

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЧАСТОТИ В ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ З ЧАСОВОЮ РОЗГОРТКОЮ

Представлена структурна схема інформаційно-вимірювальної системи, яка дозволяє обробляти велику кількість досліджувальних об'єктів. Розглянуті основні показники, що характеризують інформаційно-вимірювальну систему з часовою розгорткою.

Ключові слова: Інформаційно-вимірювальна система, свіп-генератор, частотні мітки, похибка вимірювань

S.P. KONONOV, R.V. BORSOLYUK
Vinnytsia National Technical University

IDENTIFICATION OF FREQUENCY INFORMATION-MEASURING SYSTEMS WITH TEMPORAL SCAN

The block diagram of information-measuring system that can handle a large number studied objects. The basic parameters characterizing information - measuring system of temporal scan.

Key indicators of information-measuring system are: frequency range, step frequency tags, swing band, system performance, the ability to measure frequencies with manual deployment, basic and advanced frequency tags, error formation frequency tags, error frequency identification tags, depending on the frequency of identification errors formation tag of the nonlinearity coefficient readjustment frequency sweep-generator, swing band and sweep-generator.

Also considered expressions for calculation of key indicators and are some of the values of these parameters for modern information-measuring systems.

Keywords: Information-measuring system, sweep generator, frequency tags, measurement error

Вступ

В народному господарстві використовуються різноманітні інформаційно-вимірювальні системи [1]. В інформаційно-вимірювальній системі з часовою розгорткою (далі в тексті як ІВС з часовою розгорткою) спільно функціонують N вимірювальних каналів ($BK_1 \dots BK_N$), з вхідними впливами $x_1 \dots x_n$ від досліджуваних об'єктів ($O_1 \dots O_n$) (рис 1).

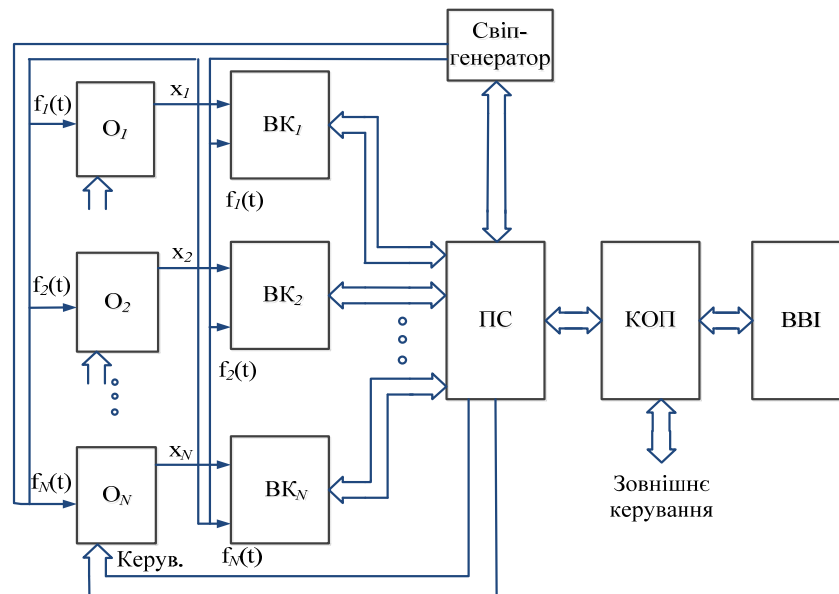


Рис. 1. Інформаційно-вимірювальна система з часовою розгорткою

У системах з одним свіп-генератором на входи кожного каналу BK_i подається один і той же сигнал. Для систем з багаточастотними свіп-генераторами характерна наявність на входах сигналів, що відрізняються за частотою. Синхронізацію роботи кожного ВВІ (вузол відображення інформації), управління режимами, математичні операції здійснює керуюче-обчислювальний пристрій (КОП), наприклад, мікро-ЕОМ. Сигнали в ІВ від КОП і навпаки надходять через пристрій сполучення (ПС), що виконує функції передачі сигналів по лініях зв'язку і сполучення вхідних та вихідних параметрів окремих вузлів. Крім пов'язаних з КОП вузлів відображення інформації в кожному ВВІ, ІВС з часовою розгорткою може мати у своєму складі центральний вузол відображення інформації, на який надходять дані, що характеризують роботу системи в цілому (рис 1).

