

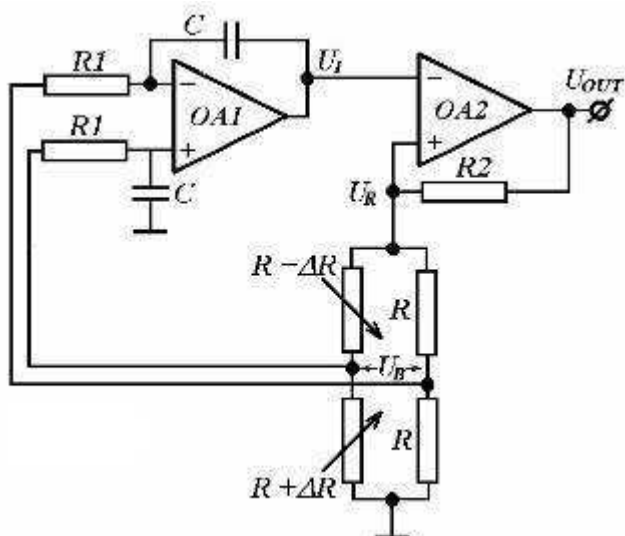
МЕТРОЛОГИЧЕН АНАЛИЗ НА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ ЗА ТЕНЗОМОСТ С ЧЕСТОТЕН ИЗХОД

Свилен Стоянов, Станимир Станков, Христо Гигов

Abstract: In previous paper the authors propose a strain gauge bridge converter with frequency output on the base of differential integrator and comparator. In this article a metrological analysis is made for the converter which shows the influence of the basic parameters of the elements: the slew rate of the integrator, the non-equality on the absolute values for the output voltage of the comparator, and the input offset voltage of the comparator. New expressions are worked-out which shows methods for sizing and improving the accuracy of the proposed converter.
Key words: strain gauge bridge, measuring strain gauge converter, metrological analysis

1. Схемно предложение

Схемата на предложени измервателен преобразувател е показана на фиг.1[8]. Състои се от диференциален интегратор [7], построен на базата на ОА1 с две идентични интегриращи вериги R1, C и компаратор, реализиран на базата на ОА2 с положителна обратна връзка, съставена от R2 и еквивалентното съпротивление R на захранващия диагонал на моста [6], [1].



Фиг.1. Преобразувател за тензомост с честотен изход

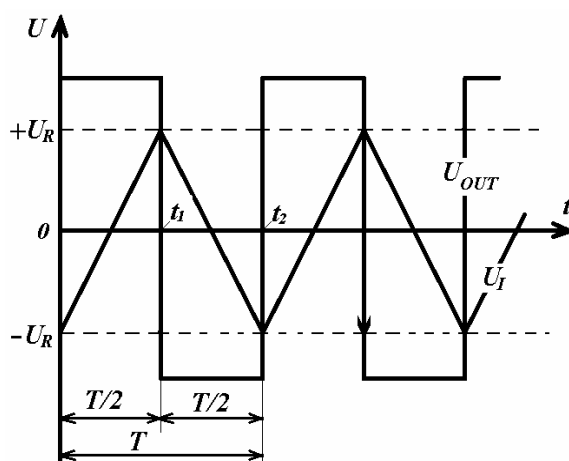
Във временния интервал 0 ... t1 компараторът е в положително ограничение UOUT = UOUT+, изходното напрежение на моста UB се прилага към двата входа на диференциалния интегратор, при което последния формира на изхода си линейно нарастващо напрежение съгласно уравнението:

$$U_I(t) = \frac{1}{R_1 C} \int_0^t (U_B) dt + U_I(0) = \frac{U_B}{R_1 C} t + U_I(0) \quad (1)$$

където:

$$U_I(0) = -U_R = \frac{R}{R_2 + R} U_{OUT}^- \quad - \text{началното състояние на интегратора при } t=0,$$

$$U_B = \frac{U_R \Delta R}{2 R} = \frac{U_R}{2} \delta R \quad - \text{изходно напрежение на моста.}$$



Фиг.2. Времедиаграми на работа

Компараторът превключва своя изход от положително в отрицателно ограничение в момента t1 при който потенциалът на инвертиращия вход на ОА2 се изравни с потенциала +UR на неинвертиращия му вход, като за момента t1 е валидно равенството:

$$U_I(t_1) = +U_R = \frac{U_B}{R_1 C} t_1 - U_R \rightarrow t_1 = \frac{T}{2} = \frac{R_1 C U_R}{U_B} \quad (2)$$

В следващия временен интервал t1 ... t2 процесите са аналогични, но напреженията UOUT, UR и U сменят полярността си, а диференциалния интегратор генерира на изхода си линейно спадащо напрежение [2], [3]. При отчитане на пълната симетрия на процесите в двата временни интервала, за изходната честота на преобразувателя се получава:

$$F_{OUT} = \frac{1}{T} = \frac{1}{2R_1C U_R} U_B = \frac{1}{4R_1C} \delta R \quad (3)$$

2 Анализ на грешките на измервателен преобразувател с разгъващо право преобразуване.

