

РОЗДІЛ 5

ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Чебан В.І. Державний університет інфраструктури та технологій, старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті, м.Ізмаїл

ОБҐРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ОПТИМАЛЬНОСТІ СИНТЕЗУ ТЕСТОВИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Постановка проблеми. РТС, що входить до складу РНК засобів водного транспорту, призначена для перетворення вхідного тестового сигналу $u(t)$ у вихідний сигнал $y(t)$. У загальному випадку може бути кілька паралельних вхідних і вихідних сигналів, тому маємо вектори вхідних і вихідних сигналів. Якість перетворення описується оператором системи $\Phi(\{u\})$ і це перетворення можна записати у вигляді $y = \Phi(\{u\})$.

Мета статті – обґрунтування критеріїв оптимальності синтезу тестових сигналів для контролю радіонавігаційних комплексів.

Виклад основного матеріалу. Для лінійних ОК з зосередженими параметрами оператор $\Phi(\{u\})$ залежить від кінцевої кількості параметрів. Якщо $G(p)$ – лапласівське зображення передатної функції ОК

$$G(p) = \frac{\sum_{i=1}^m b_i p^i}{\sum_{j=1}^n a_j p^j},$$

де a_j, b_i – коефіцієнти, $j = \overline{1, n}$, $i = \overline{1, m}$;

m, n – кількість параметрів контролю вихідного та вхідного тестового сигналу відповідно, то за такі параметри можна взяти, наприклад, коефіцієнти a_j і b_i або їх комбінації (коефіцієнт підсилення, постійні часу та затухання,

власні частоти), а для електричних систем – активний опір, індуктивність або ємність [1].

Оператор нелінійного ОК не визначається кінцевою кількістю параметрів. Але з відомим ступенем точності його завжди можна апроксимувати оператором (у загальному випадку нелінійним), але залежним від кінцевої кількості параметрів. Так, наприклад, якщо ОК вміщує ланки типу елементів з насиченням, то, представивши характеристику такої ланки на окремих ділянках відповідної функції апроксимації (відрізками прямих, арктангенсом, гіперболічним тангенсом тощо), можна за параметри контролю взяти параметри цих апроксимуючих функцій.

Позначимо параметри контролю технічного стану РНК засобів водного транспорту вектором $q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$, $j = \overline{1, n}$, так, що оператор ОК $\Phi(\{u\})$ буде функцією цих параметрів: $\Phi(\{u\}) = \Phi(q_1, q_2, \dots, q_n)$. Значення параметрів q_j є випадковими величинами, які в процесі зберігання та експлуатації ОК можуть змінюватися. Вважаємо в процесі контролю ці параметри незмінними, тому що час контрольних операцій зазвичай значно менший за час зміни параметрів [1,2].

Таким чином, технічний стан РНК засобів водного транспорту визначається вектором параметрів $q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$. Якщо відома апіорна функція розподілу параметрів (щільність розподілу якої ρ_1) або дисперсія параметрів і кореляційні зв'язки між ними, то відома й апіорна область, в якій знаходиться вектор q – апіорна область «відхилень» параметрів контролю комплексу (рис. 1). Чим меншою є апіорна інформація про ОК, тим ширшою є ця область «відхилення». Інформація, отримана за результатами контролю, уточнює функцію розподілу параметрів q_j , отже область «відхилення» параметрів звужується – апістеріорна область ρ_2 (рис. 1) [3, 5].

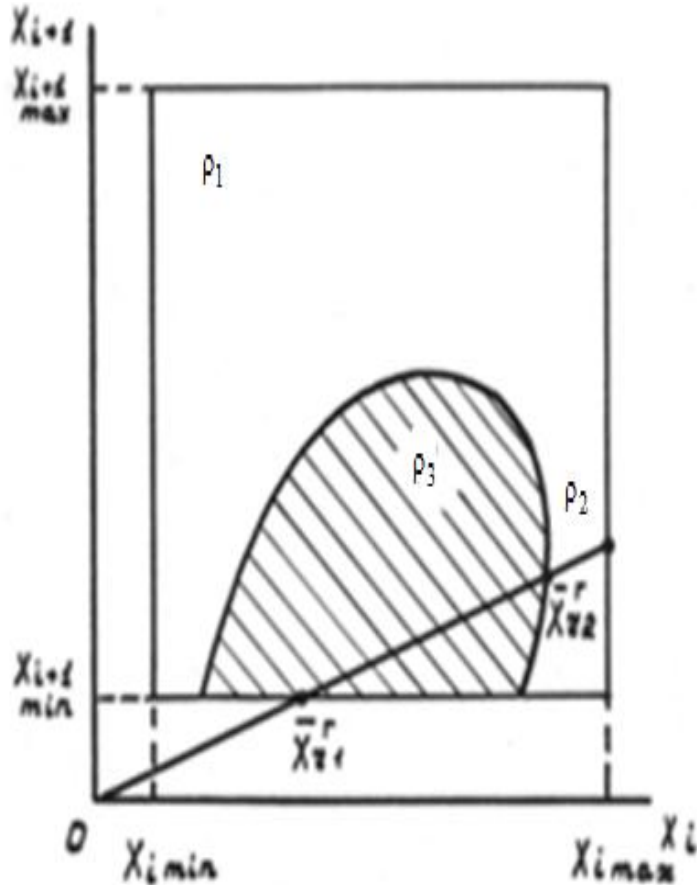


Рисунок 1 – Область відхилення параметрів контролю
РНК

Чим точнішим та повнішим є проведений контроль, тим вузкою є апостеріорна область. Тому основою запропонованого методу обґрунтування критеріїв оптимальності синтезу складних тестових сигналів є розрахована апостеріорна область ρ_3 .