Ідентифікація частоти

Важливим показником роботи ІВС з часовою розгорткою є достовірність і оперативність отримання даних про частоту [2]. Від цього залежить якість функціонування системи, тобто точність результатів, правильність видачі керуючих сигналів. Для отримання інформації про частоту в ІВС формуються частотні мітки і відбувається ідентифікація частоти міток (наприклад, формуються в часі послідовності імпульсів і визначаються частоти свіп-генератора, які відповідають появі будь-якого імпульсу). Пристрій, призначений для формування та ідентифікації частотних міток в ІВС з часовою розгорткою, показаний на рис. 2.

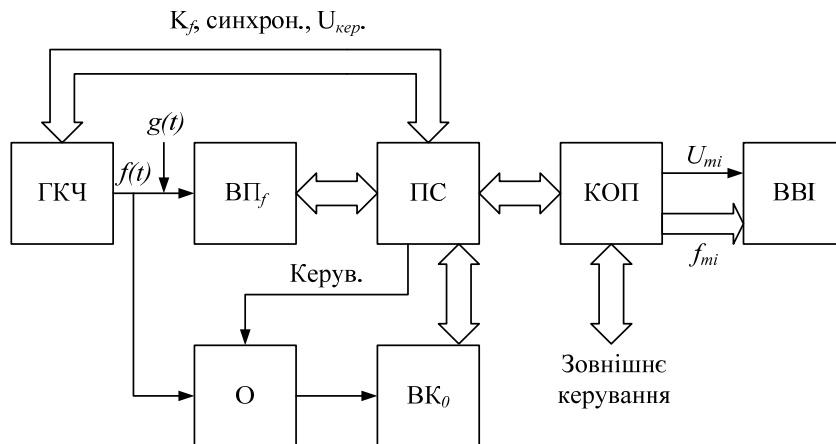


Рис. 2. Ідентифікація частотних міток в ІВС з часовою розгорткою

Розглянемо взаємодію КОП з одним ВК. Сигнал від свіп-генератора розгалужується і надходить одночасно на досліджуваний об'єкт (О) і на вхід вимірального частотного перетворювача ($ВП_f$). За допомогою $ВП_f$ відбувається перетворення сигналу свіп-генератора в зручну для подальшої обробки форму. В результаті проведення спільно з $ВП_f$ вимірвальних і обчислювальних операцій КОП доповнює вимірвальну інформацію даними про частоту. На виході КОП з'являються необхідні сигнали зовнішнього управління і сигнали відображення інформації на ВВІ. КОП через ПС задає режими роботи свіп-генератора, вимірального каналу $ВК_0$ і перетворювача $ВП_f$.

Під час розгортки частота свіп-генератора $f(t)$ (рис.3,а) відмінна від заданої, найчастіше лінійно-змінної частоти. Повна фаза сигналу свіп-генератора може бути описана виразом:

$$\Phi(t) = 2\pi \int_0^t f(t) dt = 2\pi \int_0^t [k(t)f_{\wedge}(t) + g(t)] dt,$$

де $f_{\wedge}(t)$ - зміна частоти за заданим законом, $g(t)$ - відхилення частоти за рахунок адитивної складової, $k(t)$ - коефіцієнт, що враховує мультиплікативну складову. В статті будуть також розглядатися системи, здатні працювати в двох режимах: автоматичному і ручному гойданні частоти. В ручному режимі частота $f(t)$ свіп-генератора має мале відносне відхилення від встановленого значення, тобто $f_{\wedge}(t)$ – постійна величина.

В ІВС з часовою розгорткою формуються послідовності імпульсів міток U_{Mi} і визначаються значення частот (рис. 3,б). Частота $f(t)$ свіп-генератора дорівнює f_{Mi} в момент появи імпульсу мітки U_{Mi} .

Похибки Δt_{Mi} , Δf_{Mi} формування міток та ідентифікації їх частоти (рис. 3,в,г), викликані методичними неточностями, неідеальною апаратурою, внутрішніми і зовнішніми дестабілізуючими чинниками (температура, вологість тощо), призводять до неточної відповідності між U_{Mi} , f_{Mi} і відповідним точним значенням $f(t)$. Втрачається відповідність між U_{Mi} і f_{Mi} . Тому зниження похибок ΔU_{Mi} і Δf_{Mi} є важливим при розробці ІВС з часовою розгорткою.

Основні характеристики системи

Розглянемо основні показники, що характеризують ІВС з часовою розгорткою. Ці показники є критеріями при порівняльній оцінці різних систем за їх можливостями в ідентифікації частотних міток.

