

Р. М. Модла¹, В. М. Ванько¹, В. М. Бритковський², О. М. Сорочинський³

¹Національний університет “Львівська політехніка,”

кафедра комп’ютеризованих систем автоматики,

²кафедра експлуатації та ремонту автомобільної техніки

³Українська академія друкарства,

кафедра автоматизації та комп’ютерних технологій

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНИХ ДЕМОДУЛЯТОРІВ З ПОМНОЖЕННЯМ ЧАСТОТИ

© Модла Р. М., Ванько В. М., Бритковський В. М., Сорочинський О. М., 2018

Розроблено методику визначення часу перехідного процесу усереднювальних частотних демодуляторів з помноженням частоти за нелінійного характеру заряду і розряду конденсатора ФНЧ. Отримано вирази для визначення часу перехідного процесу за стрибкоподібного збільшення та зменшення вхідної частоти демодулятори. Наведено залежності, які дають змогу оцінити зміну швидкодії частотних демодуляторів у разі збільшення коефіцієнта помноження частоти та різних коефіцієнтів регулювання частоти.

Ключові слова: динамічні характеристики, частотний демодулятор, помноження частоти.

A method of determining the time of the transition process of averaging frequency demodulators with frequency multiplication with nonlinear character of charge and discharge of the LPF capacitor is developed. Obtained dependencies for determining the transition time during a jump-like increase and a decrease of the demodulators input frequency. The dependencies are presented which allow to estimate change of frequency demodulators response rate at increase of factor of frequency multiplication and various coefficients of regulation of frequency.

Key words: dynamic characteristics, frequency demodulator, frequency multiplication.

Вступ

Метрологічні характеристики частотних демодуляторів (ЧДМ) визначаються похибкою перетворення, швидкодією та завадостійкістю. Завадостійкість визначається співвідношенням смуг пропускання вхідного смугового фільтра і вихідного фільтра нижніх частот (ФНЧ) частотного демодулятора [1]. Похибка системи з частотним розділенням каналів (ЧРК) менше ніж 0,2 % досягається за співвідношення сигнал/шум за напругою, що дорівнює 3. Існуючі методи отримання такої похибки для частотних демодуляторів з усередненням приводять до зниження їх швидкодії. Це викликає зменшення смуги пропускання ФНЧ і обмежує можливість отримання оптимальних значень систем з ЧРК.

Похибки роботи та стабільність функції перетворення ЧДМ з усередненням визначаються переважно параметрами формувача імпульсів постійної вольт-секундної площі і пристрою усереднення (рис. 1). Крім ФНЧ, використовуються і швидкодіючі усереднювальні пристрої на основі інтегратора з запам’ятовувачим зворотним зв’язком, які забезпечують високу статичну точність, але характеризуються невисокою швидкодією з розширенням діапазону зміни вхідної частоти ЧДМ [2].

У [3] наведено аналіз похибки від пульсацій на виході ЧДМ з ФНЧ першого порядку і подвоєнням частоти дозованих імпульсів. Приймають, що перезаряджання конденсатора здійснюється за лінійним законом. З розширенням діапазону зміни вхідної частоти ЧДМ таке

припущення суттєво впливає на правильність оцінки похибки від пульсацій вихідної напруги та швидкодії. Не висвітлюються важливі питання впливу коефіцієнта множення частоти p на швидкодію ЧДМ.

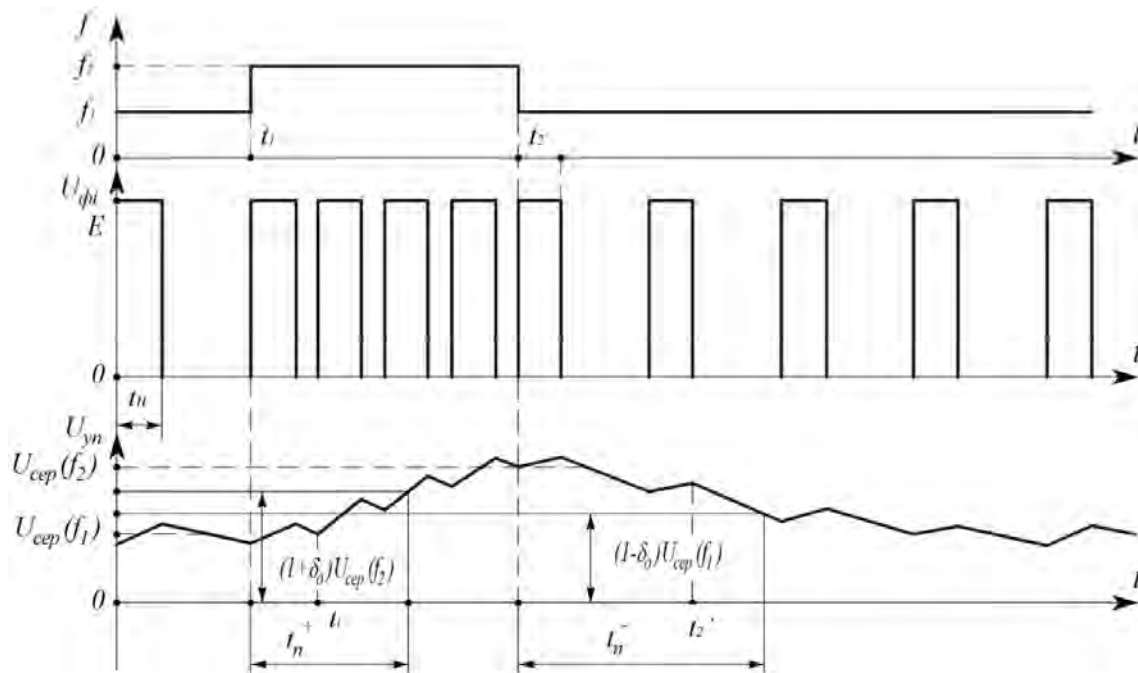


Рис. 1. Параметри формувача імпульсів постійної вольт-секундної площі та пристрою усереднення

Формулювання мети статті

Розроблення методики визначення динамічних характеристик частотних демодуляторів з помноженням частоти та врахуванням нелінійного характеру перезаряджання конденсатора ФНЧ першого порядку.

Визначення динамічних характеристик ЧДМ з помноженням частоти

Для оцінки динамічних властивостей ЧДМ будемо використовувати час встановлення вихідного сигналу з допустимою похибкою за стрибкоподібною зміни вхідної частоти.

При перетворенні частотними модуляторами вхідних імпульсних сигналів їх вихідна частота (вихідна частота ЧДМ) змінюється стрибкоподібно від f_1 до f_2 у момент часу t_1 і від f_2 до f_1 – у момент часу t_2 (рис. 1). Використання прийнятої в [2] методики визначення швидкодії ЧДМ за кількістю тактів m , необхідних для встановлення вихідного сигналу із заданою похибкою δ_0 , ефективне для оцінки максимальної швидкодії за зміни частоти від f_{min} до f_{max} . Однак методика ускладнює порівняння параметрів перехідних процесів, оскільки у разі зміни частоти від f_1 до f_2 кількість тактів m^+ відповідає періодам частоти f_2 , а за зміни частоти від f_2 до f_1 вона відповідає періодам частоти f_1 . Тому в роботі запропоновано характеризувати швидкодію ЧДМ часом встановлення вихідного сигналу за збільшення частоти

$$t_n^+ = m^+ T_2 = \frac{T_1 m^+}{d}, \quad (1)$$

зі зменшенням частоти

$$t_n^- = m^- T_1, \quad (2)$$

де $T_1 = f_1^{-1}$, $T_2 = f_2^{-1}$, $d = \frac{f_2}{f_{min}}$ – коефіцієнт регулювання частоти, f_{min} – мінімальне значення вхідної частоти ЧДМ.

На підставі цього, визначаючи швидкодію ЧДМ з ФНЧ першого порядку, досліджуватимемо процес встановлення вихідної напруги за стрибкоподібною зміни вхідної частоти. Залежно від моменту t_1 появи стрибка частоти від f_1 до f_2 , частота, що відповідає першому періоду, набуде проміжного значення $f_1 < f_{np}^+ \leq f_2$ (на рис. 1 показано випадок, коли $f_{np} = f_2$). З огляду на це вихідну напругу заряду і розряду конденсатора ФНЧ подамо у вигляді

$$\begin{aligned} U_{\text{з1}} &= E(1-a) + aU_0(f_1), \\ U_{\text{р1}} &= [E(1-a) + aU_0(f_1)]b(f_{np}^+), \end{aligned} \quad (3)$$

де $U_0(f_1) = U_{cp}(f_1) + sU_n(f_1)$ – початкове значення вихідної напруги ФНЧ; $U_{cp}(f_1) = E \cdot f_1 \cdot t_u$ – середнє значення напруги на виході ФНЧ, $s \in [-1, 1]$ – коефіцієнт, що враховує несинхронність стрибкоподібною зміни частоти і вихідного сигналу ФНЧ (на рис. 2 показано випадок, коли $s = -1$ в момент часу t_1); $U_n(f_1)$ – амплітуда напруги пульсацій вихідної напруги ФНЧ; E , t_u – відповідно амплітуда і

тривалість дозування імпульсів формувача імпульсів, $a = \exp(-\frac{t_u}{t})$, $b(f_{np}^+) = \exp[\frac{t_u - \frac{1}{f_{np}^+}}{t}]$, t – стала часу ФНЧ.