Часто метою контролю є визначення не самих параметрів q_j , а якоїсь функції від цих параметрів $Z = f(q_1, q_2, \dots, q_n)$, тобто визначення технічного стану ОК за узагальненим параметром. Хоча функція Z (при $m < n$) несе меншу інформацію про ОК, ніж повний набір величин q_j , однак у більшості випадків вдалий вибір відносно невеликої кількості параметрів $z_i, i = \overline{1, m}$ вважається

достатнім для порівняно повної оцінки якості ОК, а з іншого боку, може істотно спростити контроль. Іноді параметри z_i можуть співпадати з q_j .

Отже, вихідний сигнал $y(t)$ є функцією від параметрів контролю q_j і функціоналом від вхідного тестового сигналу $u(t)$: $y = y_0(\{u\}, q, t)$. На цей вихідний сигнал накладаються завади, що виникають через похибку генератора, різного роду зовнішні завади, наводки і похибки ЗВТ. Ці завади з відомим ступенем точності можна вважати адитивними. Тоді вихідний сигнал можна записати так [4, 6]

$$y(t) = y_0(\{u\}, q, t) + \xi(t). \quad (1)$$

До завади необхідно віднести також складові вихідного сигналу, обумовлені відхиленням від номінальних значень тих параметрів, які не підлягають визначенню в результаті контролю. З цієї точки зору складова вихідного сигналу, зумовлена відхиленням від номінальних значень параметрів, які підлягають визначенню, є корисним сигналом.

Задача синтезу вхідного складного тестового сигналу при контролі технічного стану РНК засобів водного транспорту набуває сенс тільки при врахуванні названих завад. Інакше, при відсутності завади, для визначення n параметрів контролю системи $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ достатньо провести вимірювання значень вихідного сигналу $y(t)$ в точках $\{t_1, t_2, \dots, t_s\}$, де s – кількість моментів відліку (точок дискретизації), і розв'язати систему рівнянь, складену для моментів часу $\{t_1, t_2, \dots, t_s\}$ відносно параметрів $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$.

Вибір вхідного тестового сигналу $u(t)$ значною мірою довільний. Єдиним обмеженням є те, що Якобіан відповідної системи рівнянь $J = \det \left| \frac{\partial y_0(t_k)}{\partial q_j} \right|$ не перетворюється в нуль. Усі вхідні сигнали $u(t)$, для яких $J \neq 0$, є

рівнозначними, тобто немає необхідності визначати оптимальний вихідний сигнал [5, 8].

Оскільки в реальних РНК засобів водного транспорту наведені вище завади можуть вносити значні похибки, то методика контролю без їх врахування достатньо наближена, що, в свою чергу, знижує достовірність контролю.

Тому необхідно проводити контроль комплексів з урахуванням завад вихідного сигналу. Задача контролю комплексів з урахуванням завад, що вносяться складовими комплексу (внутрішніми шумами), вимірювальними приладами й іншими факторами, може бути розв'язана за допомогою запропонованої оптимальної методики контролю в рамках методу обґрунтування критеріїв оптимальності синтезу складних тестових сигналів.

Сформулюємо задачу визначення оптимальної методики контролю. Оптимальною є така методика, яка при заданій апріорній області «відхилення» параметрів ОК, заданому рівні завади, необхідному часі контролю дозволяє максимально звужити апостеріорну область «відхилення» параметрів системи (або функції цих параметрів). Еквівалентній попередній постановці задачі є задача визначення методики, яка забезпечує мінімальний час контролю при заданій апріорній області «відхилення» параметрів контролю, заданих розмірах апостеріорної області, або задача визначення методики, яка дозволяє при фіксованих умовах максимально знизити необхідну точність вимірювальних приладів. Вибір еквівалентних постановок задачі визначається конкретними ситуаціями [6, 9].

Визначення оптимальної методики контролю технічного стану РНК засобів водного транспорту складається з декількох, не зв'язаних одна з іншою, задач.

