

DOI: 10.18372/2310-5461.40.13272

УДК 621.317(045)

О. А. Дакі, канд. педаг. наук, доц.
Державний університет інфраструктури та технологій
orcid.org/0000-0003-3932-462X
e-mail: olena_daki@ukr.net;

Ф. О. Кривошей, д-р техн. наук, с.н.с.
Державний університет інфраструктури та технологій
orcid.org/0000-0001-5625-5896
e-mail: krivoshey_fo@ukr.net;

С. Л. Панов, канд. техн. наук, доц.
Державний університет інфраструктури та технологій
orcid.org/0000-0003-8569-1123
e-mail: panov_sl12@ukr.net

РОЗРОБКА АВТОМАТА КОНТРОЛЮ ЛІНІЙНИХ І НЕЛІНІЙНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТА НАВІГАЦІЇ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Вступ

Апаратура контролю систем управління та навігації засобів водного транспорту включає генератор вхідних стимулюючих впливів (тест-сигналів), вимірювальний пристрій, що дозволяє визначити вихідну реакцію об'єкта контролю на вхідний стимулюючий сигнал, пристрій обробки інформації та пристрій реєстрації [1; 2].

Системи управління та навігації засобів водного транспорту, для яких призначена апаратура контролю, містить здебільшого інерційні блоки з характерними сталими часу у діапазоні $(10^{-2} \dots 10^2)$ с, тобто їх найбільш суттєві характеристики знаходяться в діапазоні інфранизких частот. Тому контрольна апаратура має бути призначена для робіт у інфранизко-частотному діапазоні. Відомо, що в діапазоні інфранизких частот апаратура дискретної дії має цілу низку переваг порівняно з апаратурою безперервної дії [3–6]. Ці переваги є досить суттєвими під час конструювання всіх функціональних блоків апаратури контролю: генератора вхідних стимулювальних сигналів, вимірювального пристрою, пристрою обробки інформації та вихідного пристрою реєстрації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Генератори дискретної дії, засновані на перетворенні коду в аналог, дозволяють суттєво знизити похибку в формованому сигналі порівняно з широко розповсюдженими та досить повно освітленими в літературі [7–11] генераторами безперервної дії електромеханічного та електронного типів.

Крім того, генератори дискретної дії дозволяють порівняно легко здійснити перехід на різні види формованого сигналу.

Генератори дискретної дії дозволяють також одержати калібровані мітки часових інтервалів, які необхідні для подальшої обробки вихідного сигналу апаратурою аналізатора.

Тому для формування вхідного стимулювального сигналу є доцільним використовувати генератори, побудовані на методі перетворення коду в аналог.

При побудові аналізатора також доцільно використовувати апаратуру дискретної дії. Вихідний сигнал контрольованої системи вимірюється в дискретних точках відліку із заданим кроком квантування за часом. У кожній часовій точці вимірювання здійснюється за допомогою перетворювача аналог-код одного з відомих типів [8; 9], що дає змогу отримати високу точність перетворення миттєвих значень вихідної напруги та досить велику швидкодію. Обробка результатів вимірювань миттєвих значень вихідного сигналу може при цьому здійснюватися за допомогою простого вимірювального пристрою паралельно з вимірюванням вихідного сигналу. Кінцевий результат фіксується в пристрої реєстрації у цифровому коді. При конструюванні апаратури аналізатора, що реалізує зазначений вище метод обробки вихідного сигналу, можуть бути використані деякі принципи побудови й окремі функціональні блоки, розроблені в роботі. Ці принципи були використані при створенні цифрової інфранизко-частотної вимірювальної апаратури різного призначення [4; 5].

