

Лекція 10. Перетворення фази та частоти в код

Перетворювач фаза-код

У даних перетворювачах як вхідна величина, що підлягає перетворенню, береться різниця фаз двох сигналів, тобто зсув одного сигналу щодо іншого:

$$\psi(t) = \varphi_{\text{вх}}(t) - \varphi_0(t) \quad (3.20)$$

де $\varphi_0(t)$ – фаза опорного сигналу;

$\varphi_{\text{вх}}(t)$ – фаза вхідного сигналу, для якого визначається зсув фаз.

Найбільше часто вхідний $U_1(t)$ й опорний $U_0(t)$ сигнали мають однакову частоту й синусоїдальну форму, але в деяких випадках ці обмеження не є обов'язковими.

Перетворення фази в цифровий код зводиться до перетворення зсуву фаз ψ у часовий інтервал T_x , що потім перетворюється в цифровий код одним з відомих методів.

На рис. 3.10 наведена структурна схема цифрового фазометра – приладу для вимірювання зсуву фаз між двома синусоїдальними сигналами із частотою $f = \frac{1}{T}$, а на рис. 3.11 наведені часові діаграми його роботи.

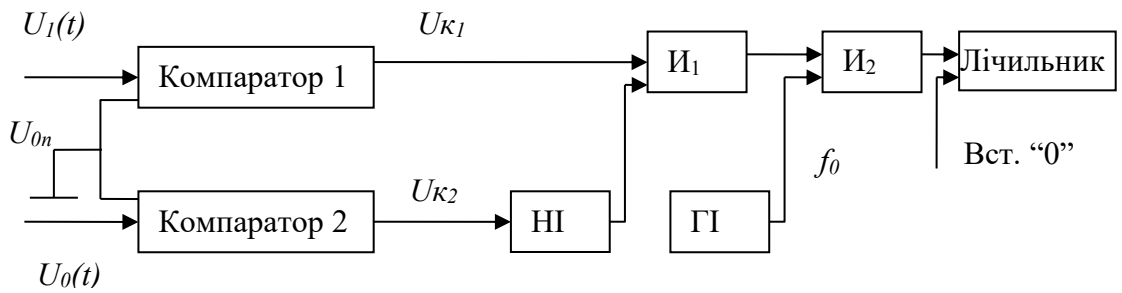


Рис. 3.10

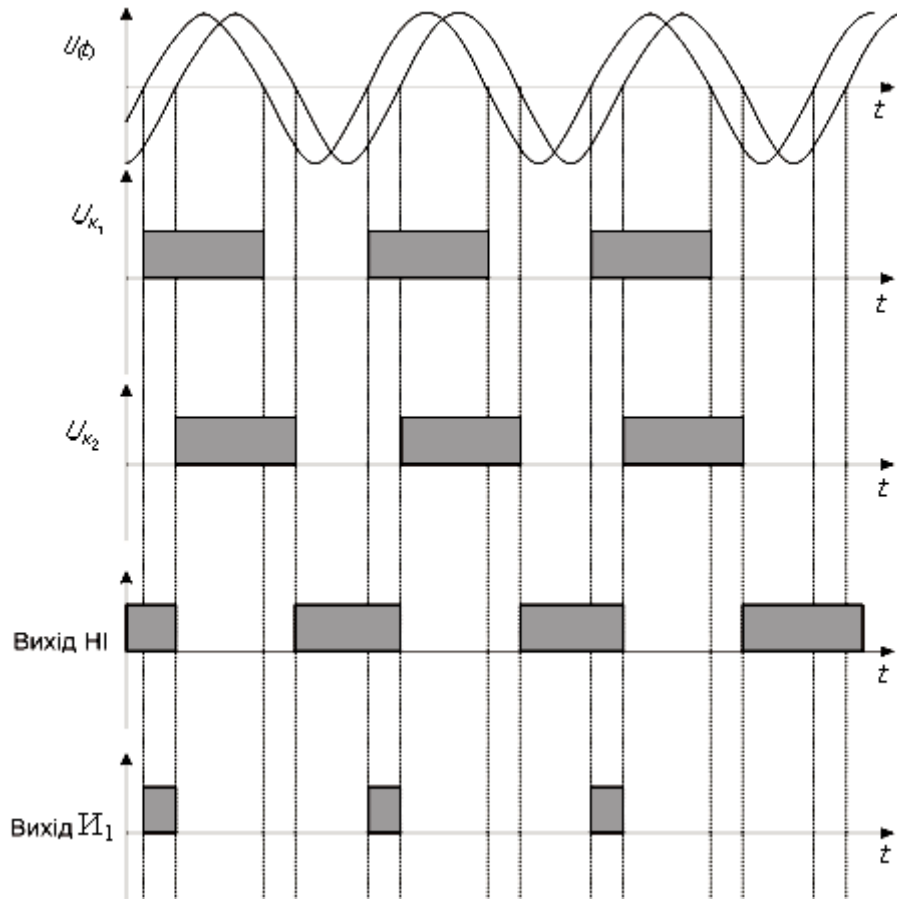


Рис. 3.11

Вхідні сигнали $U_1(t)$ й $U_0(t)$ надходять на входи компараторів, які виробляють імпульси U_{k1} й U_{k2} у моменти переходу через нуль вхідних сигналів. Імпульси U_{k2} інвертуються інвертором ІІ й надходять на один із входів елемента $І_1$, на другий вхід якого надходять імпульси U_{k1} . На виході елемента $І_1$ формуються імпульси із тривалістю T_x (рис. 3.11). Ці імпульси відкривають елемент $І_2$, через який починають проходити імпульси ГІ на вхід лічильника

імпульсів. Таким чином часові інтервали T_x перетворюються в цифровий код.

При цьому
