

Лекція 9. Перетворювачі інтервалу часу в цифровий код

У багатьох випадках сигнал, що надходить із виходу первинних вимірювальних перетворювачів, подається у вигляді інтервалів часу. Крім того, що перетворювачі інтервалу часу в код застосовуються як самостійні пристрої, вони широко використовуються як складова частина датчиків, що призначена для перетворення переміщень у код, напруги у код, частоти й фази в код. У цих датчиках створюється подвійне перетворення: перше – проміжне, при якому вхідна аналогова (лінійне або кутове переміщення, фаза, частота й т.д.) перетвориться в часовий інтервал, друге – (аналого-цифрове) при якому часовий інтервал перетвориться в код.

Для перетворення інтервалу часу, розташованого між старт- і стоп-імпульсами, використовується класичний метод послідовної лічби, при якому вимірюваний інтервал часу заповнюється імпульсами генератора стабільної частоти. Величина інтервалу визначається шляхом підрахунку кількості імпульсів, що укладаються в цьому інтервалі часу. На рис. 3.3. наведена структурна схема такого перетворювача, а на рис. 3.4. наведені часові діаграми, що пояснюють його роботу.

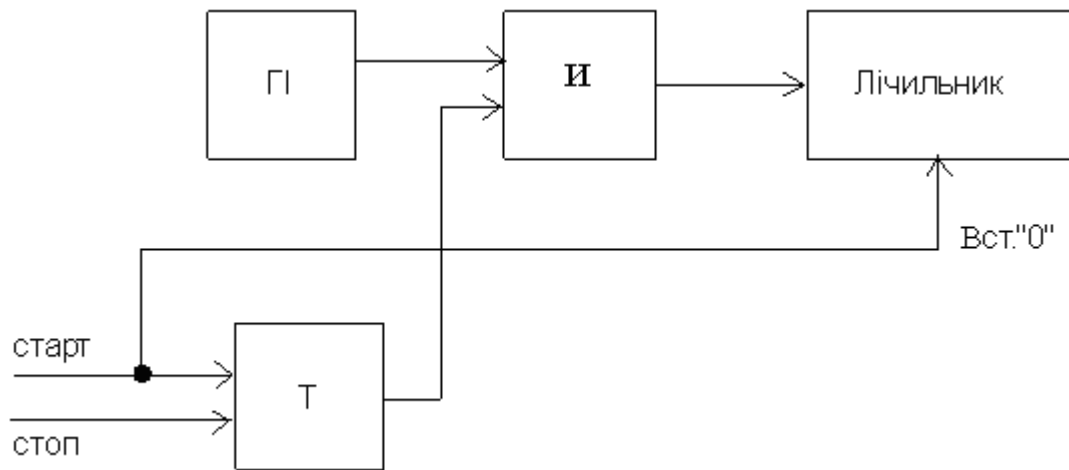


Рис. 3.3.

Вимірюваний часовий інтервал T_x укладений між старт- і стоп-імпульсами (рис. 3.4).

Старт-імпульс надходить на вхід тригера T і перемикає його в одиничний стан. Крім цього старт-імпульс надходить на лічильник імпульсів і встановлює його в нульовий стан. Одиничний вихід тригера T є розв'язним для логічного елемента $И$, і тому імпульси з генератора імпульсів стабільної частоти $ГІ$ проходять через елемент $И$ і надходять на рахунковий вхід лічильника.