1. Діапазон частот $F_{\text{мін}} \dots F_{\text{макс}}$. Сучасні системи працюють в широкому діапазоні частот, нижня межа якого близька до нуля і складає одиниці кілогерц, а верхня сягає 100 ГГц і вище. На низьких частотах використовуються прецизійні перетворювачі "частота-напруга". Частоти 1–2 ГГц є граничними для свіп-генератора – цифрового синтезатора частоти. В діапазоні НВЧ застосовуються формування частотних міток

за "нульовим биттям", також застосовуються вбудовані резонансні частотоміри зі спеціальною схемою формування міток або вузли фіксації і зберігання рівня керуючої напруги свіп-генератора з наступним непрямым вимірюванням частоти.

2. Крок частотних міток F_k – частотний інтервал між двома сусідніми імпульсами міток. Крок частотних міток F_k вибирається від 1 кГц до 100 МГц і вище в залежності від смуги гойдання. Теоретично нижня межа визначається частотною нестабільністю свіп-генератора. Обов'язковим є дотримання нерівності:

$$F_{k \text{ мин}} \gg \Delta f(t)$$

де $\Delta f(t)$ – частотна нестабільність свіп-генератора. У ІВС з високочастотними або НВЧ свіп-генераторами в перетворювачах ВП_f (рис.2) застосовуються стробоскопічні змішувачі. При найретельнішому їх виготовленні отримати на частоті 20 ГГц крок частотних міток F_k менше 10 МГц дуже важко. Це пояснюється тим, що із зменшенням F_k падає до рівня шумів енергія мітки на виході перетворювача, тобто, знижується завадостійкість.

3. Смуга гойдання Π – різниця між максимальною частотою свіп-генератора в кінці розгортки і мінімальною частотою на початку розгортки. Смуга гойдання залежить від частоти сигналу свіп-генератора і змінюється від десятих часток відсотка до

повного діапазону частот $F_{\text{мин}} \dots F_{\text{макс}}$. Похибки формування ΔU_{Mi} та ідентифікації частотних міток Δf_{Mi} максимальні при найбільшій Π , тому що зі збільшенням швидкості зміни частоти зростає вплив перехідних процесів в вузькосмугових ланцюгах. В автоматизованих системах граничні частоти Π можуть змінюватися дискретно, тому часове положення частотних міток також дискретне. У більшості інших ІВС граничні частоти змінюються безперервно, тому розташування частотних міток у часі довільне.

4. Швидкодія – час t_f , необхідний для визначення частоти мітки, або час t_u , необхідний для формування частотних міток. Динаміка роботи ІВС з часовою розгорткою характеризується часом частотного розгортання або в періодичному режимі – часом прямого ходу розгортки. Позначимо перший і другий часові інтервали через T_{np} . У всіх системах необхідною умовою їх нормальної роботи є:

$$t_u \ll T_{np}.$$

В багатьох системах з формуванням міток за способом "нульового биття" чи при вбудованих резонансних частотомірах виконується рівність:

$$t_f > T_{np}.$$

ІВС с ідентифікацією міток шляхом непрямих вимірювань або з синтезаторами частоти визначають частоту за час:

$$t_f < T_{np}.$$

T_{np} знаходиться в межах від одиниць мікросекунд до десятків секунд.

5. Вимірювання частоти в режимі ручного розгортання. В ІВС з часовою розгорткою часто використовується режим ручного розгортання, коли в той чи інший момент часу фіксується частота свіп-генератора. Тому передбачається можливість вимірювання частоти в ручному режимі. Час вимірювань зазвичай не перевищує t_f , тому що алгоритм функціонування, що застосовується, незначно відрізняється від того, за яким працюють засоби ідентифікації в режимі періодичного гойдання.

6. Основні і додаткові частотні мітки. У послідовності міток U_{Mi} (рис. 3, а) можна виділити основні і додаткові імпульси міток, які розрізняються за такими ознаками: за похибкою формування, за ступенем відповідності між U_{Mi} і f_{Mi} , та за призначенням. На рис. 3,б в момент $t = t_{M3}$ формується додаткова мітка, всі інші основні. До основних міток відносяться ті, які утворюють частотний масштаб, наприклад, формуються за "нульовим биттям". Частотний інтервал між сусідніми мітками, тобто F_k , постійний і

