

Моделиране на аналогови закъснителни звена с биквадратни филтри на Deliyannis

Аврам Леви, Снежинка Захариева

Modeling of Analog Delay Units with Biquadratic Deliyannis Filters: The paper analyzed the Deliyannis filters and formulas are derived which allow to approximate delay units with Pade functions. For this purpose, using the method of U - graphs of Coates. The results obtained make it easy to design different analog delay units.

Key words: Modeling of control systems, analog delay units, Deliyannis filters

ВЪВЕДЕНИЕ

Закъсненията в системите за автоматично регулиране са предизвикани от инерционността на техните функционални звена и невисоката скорост, с която в тях се разпространяват управляващите сигнали. Закъснителните аналогови звена се използват при моделиране на процесите, възникващи вследствие на измененията на температурните режими, при изследването на кинетиката на различни физико-химични процеси и др.

Ако връзката между входния и изходния сигнали се представи като функция на текущото време t от вида $U_o(t) = U_i(t - \tau)$, където τ [s] е чистото закъснение, то предавателната функция $W(p)$ на закъснителното звено (1) може да се изрази с дробно - рационална функция (апроксимация на Pade), при което аргумента p ще съответства на оператора на Laplace :

$$W(p) = e^{-p\tau} \approx \frac{(\tau^2 / 12)p^2 - (\tau / 2)p + 1}{(\tau^2 / 12)p^2 + (\tau / 2)p + 1} \quad (1)$$

При използване на този вид апроксимация амплитудната грешка е нулева, а фазовата - $\Delta\varphi$ е минимална (ω - кръгова честота):

$$\Delta\varphi = -\omega\tau + 2\arctg\left(\frac{\omega\tau / 2}{1 - \omega^2\tau^2 / 12}\right) \quad (2)$$

От направеното изложение може да се констатира, че проблемът се свежда до проектирането на биквадратно звено, чиято предавателна функция максимално се приближава до искомата (1).

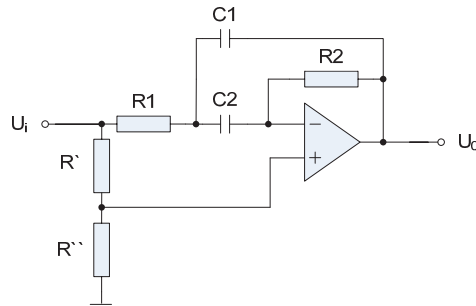
ИЗЛОЖЕНИЕ

Формулираният по-горе проблем е решен с помощта на активен биквадратен филтър по схемата на Deliyannis [1]. Принципната схема на еднозвения филтър, изграден с операционен усилвател (ОУ) е представена на фиг. 1.

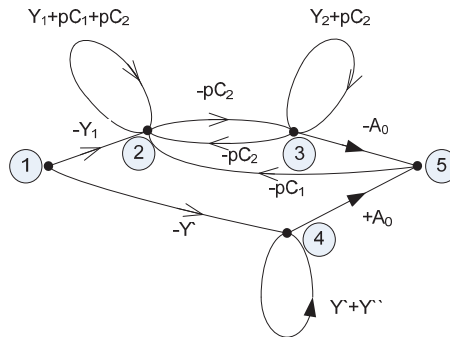
Съответстващият на фиг. 1 сигнален U-граф на Coates е представен на фиг. 2, като граф - дърво спрямо входния възел-корен ($U_i = U_1; U_0 = U_5$). В дървото са включени и два унисторни клона моделиращи ОУ [2] с тегловни коефициенти $-A_0$ и $+A_0$ съответно.

Изхождайки от презумпцията, че $A_0 = A_{dd} > 10^5$ (A_{dd} е диференциалния коефициент на усилване на ОУ), след тривиални алгебрични преобразувания получаваме при $A_0 \rightarrow \infty$ за предавателния коефициент $W(p)$ на филтъра:

$$W(p) \equiv T_{s1}(p) = - \left(\frac{R'}{R' + R''} \right) \left[\frac{p^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + p(C_2 R_1 + C_1 R_1 - C_2 R_2 R' / R'') + 1}{p^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + p R_1 (C_2 + C_1) + 1} \right] \quad (3)$$



Фиг. 1. Биквадратен филтър по схемата на Deliyannis.



Фиг. 2. Унисторен U-граф на Coates за филтъра по схемата на Deliyannis

От зависимост (3) следва, че предавателната функция на филтъра $W(p)$ е тъждествено равна на $T_{s1}(p)$ -еквивалентния тегловен коефициент от входния възел /корена на дървото/ до изходния възел.

За да се получи съответствие между (1) и (3), т.е. за да може да работи биквадратният филтър като закъснително звено е необходимо да се изпълни равенството (4):

$$C_2 R_1 + C_1 R_1 - C_2 R_2 R' / R'' = -R_1 (C_2 + C_1), \quad (4)$$

от където получаваме аналитичния израз за отношението R' / R'' :

$$R' / R'' = 2(1 + C_1 / C_2)(R_1 / R_2) \quad (5)$$

Когато е изпълнена релацията (5), предавателният коефициент се представя във вида:

$$W(p) = - \left(\frac{R'}{R' + R''} \right) \left[\frac{p^2 C_1 C_2 R_1 R_2 - p R_1 (C_2 + C_1) + 1}{p^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + p R_1 (C_2 + C_1) + 1} \right] \quad (6)$$

В този случай, ако приемем за улеснение, че $C_2 = C_1 = C_0$ получаваме следните аналитични съотношения:

$$\begin{cases} \tau = 4R_1 C_0 = 3R_2 C_0 \\ R_1 = (3/4)R_2 \\ R' / R'' = 4(R_1 / R_2) = 3 \end{cases} \quad (7)$$

Максимално допустимите стойности на R_1 и R_2 зависят от вида на използвания ОУ [3]; при $\mu A741$ например: $R_2^{\max} = 1,2 \text{ M}\Omega$, $R_1^{\max} = 0,9 \text{ M}\Omega$.

Понеже се налага да използваме неелектролитни кондензатори, при зададен типов номинал $C_0 = 1\mu F$ и фиксирани стойности $R' = 0,3 \text{ M}\Omega$, $R'' = 0,1 \text{ M}\Omega$ от (7) получаваме за максималното закъснение: $\tau^{\max} = 3,6 \text{ s}$.

Очевидно е, че за получаването на по-големи закъснения следва да се свържат каскадно 3-4 закъснителни звена или да се увеличи значително C_0 . Последното обаче не е твърде желателно от технологични съображения, понеже ще се увеличат значително теглото и обема на проектираните устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Топологичният анализ по метода на U-графите доказва възможността за преобразуване на биквадратния филтър на Deliyannis в закъснително звено и позволява да се направят следните изводи:

1. Изведеното условие (5) показва как може да се трансформира филтъра на Deliyannis в закъснително звено с апроксимация от втори ред по Pade;
2. Получен е аналитичният израз на предавателния коефициент на звеното (6);
3. Зависимост (7) позволява точно пресмятане на закъснението.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Леви А., А. Манукова-Маринова. Теория на електронните схеми. Русе: Изд. на РУ „А.Кънчев”, 2014г.
- [2] Rost A. Grundlagen der Elektronik. Berlin: Akademie Verlag, 1996.
- [3] Naundorf U. Analoge Elektronik. Heidelberg: Huthig GmbH & Co KG, 2008.

За контакти:

Доц. д-р Аврам Леви, Катедра “Електроника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 365, e-mail: alevi@ecs.uni-ruse.bg

Гл. ас. д-р Снежинка Захариева, Катедра “Електроника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 516, e-mail: szaharieva@ecs.uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.