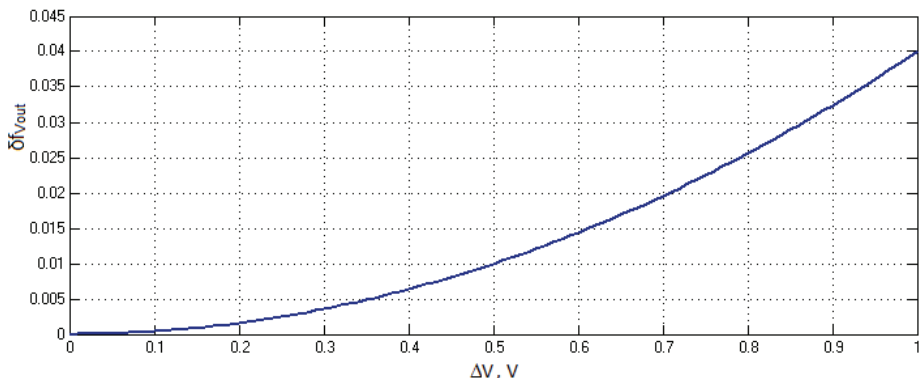


Фиг.4. Графична зависимост $F=f(\Delta R)$

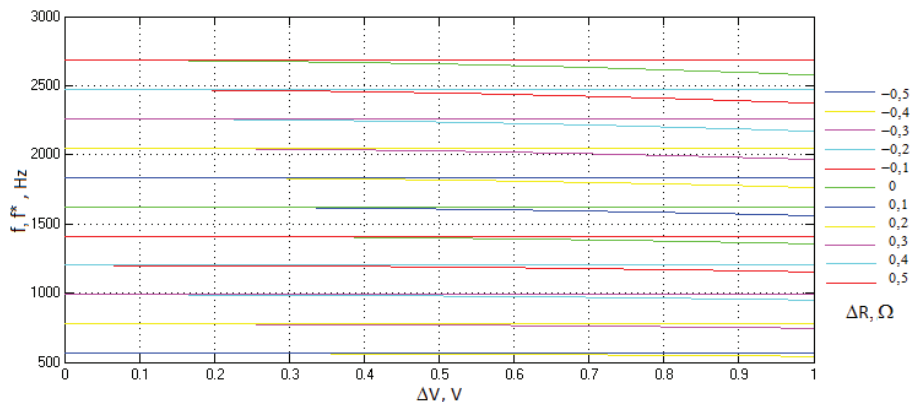
4. Моделиране на грешката от неравенството на изходните напрежения на компаратора

Зададените начални условия за извършване на моделирането са: двуполярно напрежение на изхода на компаратора $\pm 5\ \text{V}$ (блок U_{out} , фиг. 3), и изменение на напреженията в интервала $\Delta V_{out} = 0 \div 1\ \text{V}$ (блок $\text{delta}U_{out}$).

Относителната мултипликативна грешка $\delta f_{V_{out}}$ на изходната честота е показана на фиг. 5. Тя довежда до нелинейност на уравнението на преобразуване и промяна на работните честоти- формула (6).



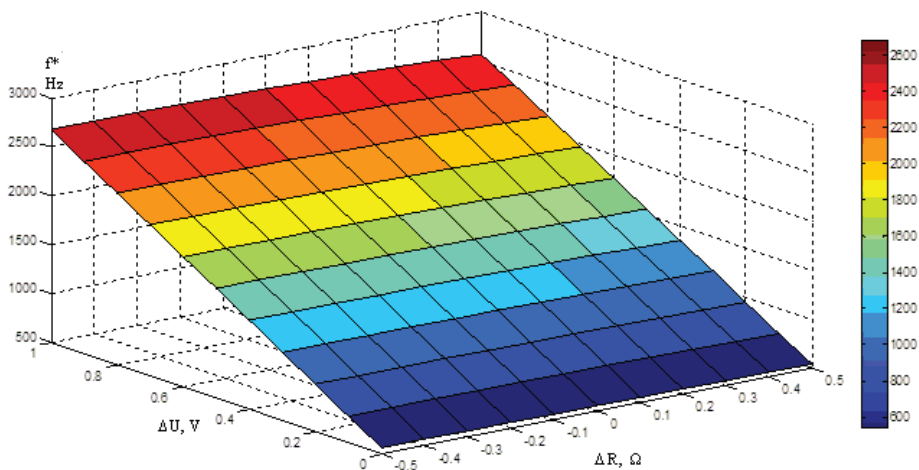
Фиг.5. Графична зависимост $\delta f_{V_{out}}= f(\Delta V)$