От уравненията на преобразуване следва очевидно, че опорният параметър C или R_I са източници на мултипликативна грешка. Освен това, коефициентът “4” в тези уравнения е получен, предполагайки равенство по модул на изходните напрежения на насищане на компаратора. Неизпълнението на това условие, както ще бъде показано по-долу, също е източник на мултипликативна грешка. Освен това, за пълнота на анализа, е необходимо да се отчете и влиянието на остатъчните напрежения на операционните усилватели на интегратора и компаратора [4], [5].

2.1. Анализ на грешката от неравенството на абсолютните стойности на изходните напреженията на компаратора.

Отчитайки стойностите и на изходните напреженията на компаратора получаваме за периода на преобразувателя :

$$T^* = T_1 + T_2 = 4R_1C \frac{R}{\Delta R}$$

$$T^* = 4 \frac{R_1C}{\delta R} \left(\frac{U_{out}^+ + |U_{out}^-|}{U_{out}^+} + \frac{U_{out}^+ + |U_{out}^-|}{U_{out}^-} \right) =$$

$$= 4 \frac{R_1C}{\delta R} \left(\frac{U_{out} - \Delta U_{out} + U_{out} + \Delta U_{out}}{U_{out} - \Delta U_{out}} + \frac{U_{out} - \Delta U_{out} + U_{out} + \Delta U_{out}}{U_{out} + \Delta U_{out}} \right)$$

След въвеждане на означението $\frac{\Delta U_{out}}{U_{out}} = \delta U_{out}$ и извършване на преобразуванията се получава:

$$T^* = 8 \frac{R_1C}{\delta R} \left(\frac{1}{1 - \delta U_{out}^2} \right) = T \left(\frac{1}{1 - \delta U_{out}^2} \right)$$

където δU_{out} е относителната грешка на изходното напрежение U_{out} .

За относителната мултипликативна грешка $\delta T U_{out}$ на изходния период, причинена от δU_{out} се получава:

$$f^* = f(1 - \delta U_{out}^2)$$

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

$$1 - \delta U_{out}^2 - 1 = -\delta U_{out}^2$$

Стойността на δU_{out} е $\ll 1$, (4) следователно относителната мултипликативна грешка $\delta f U_{out}$ е пренебрежимо малка.

2.2. Анализ на грешката от остатъчното напрежение на операционния усилвател на компаратора.

Остатъчното напрежение e_{0k} на операционния усилвател на компаратора е постоянно по знак и се явява свързано последователно с праговите напрежение УПР+ и УПР- на компаратора, поради което може да се представи чрез еквивалентно изменение на праговите напрежения на компаратора:

$$(U_{ПР}^-)^* = \frac{R}{\Delta R} |U_{out}^-| + e_{0k}$$

$$(U_{ПР}^+)^* = -\frac{R}{\Delta R} U_{out}^+ + e_{0k}$$

За момента $t = t_1$:

$$U_I(t_1) = -\frac{1}{R_1C} \int_0^{t_1} (2U_B) dt + U_I(0) = (U_{ПР}^+)^*$$

Отчитайки, че: $U_I(0) = (U_{ПР}^-)^*$

$$-\frac{U_2^+}{RC} T_1 + (U_{ПР}^-)^* = (U_{ПР}^+)^*$$

$$-\frac{R}{\Delta R} U_{out}^+ + e_{0k} = -\frac{U_2^+}{RC} t_1 + \frac{R}{\Delta R} |U_{out}^-| + e_{0k}$$

$$T = 8 \frac{R_1C}{\delta R}$$

След преобразуване за полупериодите t_1 и t_2 се получава:

$$t_1 = 4RC \frac{1}{\delta R} \frac{U_{out}^+ + |U_{out}^-|}{U_{out}^+}$$

$$t_2 = 4RC \frac{1}{\delta R} \frac{U_{out}^+ + |U_{out}^-|}{U_{out}^-}$$

Честотата се получава:

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{\delta R}{8R_1C} \frac{U_{out}^+ + U_{out}^-}{U_{out}^+ + |U_{out}^-|} \quad (5)$$

От формула (5) се вижда, че остатъчното напрежение e_{0k} на компаратора не участва в уравнението на преобразуване и не внася грешка, т.е., такъв преобразувател е напълно инвариантен спрямо остатъчното напрежение на компаратора.