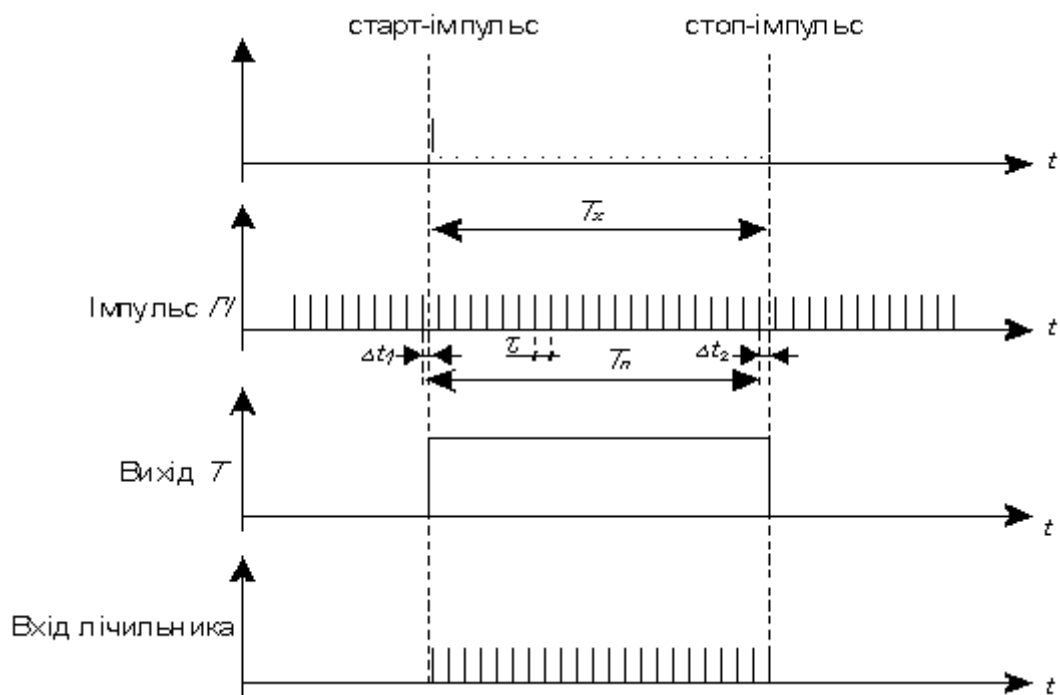


Рис. 3.4.

Стоп - імпульс перемикає тригер T у нульовий стан, після чого елемент $И$ перестає пропускати імпульси $ГІ$ на вхід лічильника. На цьому процес перетворення закінчується. У лічильнику встановлюється двійковий код, який дорівнює сумі імпульсів, що пройшли через елемент $И$. Показання лічильника буде пропорційне величині вимірюваного інтервалу часу T_n (рис. 3.4):

$$T_n = N \cdot \tau, \quad (3.3)$$

де N – кількість повних періодів імпульсів, що надійшли на вхід лічильника; τ – період імпульсів $ГІ$

У загальному випадку через вплив похибок $T_x \neq T_n$.

Зробимо аналіз похибок, що виникають при перетворенні часового інтервалу T_x у код.

Як видно з діаграм (рис. 3.4) дійсне значення вимірюваного інтервалу

$$T_x = T_n - \Delta t_1 + \Delta t_2, \quad (3.4)$$

або

$$T_x = N \cdot \tau - \Delta t_1 + \Delta t_2, \quad (3.5)$$

$$T_x = N \cdot \tau - \Delta t_m, \quad (3.6)$$

де $\Delta t_m = -\Delta t_1 + \Delta t_2$ – сумарна похибка вимірювання (похибка квантування)

Звідси слідує, що похибка вимірювання часового інтервалу T_x виникає через невизначеність розташування старт і стоп-імпульсів щодо імпульсів генератора Γ .

Очевидно, що старт- і стоп-імпульси можуть бути розташовані в будь-якому місці між двома сусідніми імпульсами Γ .

Невизначеність у розташуванні старт- і стоп-імпульсів щодо імпульсів Γ створює дві похибки при вимірі часового інтервалу T_x . Перша з них Δt_1 (рис. 3.4) – негативна, тому що вимірюваний часовий інтервал T_n більше дійсного T_x , а друга – Δt_2 позитивна, тому що через неї вимірюваний часовий інтервал виходить менше T_x .

З (3.6) випливає, що максимальна сумарна похибка Δt_m у перетворенні часового інтервалу виходить, коли одна з похибок (Δt_1 або Δt_2) дорівнює нулю, а друга має максимальне значення рівне τ . У цьому випадку абсолютна максимальна похибка перетворення дорівнює

$$\Delta t_m = \pm \tau. \quad (3.7)$$

Відносна результуюча гранична похибка

$$\delta_m = \pm \frac{\Delta t_m}{T_n} = \pm \frac{\tau}{N\tau} = \pm \frac{1}{N} \quad (3.8)$$

Для обох похибок Δt_1 і Δt_2 має місце прямокутний закон розподілу часу приходу старт- і стоп-імпульсів щодо імпульсів ГІ, що відповідає рівній імовірності приходу цих імпульсів у будь-який момент часу між двома сусідніми імпульсами ГІ.

Сумарний закон розподілу Δt_m являє собою композицію двох однакових законів розподілу похибок Δt_1 і Δt_2 з урахуванням їхніх різних знаків. Цей сумарний закон розподілу має вигляд рівнобедреного трикутника, що має висоту $1/\tau$ й підставу 2τ . Такий закон називають розподілом Симпсона.

Для зменшення похибки Δt_m необхідно збільшити частоту ГІ, тобто зменшити τ . Максимальне значення частоти ГІ обмежується швидкодією молодших розрядів лічильника імпульсів. На похибку перетворення великий вплив має стабільність частоти генератора ГІ.