Постановка завдання дослідження

Для формування необхідного вимірювального сигналу $u(t)$ за допомогою дискретних генераторів, побудованих за принципом перетворення код-аналог, задана крива $u(t)$ апроксимується

функцією, яка наближується до заданої, і легко моделюється за допомогою цифро-аналогових дільників напруги [3; 7]. Таким способом найпростіше може бути здійснена ступінчаста, експоненціально-ступінчаста, лінійна й лінійно-ступінчаста апроксимація [5]. Якщо задана крива $u(t)$ є безперервною, то заміна її на апроксимуючу криву природно призводить до методичних похибок. Ці похибки можуть бути оцінені й вибором числа рівнів квантування можна зробити похибку досить малою [1]. У тих випадках, коли оптимальний сигнал, який необхідно сформувати генератором, являється кусково-постійною або кусково-лінійною функцією, його можна сформувати дискретним генератором без додаткових методичних похибок. З іншого боку, є принципова можливість виключення методичних похибок, що виникають при апроксимації сигналу $u(t)$, навіть у тому випадку, коли оптимальний вхідний сигнал являється безперервною функцією, що гладко змінюється. Замінивши такий сигнал, наприклад, кусково-постійною функцією, ми отримуємо квазіоптимальний сигнал $u^*(t)$. Квазіоптимальний сигнал $u^*(t)$, звичайно, не буде відповідати максимальній чутливості або точності, проте, навіть при відносно грубій апроксимації, заміна оптимального сигналу на квазіоптимальний не призводить до суттєвої втрати чутливості або точності. Оскільки алгоритм обробки вихідного сигналу в принципі може бути розрахований для будь-якого вихідного сигналу, то заміну оптимального сигналу на квазіоптимальний можна врахувати відповідною зміною алгоритму обробки вихідного сигналу. Сказане необхідно мати на увазі, оскільки така груба апроксимація оптимального вхідного сигналу дозволяє в багатьох випадках спростити схему реалізацію генератора вхідних сигналів за рахунок зменшення кількості дискретних вимірювань за рівнем и часу, без суттєвого ускладнення алгоритму обробки вихідного сигналу. В інших випадках, наприклад, при синусоїдному вхідному сигналі груба апроксимація тому є недоцільним.

Автомат контролю лінійних і нелінійних систем управління та навігації засобів водного транспорту

Призначення автомата контролю (аналізатора вихідного сигналу) об'єкту контролю полягає в тому, щоб за наявними миттєвими значеннями вихідного сигналу $y(t_i)$ на інтервалі часу $[0, T]$ винести судження про стан об'єкту контролю, тобто про значення параметрів системи q_i або деяких функцій від цих параметрів z_j .

В аналізаторі дискретної дії вимірювання вихідного сигналу об'єкта контролю виконується в фіксованих відлікових точках за допомогою перетворювача аналог-код. Існують різні способи безперервно-дискретного перетворення: часо-імпульсне, частотно-імпульсне, кодоімпульсне та метод просторового кодування.

Вибір того чи іншого типу перетворювача визначається статичними і динамічними похибками перетворювача, швидкодією та простотою схемної реалізації.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показують, що для побудови вимірювального пристрою аналізатора доцільно використовувати часо-імпульсний метод перетворення аналог-код, на базі фантастронного генератора з лінійно-падаючою напругою [1].

Вимірювана напруга подається на фіксуючий елемент генератора. У момент часу t_0 подачі імпульсу, що запускає починається лінійне зменшення напруги генератора. У момент часу t_1 при рівності напруги генератора опорній напрузі спрацьовує пристрій порівняння. Часовий інтервал $t_1 - t_0$, що виділяється, пропорційний вимірюваній напрузі, заповнюється імпульсами еталонного генератора.

Статичні похибки перетворювача в основному обумовлені нелінійністю вихідної напруги фантастронного генератора, нестабільністю джерел живлення, похибкою дискретності, а також температурною нестабільністю. При раціональному виборі параметрів перетворювача динамічні похибки практично відсутні [5]. Теоретичний розрахунок та експериментальне дослідження макету перетворювача показують, що гранична наведена похибка перетворювача при максимальному значенні вимірюваної напруги 10 В не перевищує 1,5 % [2; 3].

Швидкодія перетворювача залежить від швидкості спадання напруги, визначальну величину часового інтервалу, який виділено та швидкості відновлення його вихідного стану. При заданій частоті еталонного генератора швидкодія визначається необхідною дискретністю перетворення. У створеному та експериментально випробуваному макеті перетворювача максимальний часовий інтервал становив 600 мкс, що забезпечує швидкодію 1400 вимірювань у секунду.