$$T_x = N \cdot \tau = \frac{N}{f_0} \quad (3.21)$$

де N – число імпульсів ГІ, що надійшли на вхід лічильника;
 f_0 – частота імпульсів ГІ.

Як відомо
$$\psi_x = 2\pi f \cdot T_x, \quad (3.22)$$

де ψ_x – вимірюваний зсув фаз; f_0, f – частота опорного й вхідного сигналу.

З (3.21) і (3.22) випливає, що

$$\psi_x = N \cdot 2\pi \frac{f}{f_0}. \quad (3.23)$$

На точність перетворення зсуву фаз в цифровий код впливає наявність завад у вхідному сигналі, головними з яких є вищі гармонійні складові. Вплив цих завад може бути зменшено, якщо вимірювати зсув фаз двічі: спочатку при проході через нуль обох вхідних сигналів в одному напрямку, а потім – в іншому. Тоді отриманий інтервал часу T_x буде дорівнювати півсумі двох отриманих часових інтервалів.

3.5. Перетворення частоти в код

Одним із способів перетворення частоти в код буде підрахунок періодів вимірюваної частоти f_x , що розміщуються на фіксованому часовому інтервалі T_ϕ .

На рис. 3.12 наведена структурна схема, що реалізує даний спосіб вимірювання частоти f_x .

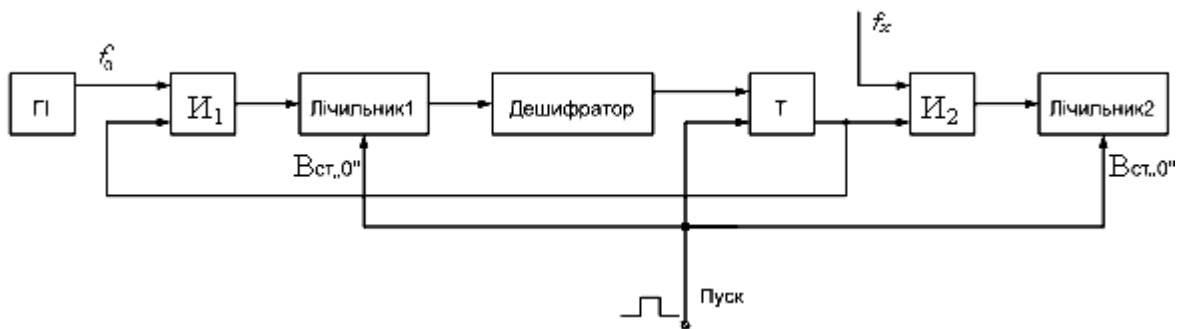


Рис. 3.12

Керуючий імпульс “Пуск” (старт-імпульс) встановлює лічильник 1 і лічильник 2 у нульові стани, а також перемикає тригер T у одиничний стан, після чого вихідна напруга тригера T є дозволеного для елементів I_1 і I_2 . Після цього імпульси високостабільного генератора $\Gamma 1$ проходять через I_1 і надходять на лічильний вхід лічильника 1. В цей же час імпульси вимірюваної частоти f_x проходять через елемент I_2 і надходять на вхід лічильника 2. За допомогою лічильника 1 і дешифратора формується зразковий часовий інтервал T_ϕ :