Для другого періоду, з урахуванням того, що заряд конденсатора ФНЧ здійснюється починаючи від напруги $U_{\text{р1}}$, отримаємо

$$\begin{aligned} U_{\text{з2}} &= E(1-a) + aU_{\text{р1}}, \\ U_{\text{р2}} &= [E(1-a) + aU_{\text{р1}}]b(f_2). \end{aligned} \quad (4)$$

Продовжуючи аналогічно, для m -го періоду запишемо

$$\begin{aligned} U_{\text{зм}} &= E(1-a) \sum_{l=2}^m [ab(f_2)]^{l-2} + a^{m-1} [b(f_2)]^{m-2} U_{\text{р1}}, \\ U_{\text{рм}} &= [E(1-a)b(f_2) \sum_{l=2}^m [ab(f_2)]^{l-2} + [ab(f_2)]^{m-1} U_{\text{р1}}]. \end{aligned} \quad (5)$$

З урахуванням того, що виділення постійної складової здійснюється за виконання умови $ab(f_2) = \exp(-\frac{1}{f_2 t}) < 1$, вираз (5) спроститься:

$$\begin{aligned} U_{\text{зм}} &= E(1-a) \frac{1 - [ab(f_2)]^{m-1}}{1 - ab(f_2)} + a^{m-1} [b(f_2)]^{m-2} U_{\text{р1}}, \\ U_{\text{рм}} &= [E(1-a)b(f_2) \frac{1 - [ab(f_2)]^{m-1}}{1 - ab(f_2)} + [ab(f_2)]^{m-1} U_{\text{р1}}]. \end{aligned} \quad (6)$$

де $m = \overline{2; \infty}$.

На підставі (1), (2) і (6) швидкодію ЧДМ з ФНЧ першого порядку в разі стрибкоподібною зміни вхідної частоти від f_1 до f_2 подамо у вигляді

$$t_n^+ = \frac{T_1}{d} + \frac{T_1 \ln \left(\frac{(1-d_\theta)U_{cp}(f_2) - Q(f_2)}{\frac{U_{\text{р1}}(f_{np}^+)}{b(f_2)} - Q(f_2)} \right)}{d \ln ab(f_2)}, \quad (7)$$

у разі зміни частоти від f_2 до f_1 відповідно

$$t_n^- = T_1 + \frac{T_1 \ln \left(\frac{(1+d_o)U_{cep}(f_1) - Q(f_1)}{b(f_1)} \cdot \frac{U_{p1}(f_{np}^-) - Q(f_1)}{b(f_1)} \right)}{\ln ab(f_1)}, \quad (8)$$

де $Q(f) = \frac{E(1-a)}{1-ab(f)}$, f^- – значення частоти після її стрибкоподібної зміни, $f_{np}^- \in [f_1, f_2]$.

Використовуючи отримані вирази, визначимо швидкодію ЧДМ множенням частоти дозованих імпульсів у разі її зміни від $f_1 = f_{min}$ до f_2 ,

$$t_n^+ = \frac{T_{max}}{d} - gT_{max} \ln \frac{(1-d_o) \frac{md}{d_{max}} - \frac{1 - \exp\left(-\frac{m}{gpd_{max}}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{1}{gp}\right)}}{\frac{U_{p1}(f_{np}^+)}{E} \exp\left(\frac{\frac{1}{d} - \frac{1}{d_{max}}}{gp}\right) - \frac{1 - \exp\left(-\frac{m}{gpd_{max}}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{1}{gp}\right)}}, \quad (9)$$

і за зміни частоти від f_2 до f_{min}

$$t_n^- = T_{max} - gT_{max} \ln \frac{(1+d_o) \frac{m}{d_{max}} \exp\left(\frac{1 - \frac{m}{d_{max}}}{gp}\right) - \frac{1 - \exp\left(-\frac{m}{gpd_{max}}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{1}{gp}\right)}}{\frac{U_{p1}(f_{np}^-)}{E} \exp\left(\frac{1 - \frac{m}{d_{max}}}{gp}\right) - \frac{1 - \exp\left(-\frac{m}{gpd_{max}}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{1}{gp}\right)}}, \quad (10)$$

де $d_{max} = \frac{f_{max}}{f_{min}}$ – максимальне значення коефіцієнта регулювання частоти; $g = \frac{t}{f_{min}}$ – відносна

стала часу ФНЧ; $m = t \cdot f_{min}$ – відносна тривалість дозованих імпульсів.

На підставі (9) і (10) побудовано залежності часу перехідного процесу t_n^+ і t_n^- від стрибка вхідної частоти за різних значень коефіцієнта множення частоти (рис. 2).

Якщо $P = 3$, спостерігається приблизна рівність t_n^+ і t_n^- , а з подальшим збільшенням $P = 16$ час встановлення вихідного сигналу за зростання частоти t_n^+ стає меншим від t_n^- . З розрахунків, виконаних на підставі (9) і (10), випливає, що у разі зменшення максимального коефіцієнта регулювання частоти d_{max} і відносної тривалості μ дозованих імпульсів рівність $t_n^+ = t_n^-$ справджується за великих значень коефіцієнта множення частоти p . Отже, можливе вирівнювання фронтів вихідних імпульсних сигналів ЧДМ, що спрощує апаратуру подальшого опрацювання.

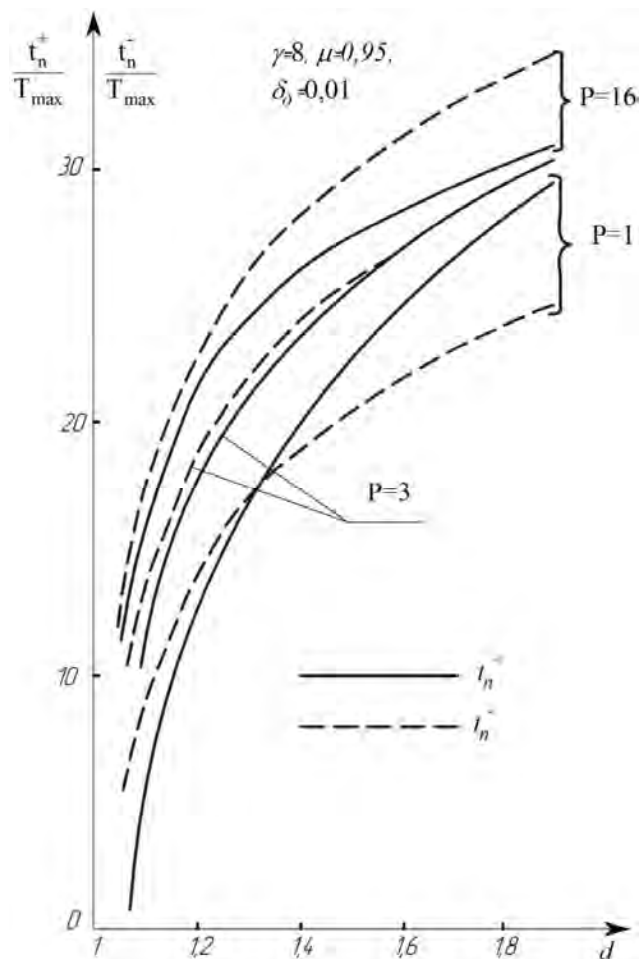


Рис. 2. Залежності часу перехідного процесу t_n^+ і t_n^- від стрибка вхідної частоти за різних значень коефіцієнта множення частоти

Введення процедури множення частоти дозованих імпульсів призводить до деякого погіршення швидкодії ЧДМ, яке можна оцінити за формулами (9) і (10). Відношення часу перехідного процесу ЧДМ із множенням і без множення частоти зменшується зі збільшенням відносної сталої часу ФНЧ γ , коефіцієнта множення частоти p , максимального коефіцієнта регулювання частоти d_{max} і відносної тривалості дозованих імпульсів μ . Наприклад, для значень $d_0 = 0,01$, $m = 0,95$, $t_{max} = 1,9$ стрибка частоти $d = 1,2$ і $g = 2$ відношення інтервалу часу встановлення вихідного сигналу ЧДМ t_n^+ , якщо $P=12$ і $P=1$, становить 6, а якщо $g = 8$, воно зменшується до 1,6.

Висновки

Розроблена методика визначення часу перехідного процесу усереднювальних частотних демодуляторів з помноженням частоти за нелінійного характеру заряджання і розряджання конденсатора ФНЧ. Вказана методика дає змогу оцінити зменшення швидкодії частотних демодуляторів у разі збільшення коефіцієнта помноження частоти та різних коефіцієнтів регулювання частоти демодулятора.

1. Модла Р. М. Методика оптимізації метрологічних характеристик телекомунікаційних систем // Комп'ютерні технології друкарства. зб. наук. праць. 2006. № 16. С.297–300.
2. Модла Р. Н. Методика определения параметров адаптивных частотных демодуляторов // Космическая наука и техника. 1990. № 5. С. 96–102.
3. Гольденберг Л. М. Импульсные и цифровые устройства. М.: Связь, 1973. 496 с.