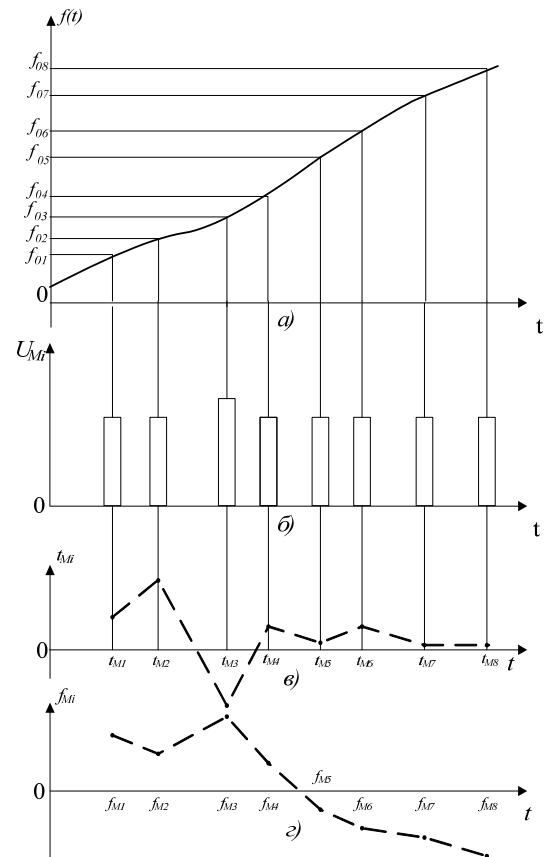


Рис. 3. Формування частотних міток U_{Mi} , вимірювання частоти f_{Mi} , похибки ідентифікації

задається високостабільними кварцовими генераторами. Похибка формування основних частотних міток мала, однак у більшості систем їх частота прямо не вимірюється, а визначається додатково. До додаткових міток належать власні перелаштовуванні мітки, зовнішні мітки, стоп - мітки. Власні перелаштовуванні мітки і зовнішні мітки формуються за допомогою керованого внутрішнього або зовнішнього генератора. Частота генератора визначає частоту мітки. Під час дії стоп-мітки утворюється сходинка на керуючій напрузі, вимірюється фіксована частота свіп-генератора. В останніх моделях використовуються додаткові мітки, в утворенні яких не бере участь сигнал з виходу свіп-генератора. Такі мітки формуються по керуючій напрузі, що надходить від КОП в свіп-генераторі (рис.1). Додатковими вважаються також мітки, що формуються датчиками початку відліку (ДПВ). ДПВ являє собою стабільний фільтр, частота настройки якого менше $F_{\text{мін}}$. ДВП служить своєрідним початком відліку при визначенні частоти основних міток.

7. Похибка формування частотної мітки. Абсолютна похибка Δt_{Mi} формування частотної мітки визначається як різниця між часом t_{Mi} появи мітки на виході КОП (рис. 2) і її дійсним положенням під час розгортки t_{oi} , тобто:

$$\Delta t_{Mi} = t_{Mi} - t_{oi}.$$

Часом появи імпульсу мітки вважається його середина, а істинним її становищем – момент, коли

$$f(t) = f_{Mi}.$$

Відносна похибка формування частотної мітки

$$\delta t_{Mi} = \frac{t_{Mi}}{T_{np}}.$$

Якщо частотний масштаб розгортки прямопропорційний часовому, абсолютна похибка може бути виражена в одиницях частоти, а саме

$$\Delta f(\Delta t_{Mi}) = \Delta t_{Mi} \frac{\Pi}{T_{np}}.$$

Похибка Δt_{Mi} залежить від швидкості гойдання, а отже, від часу прямого ходу розгортки T_{np} . У першому наближенні

$$\Delta t_{Mi} = \frac{C}{T_{np}},$$

де C – коефіцієнт пропорційності. Тому

$$\delta t_{Mi} = \frac{C}{T_{np}^2}.$$

Таким чином, збільшуючи T_{np} , можна досягти значного зменшення похибки формування частотних міток.

В сучасних ІВС з часовою розгорткою похибка δt_{Mi} не перевищує 10% від основної похибки індикації міток на екрані ВВІ (рис. 2).

8. Похибка ідентифікації частоти мітки. Абсолютна похибка Δf_{Mi} ідентифікації частоти мітки визначається як різниця між обчисленим значенням f_{Mi} і частотою свіп-генератора, що відповідає істинному стану частотної мітки, тобто

$$\Delta f_{Mi} = f_{Mi} - f_{oi}.$$

На практиці застосовується інша формула

$$\Delta f_{Mi} = f_{Mi} - f(t_{Mi}),$$

де $f(t_{Mi})$ – частота свіп-генератора у момент появи мітки. Відносна похибка ідентифікації частоти мітки

$$\delta f_{Mi} = \frac{f_{Mi} - f_{oi}}{f_{oi}} \approx \frac{f_{Mi} - f(t_{Mi})}{f_{Mi}}$$

Кращі зразки низькочастотних і високочастотних систем мають $\delta t_{Mi} = (0,01 \div 0,05)\%$. В останніх

розробках ІВС з надвисокочастотними ГКЧ $\delta t_{Mi} = 0,1\%$ і краще.