Розглянемо ще одне питання, яке стосується можливих варіантів схемної реалізації та алгоритмів роботи автомата контролю. При лінійній обробці вихідного сигналу величина z_k^* , яка визначає відхилення параметрів системи від номінальних значень дорівнює

$$z_k^* = \sum_{i=1}^n \beta_k(t_i) \Delta y(t_i).$$

Величини $\beta_k(t_i)$ являють собою коефіцієнти залежності вихідного сигналу величин z_k^* від вихідного сигналу $y(t_i)$. Значення цих величин як правило відомі. Величина $\Delta y(t_i)$ є відхиленням вихідного сигналу системи від номінального сигналу, який являє собою реакцію системи на заданий вхідний вплив при номінальних значеннях параметрів:

$$\Delta y(t_i) = y(t_i) - y_0(t_i; q_i). \quad (1)$$

У принципі є дві можливості реалізації алгоритму (1). По-перше, можна в кожній точці t_i формувати різницю $\Delta y(t_i)$. Величини $y_0(t_i; q_i)$ можуть бути отримані при цьому або за допомогою моделі об'єкта контролю, або за допомогою пристрою, що запам'ятовує. По-друге, можна переписати співвідношення (1) у вигляді:

$$z_k^* = \sum_{i=1}^n \beta_k(t_i) y(t_i) - z_{ko}^*, \quad (2)$$

де z_{ko}^* визначається співвідношеннями:

$$z_{ko}^* = \sum_{i=1}^n \beta_k(t_i) y_0(t_i; q_N). \quad (3)$$

Величина z_{ko}^* у загальному випадку зазвичай не дорівнює номінальному значенню величини z_k . Розглянемо функціональну схему автомата контролю, яка виконує обробку вихідного сигналу об'єкта контролю у відповідності до алгоритму (2).

Такий алгоритм обробки при заданому вхідному сигналі є оптимальним в сенсі захищеності від перешкод оскільки він забезпечує найменшу при даному рівні перешкод і даному часі контролю (даній кількості відліків вихідного сигналу), похибка визначення параметрів системи q_i або функцій z_k від параметрів q_i .

Величини $\beta_k(t_i)$ залежать від структури об'єкта контролю, параметрів, які підлягають контролю, і вхідного сигналу.

Вхідний сигнал обирається з умов отримання найбільшої чутливості або точності контролю й в загальному випадку, для різних систем контролю та різному часі контролю може бути різним.

Тому при побудові схеми універсального автомата контролю, який призначений для контролю різних систем, необхідно передбачити в програмі дії розмножувального пристрою вводу різних величин $\beta_k(t_i)$.

Функціональна схема такого розмножувального пристрою спільно з частиною блоку управління, яка належить до нього показана на рис. 1.

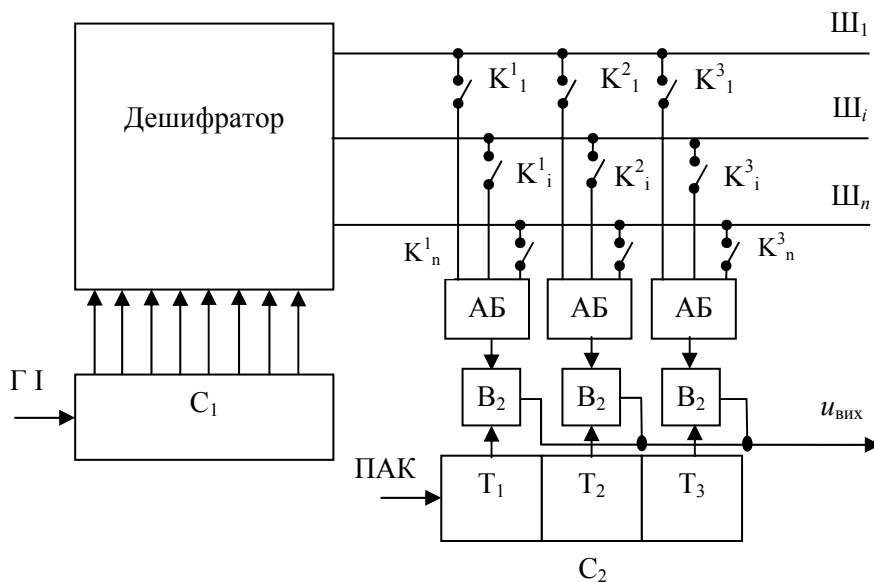


Рис. 1. Функціональна схема розмножувального пристрою

Схема працює так.

Від генератора вхідних сигналів на вхід лічильника C_1 поступають імпульси з інтервалом, який дорівнює часу між відліками вихідного сигналу об'єкта контролю.

При цьому на виході дешифратора послідовно з'являються сигнали на шинах $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$.

Ці сигнали через систему тумблерів K_{ij} і схеми керують роботою вентилів V_1, V_2, V_3 .

Тумблери K_{ij} слугують для установки значень величини $\beta_k(t_i) y(t_i)$ у двійковому коді. На лічильник-дільник C_2 з виходу перетворювача аналог-код (ПАК) надходять пачки імпульсів, про-

порційні миттєвому значенню вихідної напруги у час t_i . Лічильник сукупно з вентилями B_1, B_2, B_3 являє собою розмножувальний пристрій. На вихідній шині $\Pi_{\text{вих}}$ отримується кількість імпульсів, пропорційна добутку $\beta_k(t_i)y(t_i)$.

Ці імпульси поступають на вихідний лічильник реєстрації, на якому фіксується результат вимірювання — величина z_k^* (2). Кількість вихідних шин дешифратора визначається кількістю відліків вихідного сигналу. Якщо величини $\beta_k(t_i)$ на інтервалі вимірювання мають якусь симетрію, то кількість вихідних шин дешифра-

тора і кількість тумблерів K_{ij} може бути відповідно зменшено.

Якщо, наприклад, величини $\beta_k(t_i)$ періодичні в часі, то може бути передбачена циклічна робота схеми.

Кількість вентилів та кількість тригерів лічильника C_2 визначається необхідною точністю завдання величин $\beta_k(t_i)$. Для вимірювання декількох величин z_k^* може бути застосований або паралельний багатоканальний, або послідовний у часі метод роботи схеми. На рис. 2 наведена функціональна блок-схема автомата контролю, який працює відповідно з алгоритмом (2).

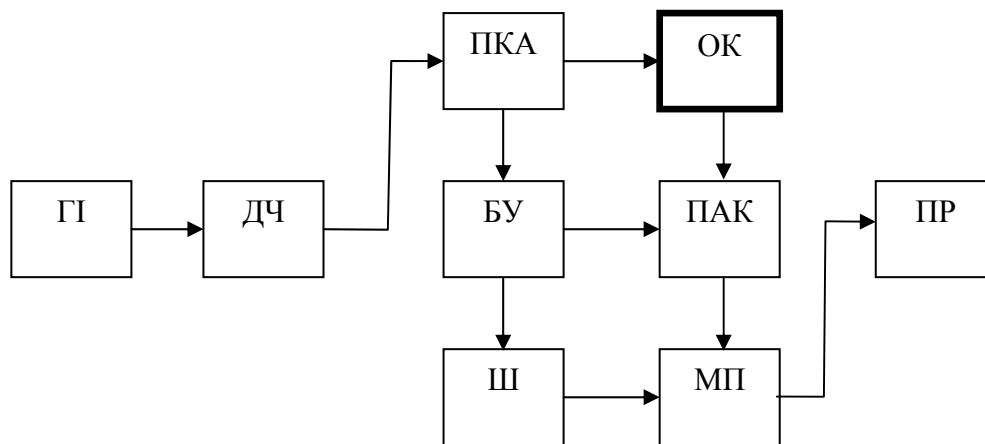


Рис. 2. Функціональна блок-схема автомата контролю

Схема працює так. З кварцового генератора еталонної частоти (ГІ) імпульси поступають на дільник частоти (ДЧ) зі змінним коефіцієнтом ділення. З дільника частоти імпульси через задані інтервали часу поступають у перетворювач код-аналог (ПКА), задаючи опорні часові точки формованого вхідного сигналу. Імпульси з ПКА використовуються для синхронізації роботи блоку керування (БК) і шифратора (Ш). Призначення шифратора полягає в тому, щоб у задані моменти часу вводити у розмножувальний пристрій (РП) коди величин $\beta_k(t_i)$. Блок керування синхронізує роботу ПАК та керує вводом кодів величин $\beta_k(t_i)$ у розмножувальний пристрій.

Формований сигнал надходить з перетворювача код-аналог (ПКА) на вхід об'єкта контролю (ОК). Вихідний сигнал об'єкта контролю надходить на вхід перетворювача аналог-код (ПАК), з виходу якого на розмножувальний пристрій (РП) надходять пачки імпульсів, пропорційні миттєвому значенню вихідної напруги. З розмножувального пристрою пачки імпульсів, пропорційні добутку величин $\beta_k(t_i)y(t_i)$ надходять до вихідного пристрою реєстрації (РР), що являє собою

сумуючий лічильник, де фіксується результат контролю.

Універсальність автомата контролю досягається, по-перше, за рахунок можливої зміни параметрів генератора вхідних сигналів, які дозволяють формувати сигнали різної форми, та, по-друге, за рахунок перебудови аналізатора, що дозволяє проводити обробку вихідного сигналу при різних величинах.

Перебудова параметрів генератора забезпечується наявністю подільника зі змінним коефіцієнтом ділення та зміною напруг на ступенях перетворювача код-аналог. При формуванні постійного за модулем знакозмінної напруги зміни форми кривої може бути досягнуто лише зміною коефіцієнтів ділення дільника частоти. Зміна програми роботи аналізатора при різних значеннях величин $\beta_k(t_i)$ досягається перебудовою шифратора, який керує роботою розмножувального пристрою, відповідно зі схемою рис. 1.

Подальші дослідження будуть спрямовані на спрощення схеми автомата контролю, які можуть бути отримані в різних випадках.

Необхідно розглянути ті спрощення, які отримуються по-перше, за рахунок часткової

втрати універсальності, і, по-друге, за рахунок часткової втрати захисту від перешкод. Оскільки захист від перешкод при даному рівні перешкод залежить від часу контролю, то втрата захисту від перешкод може бути компенсована еквівалентним збільшенням часу контролю.

Істотного спрощення схеми автомат контролю можна домогтися позбувшись від необхідності перебудови перетворювача код-аналог (ПКА) на різні форми кривих та від необхідності перебудови шифратора на різні функції $\beta_k(t_i)$. У принципі це можна зробити у спеціалізованому автоматі, який призначений для контролю систем певної структури. Універсальність при цьому, звичайно, повністю втрачається. Такий шлях може виявитися доцільним або при контролі масової продукції (наприклад, у заводських умовах), або при створенні спеціалізованих контрольних комплексів.

Є, однак, випадки, коли таке спрощення може бути досягнуто відразу для цілого класу об'єктів контролю. Так, у праці [4] показано, що при контролі лінійних систем за великого часу контролю (порівняно з часом перехідного процесу в системі) оптимальним за чутливістю сигналом обмеженої потужності є синусоїдний сигнал. З іншого боку, вихідний сигнал у цьому випадку (при вхідному синусоїдному сигналі) також буде синусоїдним. Тому функції чутливості, а отже, і величини $\beta_k(t_i)$ також будуть синусоїдними функціями.

Таким чином, при контролі довільних лінійних систем можна використовувати синусоїдні вхідні сигнали й тим самим позбавитися від необхідності перебудови перетворювача код-аналог і шифратора, що суттєво спрощує схему автомата контролю. Для отримання необхідної точності при кількості параметрів системи більшому двох вхідний сигнал повинен складатися з декількох синусоїдних сигналів різної частоти. Зміна частоти вхідного синусоїдного сигналу забезпечується подільником частоти зі змінним коефіцієнтом ділення.

Другий можливий шлях спрощення схеми автомата контролю, придатний для контролю як лінійних, так і нелінійних систем, впливає зі спрощення алгоритмів обробки вихідного сигналу об'єкта контролю — вимірювання середнього значення та середньоквадратичного значення сигналу неузгодженості.

Хоча при використанні цих методів не досягається максимально можлива при даному рівні перешкод і даному часі контролю захисту від перешкод, тим не менш за рахунок фільтрації перешкоди при усередненні захист від перешкод

при правильному виборі вхідного сигналу може бути зроблена достатньо високою. Разом з тим за рахунок спрощення алгоритму роботи аналізатора досягається суттєве спрощення автомата контролю.

Висновки

Апаратура контролю систем навігації та управління засобів водного транспорту за своїм функціональним призначенням складається з апаратури генератора вхідних стимулюючих впливів та апаратури, яка призначена для аналізу вихідного сигналу об'єкта контролю. Обґрунтована доцільність і можливість побудови такої апаратури на базі цифрової дискретної техніки.

Застосування цифрової дискретної апаратури контролю дозволяє реалізувати оптимальні методи контролю, забезпечує високу швидкість та точність контролю. Застосування такої апаратури дозволяє автоматизувати процес контролю.

Принципи побудови та створені на основі цих принципів генератори вхідних сигналів дозволяють формувати вхідний сигнал потрібної форми з необхідним ступенем точності.

Розглянуті принципи побудови та різні варіанти конструкції, які реалізують оптимальний алгоритм обробки вихідного сигналу об'єкта контролю. При синусоїдній формі вхідного сигналу автомат контролю може бути виконаний на базі аналізатора частотних характеристик.

Лабораторні випробування та дослідна експлуатація одного з варіантів такого приладу підтвердили правильність покладених в його основу принципів і показали високу точність і надійність приладу.

Автомат контролю, у якому спрощений алгоритм обробки вихідного сигналу зводиться до обчислення середньоквадратичного значення вихідного сигналу неузгодженості, дозволяє визначити сумарну середньоквадратичну різницю відносно номінальних значень всіх параметрів системи і може бути використаний для інтегральної оцінки стану об'єкта контролю. Технічна реалізація такого автомата контролю може бути виконана на базі цифрового вольтметра діючих значень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Герасимов С. В., Дакі О. А., Яковлев М. Ю. Синтез полігармонійного вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикавання. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2018. №79 (2). С. 73–76. doi: 10.23939/istcmtm2018/02/073.
2. Herasimov S., Shapran Yu. and Stakhova M. Measures of efficiency of dimensional control under technical state designation of radio-technical facilities,

Information Processing Systems. (2018). Issue (152). Pp. 148–154. doi: 10.30748/soi.2018.152.21.

3. **Чинков В. Н.**, Крихтін Ю. О. Аналіз сучасного стану та перспективні напрямки синтезу оптимальних полігармонічних сигналів з нормованим спектром для контролю технічного стану зразків озброєння та військової техніки. *Системи обробки інформації*. 2002. Вип. 5(21). С. 214–217.

4. **Bractslavska A.**, Herasimov S., Zubrytskyi H., Tymochko A., Timochko A. Theoretical basic concepts for formation of the criteria for measurement signals synthesis optimality for control of complex radio engineering systems technical status. *Information Processing Systems*. 2017. Issue 5 (151). Pp. 151–157.

5. **Herasimov S.**, Timochko O., Khmelevskiy S. Synthesis method of the optimum structure of the procedure for the control of the technical status of

complex systems and complexes. *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*. 2017. Issue 4 (53). Pp. 148–152.

6. **Nocedal J.**, Wright S. J. Numerical Optimization. New York: Springer-Verlag, 1999. 634 p.

7. **Гоноровский И. С.**, Демин М. П. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1994. 481 с.

8. **Баскаков С. И.** Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высш. шк., 2000. 462 с.

9. **Задирака В. К.** Теория вычисления преобразования Фурье. К.: Наук. думка, 1983. 216 с.

10. **Gander W.**, Gautschi W. Adaptive Quadrature Revisited. 2000. *BIT*, Vol. 40. Pp. 84–101.