Для ліквідації похибок Δt_1 і Δt_2 при перетворенні часового інтервалу в цифровий код необхідна синхронізація старт- і стоп-імпульсів з імпульсами ГІ. Очевидно, що синхронізація стоп-імпульсу з імпульсами ГІ в принципі – неможлива, тому що в цьому випадку тривалість вимірюваного часового інтервалу T_x не могла б бути довільною. Синхронізація старт - імпульсу з імпульсами ГІ можлива, якщо це дозволяє умова застосування АЦП у даному об'єкті.

На рис. 3.5. наведена структурна схема перетворювача часового інтервалу в цифровий код із синхронізацією старт-імпульсу з імпульсами ГІ.

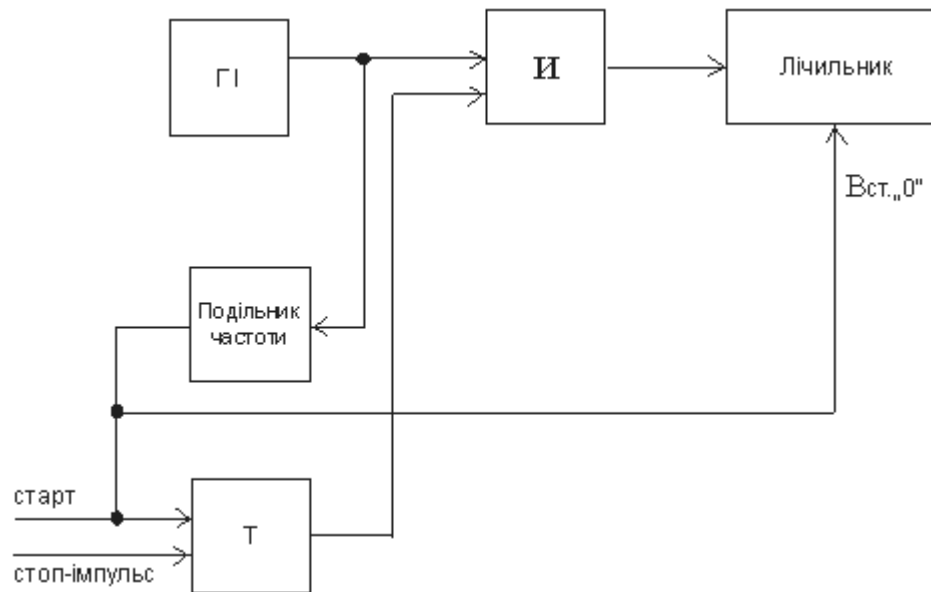


Рис. 3.5

Імпульси ГІ надходять на дільник частоти, що має відповідний коефіцієнт розподілу. Імпульси з виходу дільника співпадають у часі з відповідними імпульсами ГІ й використовуються як старт-імпульси. В іншому випадку схема, що наведена на рис. 3.5, функціонує так само, як і схема, що наведена на рис. 3.3. Коефіцієнт розподілу дільника частоти повинен бути таким, щоб інтервал часу між двома старт-імпульсами перевищував вимірюваний інтервал часу T_x .

Введення синхронізації між старт-імпульсами й імпульсами ГІ усуває похибку Δt_1 , але при цьому повністю зберігається похибка Δt_2 . У цьому випадку максимальна абсолютна похибка перетворення

$$\Delta t_m = -\Delta t_1 + \Delta t_{2_{\max}} = 0 + \tau = +\tau. \quad (3.9)$$

Для зменшення цієї похибки необхідно синхронізувати старт-імпульс із серединою періоду імпульсів ПІ, тобто зсунути за допомогою елемента затримки старт-імпульс на час $\tau/2$.

У цьому випадку вводиться постійна похибка

$$\Delta t_1 = -\tau/2, \quad (3.10)$$

Максимальна абсолютна похибка

$$\Delta t_m = \pm \tau/2. \quad (3.11)$$

Середня квадратична $\sigma_{\text{КВ}} = \frac{\tau}{2\sqrt{3}}$.

(3.12)

Похибка Δt_2 є принципово незнищувана, однак застосуванням спеціальних методів її можна зменшити.

Розглянемо деякі методи збільшення точності перетворення часових інтервалів. З аналізу похибок, що виникають при перетворенні великих однократних часових інтервалів, можна зробити висновок, що в більшості випадків найбільш реальним методом забезпечення заданої точності перетворення, тобто

зменшення похибки Δt_2 , є підвищення частоти ГІ. Однак у деяких випадках такий метод неприйнятний. Відомі два методи зменшення похибки Δt_2 без підвищення частоти ГІ: метод електронного ноніуса; метод затриманих збігів.