Фиг.6. Графични зависимости на f и f^* във функция на $\Delta V_{out}(\Delta R)$

Неравенството на изходните напрежения довежда до добавяне или изваждане на стойността на ΔV_{out} към стойностите на изходните напрежения V_{out}^+ и V_{out}^- , което води до промяна на изходната честота. На фиг. 6 е показано изменението на работните честоти f^* (монотонно падащите криви), спрямо некоригираните честоти f (правите линии). Най-голяма грешка се регистрира при високите честоти ($\Delta R = +0,3 \div +0,5 \Omega$) и разлика в напреженията $\Delta V = 1V$.

На фиг.7 е визуализирана зависимостта $f^*= F(\Delta V_{out}, \Delta R)$. На графиката се вижда адитивна грешка в началото на изменението ΔV_{out} , а с нарастването на входната величина преобладава мултипликативната грешка.



Фиг.7. Графична зависимост $f^* = F(\Delta V_{out}, \Delta R)$

Максималната относителна грешка при $+0,5\Omega$ разбаланс възлиза на 6,6087%. Това е твърде голяма стойност, която се получава при 20% разлика в стойностите на изходните напрежения и на практика е недопустима. При големи вероятни разлики в стойностите на изходните напрежения, (например при нестабилно захранващо напрежение) е необходимо да се отчете, че грешката нараства в квадратична функция и може да достигне много големи стойности. Тази грешка може да бъде компенсирана чрез два еднакви ценерови диода, свързани паралелно – насрещно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на показаните теоретични зависимости и получените резултати от моделирането са направени изводите:

1. Изведени са теоретичните зависимости на грешката от неравенството на изходните напрежения на компаратора в състава на преобразувателя;
2. Моделирано е уравнението на преобразувателя в MATLAB, като е визуализирана основната зависимост на изменението на съпротивлението на тездатчиците в честота;
3. Моделирана е мултипликативната грешка на изходната честота от неравенството на изходните напрежения на компаратора;
4. Съпоставена е грешката на изходната честота при едновременно вариране на входния сигнал от тензомоста (ΔR) и изходното напрежение (ΔV_{out}). Моделните резултати показват максимална относителна грешка 6,6087%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гигов Хр., „Измервателна електроника“, 2013, ТУ- Варна;
- [2] Гигов Хр. и др. Метрологичен анализ на преобразувател на проводимост с честотна модулация, Известия на ТУ-Варна, XII 2007;
- [3] Гигов Хр., Стоянов С., Станков С., Подадена заявка за Патент №111382/25.01.2013г., „Преобразувател на разбаланса на резистивен мост в честота“;
- [4] Стоянов Св., Станков Ст., Гигов Хр., Метрологичен анализ на преобразувател за тензомост с честотен изход, СУ-Варна, 2012, сп. „Известия на съюза на учените“, бр.1, 2012, стр. 90 – 93;

[5] Stoyanov S., A Linear converter of strain gauge bridge bidirectional disbalance into frequency deviation, списание "Е+Е", бр. 3-4, стр. 21-26, 2014.

За контакти:

Гл. ас .инж. Свилен Христов Стоянов, Добруджански технологичен колеж в структурата на ТУ-Варна, тел. 058604712, E-mail: : svilen.stoyanov@tu-varna.bg

Гл. ас. д-р инж. Владимир Георгиев Демирев, Добруджански технологичен колеж в структурата на ТУ-Варна, тел. 058604712, E-mail: vl.demirev@abv.bg

Инж. Станимир Красимиров Станков, ТУ-Варна, тел. 0883 303 504, E-mail: stankov@tu-varna.bg

Докладът е рецензиран.