$$T_\phi = N \cdot \tau_0,$$

(3.24)

де τ_0 – період імпульсів ГІ; N – число імпульсів ГІ, що надійшли на вхід лічильника 1.

N -й імпульс генератора ГІ з'являється на виході дешифратора (стоп – імпульс) і перемикає тригер T у нульовий стан. Елементи I_1 і I_2 закриваються, процес перетворення – закінчений. У лічильнику 2 буде зафіксовано число імпульсів N_x невідомої частоти f_x , що надійшли на його вхід за час T_ϕ .

Як впливає з рівняння (3.5)

$$T_\phi = N_x \cdot \tau_x - \Delta t_1 + \Delta t_2, \quad (3.25)$$

де τ_x – період проходження невідомої частоти f_x .

З (3.24) і (3.25) впливає

$$N \cdot \tau_0 = N_x \cdot \tau_x - \Delta t_1 + \Delta t_2,$$

звідси

$$\tau_x = \frac{N \cdot \tau_0 + \Delta t_1 - \Delta t_2}{N_x}$$

(3.26)

Замінивши в (3.26) $\tau_x = \frac{1}{f_x}$ і $\tau_0 = \frac{1}{f_0}$, одержимо

$$f_x = \frac{f_0 \cdot N_x}{N + f_0(\Delta t_1 - \Delta t_2)} \quad (3.27)$$

З рівняння (3.27) випливає, що похибка виміру f_x великою мірою залежить від похибок Δt_1 і Δt_2 , обумовлених невизначеністю в розташуванні старт- і стоп-імпульсів щодо імпульсів вимірюваної частоти f_x , тобто ця похибка виникає через те, що крім цілого числа періодів частоти f_x в інтервал T_ϕ буде також входити й невимірювана частина періоду τ_x .

Похибку Δt_1 можна усунути шляхом синхронізації старт-імпульсу з імпульсами f_x , а похибку Δt_2 можна значно зменшити, використовуючи метод затриманих збігів або метод електронного ноніуса.

На рис. 3.13 наведена структурна схема перетворювача частоти в цифровий код з використанням методу затриманих збігів і із синхронізацією старт-імпульсу.

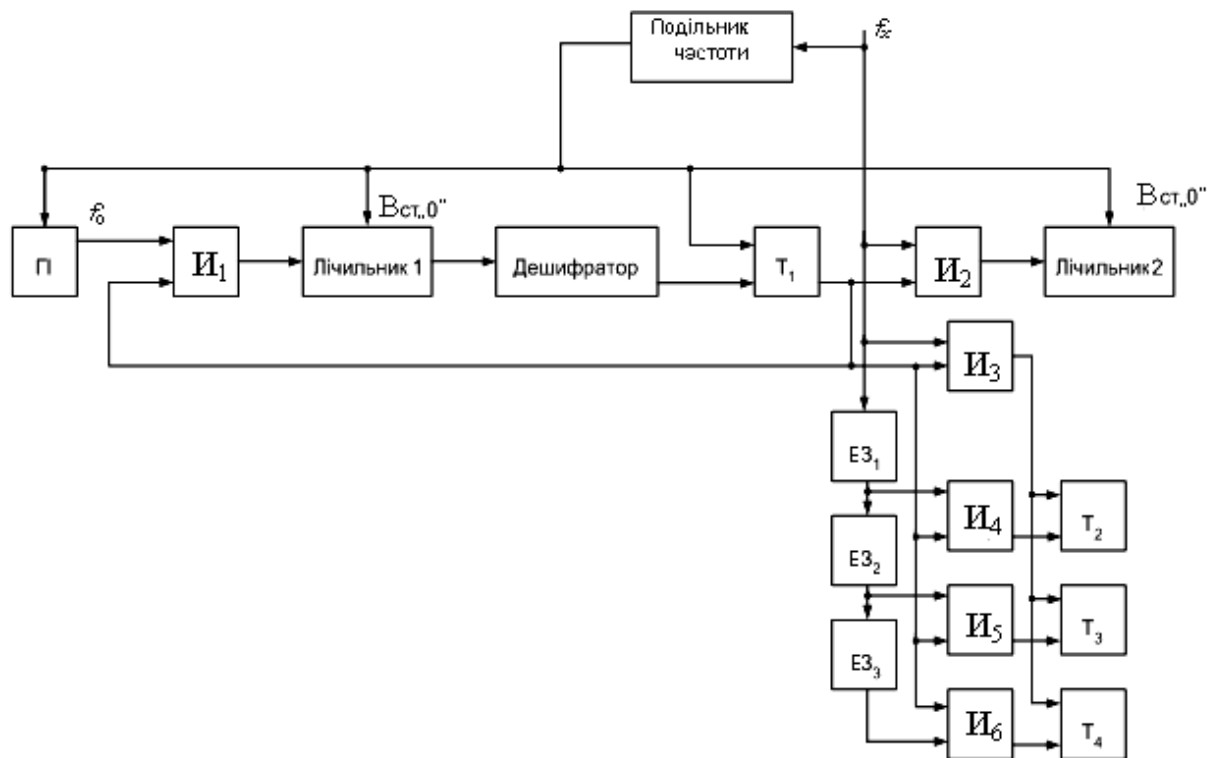


Рис. 3.13

Вимірювана частота f_x надходить на подільник частоти, що виробляє старт-імпульси, що збігаються за часом з кожним N_D імпульсом f_x . При цьому коефіцієнт розподілу дільника повинен бути таким, щоб

$$N_D > N_x$$

Старт-імпульс встановлює в нульові стани лічильник імпульсів 1, лічильник 2, а також перемикає в одиничний стан тригер T_1 і запускає генератор ударного збудження ГІ. Після цього генератор ГІ починає генерувати імпульси, які проходять через відкритий елемент I_1 і надходять на рахунковий вхід лічильника 1, а імпульси вимірюваної частоти f_x проходять через елемент I_2 і надходять на рахунковий вхід лічильника 2. Крім цього імпульси f_x проходять через ряд послідовно включених елементів затримок і перемикають в одиничні стани додаткові тригери T_2, T_3, T_4 .

За допомогою лічильника 1 і дешифратора формується зразковий інтервал часу T_ϕ (рис. 3.13). N -й імпульс, що з'являється на виході дешифратора (стоп-імпульс), перемикає тригер T_1 у нульовий стан, після чого всі елементи I закриваються, і процес виміру f_x – закінчений.

Залежно від похибки Δt_2 буде змінюватися число додаткових тригерів, що перебувають в одиничному стані. Додаткові тригери ніби утворюють додаткові розряди лічильника 2 і дозволяють у 2^k

разів знизити похибку Δt_2 . Число елементів затримок вибирається $2^k - 1$, а кожен ЕЗ має затримку $\tau / 2^k$ (на рис. 3.13 наведено випадок $k = 2$).

В ідеальному випадку, якщо $\Delta t_1 = 0$ і $\Delta t_2 = 0$, то

$$f_x = f_0 \frac{N_x}{N}.$$

(3.28)

З (3.28) випливає, що максимальна похибка буде при перетворенні мінімального значення частоти $f_{x \min}$, тобто чим нижче f_x , тим буде меншим N_x , а отже, буде більшою похибка. Якщо максимальна похибка перетворення не повинна перевищувати величини δ_{\max} , то необхідно вибрати зразковий інтервал

$$T_{\Phi} \geq \frac{1}{\delta_{\max} \cdot f_{x \min}}.$$

(3.29)

Підвищення точності перетворення частоти в код можна домогтися також використанням множника частоти f_x в задане число раз. При цьому множник частоти повинен мати постійний для всіх частот коефіцієнт множення й повинен мати високу швидкодію. Створення такого множника є непростим завданням.