2.3. Анализ на скоростта на изменение на изходното напрежение на интегратора.

Изходното напрежение на интегратора не трябва да се изменя със скорост, по-голяма от SR на използвания операционен усилвател, от където се въвежда ограничение отдолу за времеконстантата RC:

$$RC > \frac{2U_R}{SR \cdot 10^6}$$

Горната формула се използва за оразмеряване на схемата от фиг.1 на напрежението U_R на тензорезисторите. При зададени R1 и C се въвежда ограничение отгоре за напрежението U_R . Така например при R1 = 2kΩ и C=204 pF при SR=7V/μs за използвания ОУ LM833N стойността на напрежението $2U_R < 2,856V$.

Скоростта на нарастване на изходното напрежение на интегратора може да се определи по следната формула:

$$S_i = \frac{\Delta U_{out}}{\Delta t} = \frac{U_B}{R_1 C}$$

Необходимата скорост на нарастване на изходното напрежение на интегратора S_i трябва да е по-малка от SR на операционния усилвател, съгласно неравенството:

$$\frac{U_B}{R_1 C} < SR$$

Следователно:

$$R_1 C > \frac{U_B}{SR} \quad (6)$$

Стойността на напрежението U_B при разбаланс на тензомоста е със стойности 0 – 5 mV. По формула (6) може да се определи с-тта на времеконстантата за конкретен ОУ.

3.Изводи и заключение:

На базата на получените резултати при направеният метрологичен анализ на преобразувател за тензомост с честотен изход могат да се направят следните по-важни изводи:

1.Относителната мултипликативна грешка δTU_{out} от неравенството на абсолютните стойности на изходните напрежения на компаратора е пренебрежимо малка и се подтилка многократно.

2.Остатъчното напрежение e_{0k} на компаратора не участва в уравнението на преобразуване и не внася никаква грешка.

3. Изведени са аналитични зависимости за скоростта на изменение на изходното напрежение на интегратора. Показани са ограниченията, които са необходими за оразмеряване на схемата и избор на ОУ.

4.При необходимост от ОУ с по-добри параметри се препоръчва използването на AD823ANZ, който е с над 3 пъти по-голяма стойност на SR - 22V/μs спрямо 7V/μs за LM833N.

Проведеният метрологичен анализ в съчетание с получените резултати от експерименталните изследвания и симулациите на схемата, приложени в [8], могат да бъдат база за по-нататъшно инструментално усъвършенстване с цел разработка на прототип или серийно изделие с индустриално или лабораторно приложение.

Литература:

- [1]. Jon S. Wilson. *Sensor Technology Handbook*. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK Copyright © 2005, Elsevier Inc.
- [2]. А. И. Мартяшин и др. *Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения*. М., Энергия, 1976.
- [3]. В.С. Гутников *Интегральная электроника в измерительных устройствах*. Л., Энергоатомиздат, 1988.
- [4]. Х. Гигов и др. *Измервания в електрониката*, 2003, ТУ, Варна
- [5]. Х. Гигов и др. *Метрологичен анализ на преобразувател на проводимост с честотна модулация*. Известия на ТУ-Варна, XII 2007.
- [6]. Э.К.Шахов, В. Михотин, *Интегрирующие развертывающие преобразователи напряжений*. М., Энергоатомиздат, 1986.
- [7]. Baranovski J., *Tranzistorschaltungen in der Impulstechnik*, VEB Verlagtechnik Berlin, 1964
- [8]. Стоянов С., Станков Ст., Гигов Хр., „Преобразувател за тензомост с честотен изход”, Трети международен научен конгрес на ТУ-Варна, 04-06.10.2012, т.2, стр197-202.

За контакти:

гл.ас.инж. Свилен Стоянов,
Добруджански колеж в с-та на ТУ-Варна,
e-mail: svilen.stoyanov@tu-varna.bg
инж. Станимир Станков, ТУ-Варна,
e-mail: stum_b@yahoo.com
доц.д-р инж. Христо Гигов, ТУ-Варна,
e-mail: hgigov@tu-varna.bg