9. Залежності похибок формування ідентифікації частоти міток від $f(t)$, Π і K_H – коефіцієнта нелінійності перебудови частоти свіп-генератора. Кількісно ці залежності характеризуються похибками формування міток $\Delta t_{Mi}[f(t)]$, $\Delta t_{Mi}(\Pi)$, $\Delta t_{Mi}(K_H)$ і похибками визначення їх частоти $\Delta f_{Mi}[f(t)]$, $\Delta f_{Mi}(\Pi)$, $\Delta f_{Mi}(K_H)$. У системах з перетворювачами $ВП_f$, які працюють за "нульовим биттям", похибки Δt_{Mi} , Δf_{Mi} , не залежать від $f(t)$. У більшості інших типів систем з ростом частоти ці похибки зростають. Функції $\Delta t_{Mi}(\Pi)$, $\Delta f_{Mi}(\Pi)$ так само зростаючі. Максимумам $\Delta t_{Mi}(K_H)$, $\Delta f_{Mi}(K_H)$ відповідає максимум K_H . Нелінійність перебудови визначається двома способами [3]. Перший спосіб:

$$K_{H1} = \frac{\left. \frac{df(t)}{dt} \right|_{t=0} - \left. \frac{df(t)}{dt} \right|_{t=T_{np}}}{\left. \frac{df(t)}{dt} \right|_{t=0}} \cdot 100\% .$$

Частіше при визначенні метрологічних характеристик використовується другий спосіб, за яким

$$K_{H2} = \pm \frac{\Delta f_{\max}}{\Pi_{\max}} ,$$

де Δf_{\max} – значення максимального відхилення кривої $f = \psi(U_{кер})$ від прямої, що з'єднує крайні точки цієї кривої; Π_{\max} – максимальна смуга гойдання; f – частота в режимі ручного розгортання; $U_{кер}$ – напруга керування свіп-генератора (рис. 2), при якій якому вихідна частота дорівнює f .

Висновок

Запропоновано інформаційно - вимірювальну систему, особливістю якої є застосування частотного розгортання. Наведено та описано структуру системи.

Важливою функцією інформаційно - вимірювальної системи з часовою розгорткою є ідентифікація частоти. Запропоновано структурну схему ідентифікатора частотних міток, описано його роботу.

Розглянуті основні показники, які є критеріями при порівняльній оцінці різних систем за їх можливостями ідентифікації частоти.

Література

1. Похибки визначення частоти в інформаційних системах з частотною розгорткою / С. П. Кононов, С.М. Кватернюк, С.О. Фіяло // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2001. – №6 С. 44–45.
2. Бабак В.П. Теоретические основы информационно – измерительных систем: Учебник / В. П. Бабак, С. В. Бабак, В. С. Еременко и др.; под ред. чл.–кор. НАН Украины В. П. Бабака // – К., 2014. – С. 788 – 796. – ISBN 978–617–7031–26–9.
3. S. Kononov, M. Mentynskyu, R. Lykha. Panoramic curve – tracing oscilloscope marker blocks and relationship between frequency sweep nonlinearity parameters / Measuring and computing in technical processes..2014.– №1 pp. 72–77.

Referenses

1. Pohibki viznachennja chastoti v informacijnih sistemah z chastotnoju rozgortkoju / S. P. Kononov, S.M. Kvaternjuk, S.O. Fijalo // Visnik Vinnic'kogo politehnicznego institutu. – 2001.– №6 S. 44–45.
2. Babak V.P. Teoreticheskie osnovy informacionno – izmeritelnyh sistem: Uchebnik / V. P. Babak, S. V. Babak, V. S. Eremenko i dr.; pod red. chl.–kor. NAN Ukrainy V. P. Babaka // – K., 2014. – S. 788 – 796. – ISBN 978–617–7031–26–9.
3. S. Kononov, M. Mentynskyu, R. Lykha. Panoramic curve – tracing oscilloscope marker blocks and relationship between frequency sweep nonlinearity parameters / Measuring and computing in technical processes..2014.– №1 pp. 72–77.

Рецензія/Peer review : 2.5.2015 р. Надрукована/Printed : 20.6.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією