

УДК 531.7:004.932

Ю.О. Подчашинський, к.т.н, доц.
Житомирський державний технологічний університет

ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ЗАСОБІВ ВІДЕОВИМІРЮВАНЬ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН

У статті розглянуто основні динамічні характеристики засобів відеовимірювань механічних величин, що побудовані на основі алгоритмічної обробки двовимірної вимірювальної відеоінформації. Проаналізовано методи ідентифікації динамічних характеристик та визначено методи, найбільш придатні для використання у засобах відеовимірювань. Розглянуто приклад визначення перехідної характеристики.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її актуальність. Одним з ефективних методів вимірювань механічних величин є формування та алгоритмічна обробка сигналів, які містять інформацію про об'єкт вимірювань. Сигнали, що містять вимірювальну інформацію про механічні величини, можуть бути одновимірними або двовимірними. Найбільш інформативними є двовимірні сигнали, що містять інформацію про зміни механічних величин у просторі та в часі.

Носієм двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини можуть бути цифрові відеозображення об'єктів вимірювань [1, 2]. Цифрові відеозображення можуть містити двовимірну вимірювальну інформацію про геометричні характеристики об'єктів, що виготовляються в ході виробничого процесу або досліджуються в ході наукового експерименту. Якщо в наявності є послідовність відеозображень, що відповідають певним моментам часу, то на цій основі можуть бути обчислені інші механічні величини (переміщення об'єктів, їх швидкість тощо). Для отримання двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини необхідно сформувати цифрове відеозображення, яке являє собою двовимірний образ об'єкта вимірювань, ввести це відеозображення в обчислювальний пристрій та виконати цифрову обробку [1, 3]. Алгоритмічна обробка таких відеозображень за допомогою цифрової ЕОМ дозволяє отримати результати вимірювань відповідних величин. Далі такий метод вимірювань будемо називати відеовимірюваннями механічних величин.

Практичне використання даного методу вимірювань потребує забезпечення більш високої точності та швидкодії у порівнянні з існуючими методами. Це особливо важливо для вимірювань механічних величин в реальному масштабі часу, наприклад в ході контролю за деяким технологічним процесом. Основою підвищення точності й швидкодії є прискіпливе врахування всіх похибок вимірювань з подальшою розробкою заходів щодо їх компенсації та зменшення.

Суттєвою складовою частиною похибок є динамічні похибки. Вони залежать від алгоритмічних методів і апаратних засобів, що використовуються для формування, введення в комп'ютер і алгоритмічної обробки відеоінформації про механічні величини. Ці похибки обумовлені динамічними властивостями і характеристиками вимірювального каналу. Тому важливим і актуальним є дослідження динамічних властивостей вимірювального каналу засобів відеовимірювань механічних величин.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Динамічні властивості й динамічні похибки засобів інформаційно-вимірювальної техніки розглянуті в багатьох наукових працях та підручниках [4–8].

В даному випадку вимірювальний канал має ряд суттєвих особливостей, пов'язаних насамперед з обробкою двовимірної вимірювальної інформації та суміщенням різноманітних засобів формування та перетворення цієї інформації (оптична система пристрою формування відеозображень, аналогові та цифрові засоби обробки сигналів у вимірювальному каналі).

Окремо характеристики вказаних складових частин вимірювального каналу розглянуто в ряді праць: оптична система [9–12]; напівпровідникові перетворювачі світло-сигнал [13, 14]; аналогові кола обробки відеосигналів [2, 13]; цифрові засоби обробки відеосигналів [15, 16]. В цілому прикладні телевізійні системи розглянуто в [2, 17, 18].

Однак для засобів відеовимірювань механічних величин потрібно враховувати те, що вимірювальний канал повинен забезпечити передачу двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини. Перш за все це пов'язано з найбільш точним відтворенням контурів об'єктів вимірювань та їх геометричних характеристик. А це відтворення, в свою чергу, істотно залежить від динамічних характеристик вимірювального каналу.

При дослідженні динамічних характеристик засобів відеовимірювань механічних величин потрібно: проаналізувати особливості формування, передачі та обробки двовимірної вимірювальної інформації, що змінюється в часі та в просторі; визначити динамічні похибки, що мають вплив на точність вимірювань

механічних величин; розглянути та проаналізувати методи ідентифікації динамічних характеристик вимірювального каналу; експериментальним шляхом оцінити отримані результати.

Метою проведених досліджень є дослідження динамічних характеристик вимірювального каналу засобів відеовимірювань механічних величин, виявлення впливу цих характеристик на точнісні та часові характеристики засобів відеовимірювань.

Викладення основного матеріалу досліджень. Цифрові відеозображення, що містять двовимірну вимірювальну інформацію про механічні величини, формуються, передаються, обробляються і накопичуються за допомогою певного набору алгоритмічних методів та апаратних засобів (рис. 1). У ході вказаних операцій вимірювальна інформація, що міститься на відеозображеннях, піддається впливу ряду негативних факторів, в тому числі пов'язаних з обмеженими динамічними властивостями вимірювального каналу передавати відеоінформацію, що змінюється в часі та просторі.

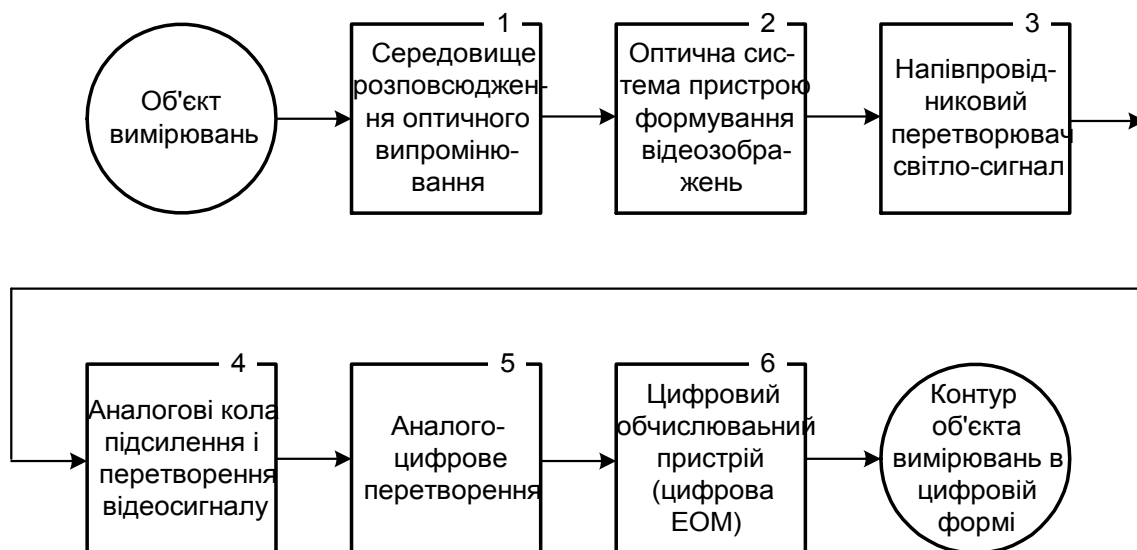


Рис. 1. Послідовність блоків, що перетворюють двовимірну вимірювальну відеоінформацію у вимірювальному каналі

Будемо розглядати два підходи до дослідження динамічних властивостей і характеристик засобів відеовимірювань механічних величин, що відповідають двом випадкам відеовимірювань:

- рухомі об'єкти вимірювань, що переміщуються в просторі за певний інтервал часу;
- динамічні характеристики, що пов'язані зі зміною амплітуди відеосигналу в межах одного відеозображення (наприклад вздовж рядка відеозображення).

В першому випадку координати x , y об'єктів, їх переміщення Δx , Δy та геометричні характеристики d_i визначаються як функція часу t :

$$x, y, \Delta x, \Delta y, d_i = f(t).$$

Всі вказані величини фіксуються у вигляді послідовності кадрів, що містять вимірювальну інформацію. При цьому мають місце похибки, що обумовлені обмеженими динамічними властивостями і характеристиками вимірювального каналу:

- передача інформації у вимірювальному каналі відбувається за деякий інтервал часу;
- обробка інформації у обчислювальному пристрої відбувається за деякий інтервал часу;
- має місце дискретний характер реєстрації переміщень об'єктів у вигляді послідовності кадрів через деякий інтервал часу;
- накопичення заряду у ПЗС-матриці відбувається впродовж всього кадрового інтервалу, за який рухомий об'єкт може змінити своє розташування в полі відеозображення;
- стиснення та подальше відновлення послідовності цифрових відеозображень (кадрів) виконується на основі оцінки параметрів руху об'єктів та інтерполяції.

Зменшення цих похибок можливе на основі таких заходів:

- застосування більш швидкодійних обчислювальних пристроїв та оптимізація обчислення складних функцій у реальному масштабі часу [26];
- підвищення частоти кадрів у пристрої формування відеозображень, синхронізація цих пристроїв від ЕОМ, використання спеціалізованих цифрових відеокамер для вимірювань;

– зменшення часу витримки в пристрої формування відеозображень, застосування спеціалізованих цифрових відеокамер з електронним затвором;
 – використання методів стиснення, що виконують тільки стиснення окремих кадрів у послідовності відеозображень та не використовують міжкадрове кодування (методи типу MJPEG).

У другому випадку вимірювальний сигнал в рядку відеозображення можна розглядати як функцію, що залежить від координат x та y в площині відеозображення та одночасно є функцією часу t при передачі сигналу у вимірювальному каналі:

$$\begin{cases} u = f(x, y) \\ u = f(t) \end{cases}$$

При цьому також мають місце похибки, що обумовлені обмеженими динамічними властивостями і характеристиками вимірювального каналу:

- викривлення вимірювальної інформації, обумовлені формою АЧХ вимірювального каналу;
- похибки, що виникають при застосуванні методів стиснення до кожного відеозображення.

Зменшення цих похибок можливе на основі таких заходів:

- збільшення смуги перепускання вимірювального каналу за рахунок підбору технічних характеристик апаратних засобів;
- вибір методів стиснення та параметрів цих методів, що забезпечують зменшення втрат вимірювальної інформації на стиснутих відеозображеннях [27].

На рис. 1 зображено послідовність функціональних блоків, що утворюють вимірювальний канал засобів відеовимірювань механічних величин. При цьому динамічні характеристики вимірювального каналу в першому випадку визначаються технічними характеристиками та методами обробки відеоінформації у блоках 3 та 6, а в другому випадку – у блоках 1–6.

Експериментальне дослідження динамічних характеристик включало формування тестових відеозображень у вигляді світлого об'єкта на темному фоні та побудову графіків перепадів яскравості у межах контурів цих об'єктів (рис. 2). При цьому використовувалася аналогова відеокамера стандарту VHS та пристрій введення відеозображень в ЕОМ (рис. 2, а, б), генератор тестових відеосигналів та пристрій введення відеозображень в ЕОМ (рис. 2, в, г), цифровий фотоапарат, підключений до ЕОМ по інтерфейсу USB (рис. 2, д, е). Як бачимо, цифрові пристрої формування відеозображень забезпечують більш високу якість відеозображень та зменшення динамічних похибок вимірювань механічних величин.

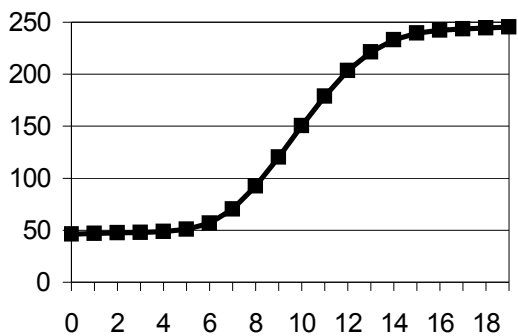
Важливим завданням є ідентифікація динамічних характеристик вимірювального каналу на основі дослідження тестових відеозображень та контурів об'єктів. Методам ідентифікації присвячено багато робіт. Загальні питання ідентифікації різних технічних систем викладено в [19–21]. Ідентифікації динамічних систем присвячено роботу [22]. Огляд методів ідентифікації наведено в [21, 23]. Відповідно до [23] існує багато методів ідентифікації динамічних об'єктів. Ці методи відрізняються математичними моделями об'єктів, критеріями і алгоритмами ідентифікації. Також суттєву роль при виборі метода відіграє тип динамічного об'єкта, що досліджується.

Найбільш відомі методи ідентифікації:

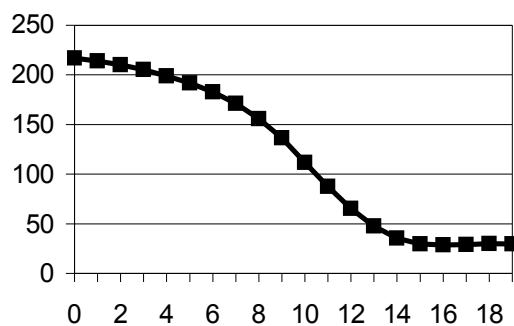
- на основі перетворення Фур'є;
- за допомогою частотних характеристик;
- за допомогою перехідної та імпульсної характеристик;
- на основі кореляційних функцій;
- методи адаптивної ідентифікації.

Для ідентифікації динамічних характеристик вимірювального каналу засобів відеовимірювань механічних величин найбільш придатними слід вважати методи, що використовують перехідну характеристику. Це пов'язано з тим, що найбільший вплив на результати вимірювань геометричних ознак об'єктів, що присутні на відеозображенні, має точність відтворення контурів цих об'єктів. А вона, в свою чергу, визначається динамічними характеристиками і може розглядатися як перехід від фону до об'єкта. Таким чином, контур об'єкта, що займає певний проміжок сигналу яскравості в рядку тестового відеозображення, може розглядатися як реакція вимірювального каналу на стрибкоподібну зміну яскравості (рис. 2). А це і є перехідна характеристика вимірювального каналу.

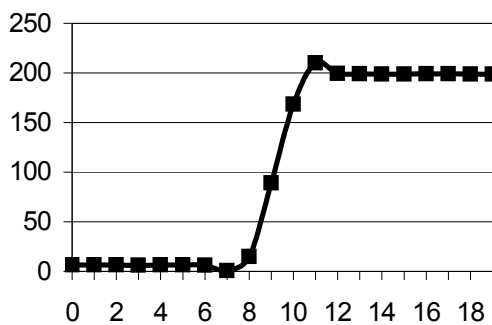
Для графіків зміни сигналу яскравості, наведених на рис. 2, була виконана процедура ідентифікації і визначена передаточна функція вимірювального каналу (табл. 1). Ця процедура виконувалася на основі метода Симою [24].



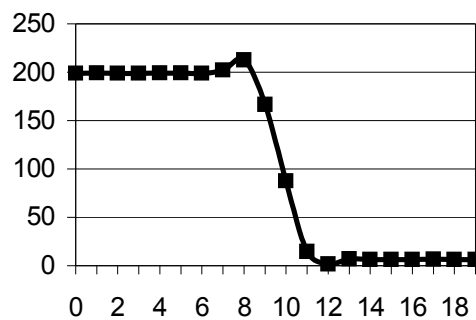
a)



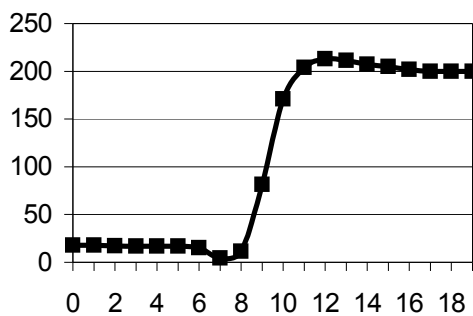
б)



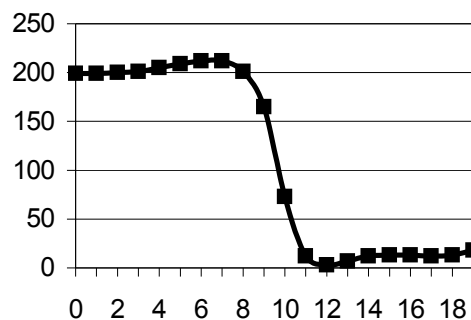
в)



г)



д)



е)

Рис. 2. Контури об'єктів на тестовому відеозображенні, що містить перепади яскравості від темного фону до світлого об'єкта (а, в, д) та від світлого об'єкта до темного фону (б, г, е), по горизонталі – координата в рядку відеозображення, дискретних точок, по вертикалі – яскравість, дискретних рівнів

Таблиця 1

Результати визначення передаточних функцій вимірювального каналу

Апаратні засоби вимірювального каналу	Номер графіка перехідного процесу	Передаточна функція $W(p)$
Аналогова відеокамера стандарту VHS та пристрій введення відеозображень в ЕОМ	рис. 2, а	$\frac{0,3p + 1}{24,4p^2 + 8,3p + 1}$
Генератор тестових відеосигналів та пристрій введення відеозображень в ЕОМ	рис. 2, в	$\frac{1}{83,6p^2 + 0,6p + 1}$
Цифровий фотоапарат, підключений до ЕОМ по інтерфейсу USB	рис. 2, д	$\frac{1}{66,7p^3 + 32,7p^2 + 8,4p + 1}$

Безперервні моделі і передаточні функції, наведені в табл. 1, доцільно використовувати при аналітичному дослідженні динамічних процесів, побудові частотних характеристик, фізичному моделюванні, оскільки вони більш прості і не містять імпульсних елементів [25]. Для чисельних методів дослідження більш придатними є дискретні моделі, яким відповідають передаточні функції на основі z -перетворення. Тому були отримані передаточні функції на основі z -перетворення (табл. 2).

Таблиця 2

Результати визначення передаточних функцій на основі z -перетворення

Апаратні засоби вимірювального каналу	Номер графіка	Передаточна функція $D(z)$
Аналогова відеокамера стандарту VHS та пристрій введення відеозображень в ЕОМ	рис. 2, а	$\frac{2,1 \cdot 10^{-5}(z^3 + 2,9z^2 + 2,9z - 1)}{z^4 - 4,0z^3 + 6,0z^2 - 4,0z + 1}$
Генератор тестових відеосигналів та пристрій введення відеозображень в ЕОМ	рис. 2, в	$\frac{5,0 \cdot 10^{-8}(z^3 + 11,0z^2 + 10,9z + 1)}{z^4 - 4,0z^3 + 6,0z^2 - 4,0z + 1}$
Цифровий фотоапарат, підключений до ЕОМ по інтерфейсу USB	рис. 2, д	$\frac{2,1 \cdot 10^{-11}(z^5 + 20,3z^4 + 107,3z^3 + 106,0z^2 + 20,1z - 1)}{z^6 - 6,0z^5 + 15,0z^4 - 20,0z^3 + 14,9z^2 - 6,0z + 1}$

Висновки. В даній роботі досліджено динамічні властивості й характеристики вимірювального каналу засобів відеовимірювань механічних величин. Визначено перелік функціональних блоків вимірювального каналу, які впливають на динамічні характеристики. Проаналізовано вплив динамічних властивостей вимірювального каналу на динамічні похибки визначення геометричних характеристик об'єктів вимірювань.

Розглянуто методи ідентифікації динамічних характеристик та визначено методи, найбільш придатні для використання у засобах відеовимірювань механічних величин. Досліджено перехідні характеристики для сигналів яскравості в рядку відеозображень, що сформовані за допомогою аналогових та цифрових апаратних засобів, ідентифіковано передаточну функцію.

Отримані результати можуть бути використані для розрахунку динамічних похибок, точнісних та часових характеристик засобів відеовимірювань механічних величин. Це є особливо актуальним для вимірювань механічних величин в реальному масштабі часу в процедурах контролю різних технологічних процесів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Катыс Г.П.* Обработка визуальной информации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
2. *Грязин Г.Н.* Системы прикладного телевидения: Учебное пособие для вузов. – СПб.: Политехника, 2000. – 277 с.
3. *Шлихт Г.Ю.* Цифровая обработка цветных изображений. – М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.
4. *Орнатский П.П.* Теоретические основы информационно-измерительной техники. – К.: Вища школа, 1983. – 455 с.
5. *Фарзанае Н.Г., Илясов Л.В., Азим-заде А.Ю.* Технологические измерения и приборы: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1989. – 456 с.

6. *Таланчук П.М., Рущенко В.Т.* Основы теории и проектирования измерительных приборов.: Учебное пособие. – К.: Выща школа, 1989. – 454 с.
7. *Рудзит Я.А., Плуталов В.Н.* Основы метрологии, точность и надежность в приборостроении: Учебное пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1991. – 304 с.
8. *Шульман М.Я.* Измерение передаточных функций оптических систем. – Л.: Машиностроение, 1980. – 208 с.
9. *Апенко М.И., Дубовик А.С.* Прикладная оптика. – М.: Наука, 1982. – 352 с.
10. *Родионов С.А.* Автоматизация проектирования оптических систем: Учебное пособие для вузов. – Л.: Машиностроение, 1982. – 270 с.
11. *Оптические измерения: Учебник для вузов / Под общей ред. Д.Т. Пуряева.* – М.: Машиностроение, 1987. – 264 с.
12. *Порфирьев Л.Ф.* Теория оптико-электронных приборов и систем: Учебное пособие для вузов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 272 с.
13. *Пресс Ф.П.* Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.
14. *Шарыгин М.Е.* Сканеры и цифровые камеры. – СПб.: BHV – Санкт-Петербург, 2000. – 384 с.
15. *Егорова С.Д., Колесник В.А.* Оптико-электронное цифровое преобразование изображений. – М.: Радио и связь, 1991. – 208 с.
16. *Лебедько Е.Г., Порфирьев Л.Ф., Хайтун Ф.И.* Теория и расчет импульсных и цифровых оптико-электронных систем: Учебное пособие для вузов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 191 с.
17. *Горелик С.Л., Кац Б.М., Киврин В.И.* Телевизионные измерительные системы. – М.: Связь, 1980. – 168 с.
18. *Дубовик А.С.* Фотографическая регистрация быстропротекающих процессов. – 3-е изд., перераб. – М.: Наука, 1984. – 320 с.
19. *Гроп Д.* Методы идентификации систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976.
20. *Дейч А.М.* Методы идентификации динамических объектов. – М.: Энергия, 1979.
21. *Эйкхофф П.* Основы идентификации систем управления: Пер. с англ. – М.: Мир, 1975.
22. *Саридис Дж.* Самоорганизующиеся стохастические системы управления: Пер. с англ. – М.: Наука, 1980.
23. *Цыпкин Я.З.* Основы информационной теории идентификации. – М.: Наука, 1984.
24. *Белова Д.А., Кузин Р.Е.* Применение ЭВМ для анализа и синтеза автоматических систем управления. – М.: Энергия, 1979. – 264 с.
25. *Воронов А.А.* Основы теории автоматического управления. Особые линейные и нелинейные системы. – 2-е изд. перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. – 304 с.
26. *Гніліцький В.В., Подчашинський Ю.О., Чепюк Л.О.* Визначення параметрів цифрових обчислювальних пристроїв для обробки вимірювальної інформації про геометричні ознаки об'єктів // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 1/2 (19). – С. 145–148.
27. *Подчашинський Ю.О.* Перетворення двовимірної вимірювальної інформації про геометричні характеристики об'єктів в процесі стиснення відеозображень // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2006. – № 1(36). – С. 81–87.

ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій Олександрович — кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- методи вимірювання механічних величин;
- цифрова обробка відеозображень.

Подано 17.06.2006

Подчашинський Ю.О. Динамічні характеристики вимірювального каналу засобів відеовимірювань механічних величин

Подчашинский Ю.А. Динамические характеристики измерительного канала средств видеоизмерений механических величин

Podchashinsky Yu.A. Dynamic characteristics of the measuring channel of tools of video measurements of mechanical values

УДК 531.7:004.932

Динамічні характеристики вимірювального каналу засобів відеовимірювань механічних величин / Ю.О. Подчашинський

В статті розглянуто основні динамічні характеристики засобів відеовимірювань механічних величин, що побудовані на основі алгоритмічної обробки двовимірної вимірювальної відеоінформації. Проаналізовано методи ідентифікації динамічних характеристик та визначено методи, найбільш придатні для використання у засобах відеовимірювань. Розглянуто приклад визначення перехідної характеристики.

УДК 531.7:004.932

Динамические характеристики измерительного канала средств видеоизмерений механических величин / Ю.А. Подчашинский

В статье рассмотрены основные динамические характеристики средств видеоизмерений механических величин, построенных на основе алгоритмической обработки двумерной измерительной видеоинформации. Проанализированы методы идентификации динамических характеристик и определены методы, наиболее подходящие для использования в средствах видеоизмерений. Рассмотрен пример определения переходной характеристики.

УДК 531.7:004.932

Dynamic characteristics of the measuring channel of tools of video measurements of mechanical values / Yu.A. Podchashinsky

In a paper the basic dynamic characteristics of tools of video measurements of mechanical values are considered. This tools based on algorithmic handling of a two-dimensional measuring videoinformation. The methods of identification of dynamic characteristics are analysed and are defined most approaching for use in tools of video measurements. The example of the definition of a surge characteristic is considered.