11. **Марченко А. Л.**, Марченко Е. А. Основы преобразования информационных сигналов. М.: Горячая линия — Телеком, 2010. 286 с.

Дакі О. А., Кривошей Ф. О., Панов С. Л.

РОЗРОБКА АВТОМАТА КОНТРОЛЮ ЛІНІЙНИХ І НЕЛІНІЙНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТА НАВІГАЦІЇ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Показано, що апаратура контролю систем управління та навігації засобів водного транспорту включає генератор вхідних стимулюючих впливів (тест-сигналів), вимірювальний пристрій, що дозволяє визначати вихідну реакцію об'єкту контролю на вхідний стимулюючий сигнал, пристрій обробки інформації та пристрій реєстрації. Обґрунтовано, що при контролі довільних лінійних систем можна використовувати синусоїдні вхідні сигнали й тим самим позбавитися від необхідності перебудови перетворювача код-аналог і шифратора, що суттєво спрощує схему автомата контролю. Для отримання необхідної точності при кількості параметрів системи більшому двох вхідний сигнал повинен складатися з декількох синусоїдних сигналів різної частоти. Зміна частоти вхідного синусоїдного сигналу забезпечується подільником частоти зі змінним коефіцієнтом ділення.

Ключові слова: автомат контролю; генератор сигналів; технічний стан; принцип роботи.

Daki O. A., Kryvoshey F. O., Panov S. L.

DEVELOPMENT OF AUTOMATION OF CONTROL OF LINEAR AND NONLINEAR CONTROL SYSTEMS AND NAVIGATION OF WATER TRANSPORTATION MEANS

It was shown that the equipment for control of the systems of navigation and navigation of water transport means includes an input stimulator (test signals) generator, a measuring device that allows determining the initial response of the control object to the input stimulus signal, the information processing device, and the registration device. Therefore, to form the input stimulating signal, it is expedient to use generators built on the method of converting code into an analogue. The purpose of the control automaton to determine the technical state of the systems of navigation and navigation of water transport vehicles is to make an opinion on the status of the object of control at the instantaneous values of the output signal at the time interval. It is shown that in the analyzer of discrete action, the measurement of the output signal of the control object is performed at fixed reference points using the converter analog code.

The functional scheme of the multiplication device is presented together with the part of the control unit. The principle of work is considered. The versatility of the proposed control machine is achieved, firstly, by the possible change in the parameters of the generator of input signals, which allow the formation of signals of various forms, and, secondly, by the adjustment of the analyzer, which allows the processing of the output signal at different values.

It is substantiated that in the control of arbitrary linear systems, you can use sinusoidal input signals and thus get rid of the need to rebuild the converter code-analogue and encoder, which greatly simplifies the circuit of the control machine. For the required accuracy with the number of system parameters for more than two input signals must consist of several sinusoidal signals of different frequencies. Changing the frequency of the input sinusoidal signal is provided by a frequency divider with a variable fission factor.

Keywords: automatic control; signal generator; technical condition; principle of operation.

Даки Е. А., Кривошей Ф. А., Панов С. Л.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТА КОНТРОЛЯ ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И НАВИГАЦИИ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Показано, что аппаратура контроля систем управления и навигации средств водного транспорта включает генератор входных стимулирующих воздействий (тест-сигналов), измерительное устройство, позволяющее определять исходную реакцию объекта контроля на входной стимулирующий сигнал, устройство обработки информации и устройство регистрации. Обосновано, что при контроле произвольных линейных систем можно использовать синусоидальные входные сигналы и тем самым избавиться от необходимости перестройки преобразователя код-аналог и шифратора, что существенно упрощает схему автомата контроля. Для получения необходимой точности при количестве параметров системы больше двух входной сигнал должен состоять из нескольких синусоидальных сигналов разной частоты. Изменение частоты входного синусоидального сигнала обеспечивается делителем частоты с переменным коэффициентом деления.

Ключевые слова: автомат контроля; генератор сигналов; техническое состояние; принцип работы.

Стаття надійшла до редакції 21.10.2018 р.

Прийнято до друку 07.12.2018 р.