По-перше, необхідно встановити кількісну оцінку методики контролю. Така оцінка повинна бути зв'язана з розмірами апостеріорної області «відхилення» параметрів z_i . Вся інформація про параметри z_i , отримана за

результатами контролю, міститься у функції розподілу $\rho(z/y)$, яка надає імовірність для різних значень z_i , за умови, що на виході комплексу, що контролюється, спостерігалася реакція $y(t)$. Апостеріорна область «відхилення» параметрів z_i є областю, імовірність знаходження всередині якої для z_i більше деякої встановленої ймовірності. Якщо є декілька параметрів, то для завдання цієї області необхідно відповідно декілька величин (наприклад, при нормальному законі розподілу можна задавати півосі еліпсоїду розсіювання).

Різні статистичні оцінки якості контролю інакше зв'язані з величинами, які характеризують область «відхилення». Виняток складає випадок однієї змінної, коли практично всі оцінки еквівалентні [7, 10].

По-друге, після встановлення кількісної міри оцінки необхідно вибрати такі вхідні впливи на ОК, які б забезпечували для даного об'єкта максимальне значення цієї кількісної оцінки. Визначення оптимальних тестових сигналів полягає для різних класів ОК у розв'язанні різних варіаційних задач [8, 11, 12].

При аналізі статистичних оцінок якості контролю будемо вважати, що зразковий (номінальний) вихідний сигнал $y_0(\{u\}, q, t)$ може бути розкладений у ряд за відхиленнями параметрів q_j від номінальних значень q_{0j} : $\Delta q_j = q_j - q_{0j}$. Утримуючи перший член цього розкладу отримаємо:

$$\Delta y = \sum_{j=1}^n a_j(\{u\}, q_0, t) \Delta q_j + \xi(t), \quad (2)$$

де $\Delta y = y_j(\{u\}, \{q\}, t) - y_0(\{u\}, q_0, t)$;

$$a_j(\{u\}, q_0, t) = \left. \left(\frac{\partial y(\{u\}, q, t)}{\partial q_j} \right) \right|_{q_j = q_{j0}}.$$

Аналогічно, розкладаючи величини $z_i(q_j)$, отримаємо для відхилень:

$$\Delta z_i \approx \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \Delta q_j, \quad (3)$$

де $\Delta z_i = z_i(q) - z_i(q_0)$;

$$\alpha_{ij} = \left. \left(\frac{\partial z_i}{\partial q_j} \right) \right|_{q_j = q_{j0}}.$$

Доведемо правильність (адекватність) розкладів (2) і (3).

Під час контролю технічного комплексу необхідно вдосконалити методику контролю у випадках, коли відхилення параметрів невеликі, таким чином, що чутливості та точності вимірювальної апаратури при заданому часі, відведеному на контроль, виявляється недостатньо для виявлення цих відхилень або для визначення їх величини з потрібним ступенем точності. Тому методика контролю, яка є оптимальною при малих відхиленнях параметрів і за рахунок отримання максимально можливої чутливості й точності, що дозволяє виявляти такі відхилення, буде придатна й при нелінійних відхиленнях параметрів. При малих відхиленнях параметрів для визначення величини цих відхилень може бути застосована лінійна обробка сигналу $\Delta y(t)$. Оцінки параметрів q_j або z_i будуть лінійними функціями від значення вихідного сигналу $\Delta y(t)$ [9, 10, 13].

Якщо відхилення дійсно є малими, то лінійна обробка вихідного сигналу дозволяє визначити величину відхилень параметрів від номінальних значень. Якщо в результаті застосування методики обробки вихідного сигналу (співвідношення (2) і (3)) будь-які параметри будуть поза границями області лінійності, то в цьому випадку значення відхилень визначені не будуть, а буде встановлено факт виходу параметрів за ці границі. Ситуація, в якій комбінація великих відхилень декількох параметрів призводить до малого відхилення

якості комплексу від номінальних, малоймовірно, особливо при контролі достатньо великої кількості параметрів такого комплексу.

Для визначення величини відхилення параметра при великих відхиленнях необхідно застосувати нелінійну обробку вихідного сигналу. Методика контролю, за винятком останньої стадії обробки вихідного сигналу, може базуватися на співвідношеннях (2) і (3) [9, 10, 14].

Для лінійних ОК можна провести оцінку точності наближення (2). З цією метою передатну функцію ОК напишемо у вигляді [15, 16]:

$$G(p) = k_{\Pi} \prod_{i=1}^m (\tau_i p + 1) / \prod_{j=1}^n (T_j p + 1),$$

де k_{Π} – коефіцієнт підсилення.

Серед величин τ_i і T_j при наявності коливальних ланок можуть бути пари комплексно зв'язаних величин. Якщо взяти за параметри Δq_j відносні уходи величин k_{Π} , τ_i і T_j від їх номінальних значень $k_{\Pi 0}$, τ_{i0} і T_{j0} , тобто

$$\Delta q = \left\{ \frac{\Delta k_{\Pi}}{k_{\Pi 0}}, \frac{\Delta \tau_i}{\tau_{i0}}, \frac{\Delta T_j}{T_{j0}} \right\},$$

то для величин $G(p)$ отримаємо [17]:

$$G(q_0 + \Delta q) = G(q_0) (1 + \delta k_{\Pi}) \prod_{i=1}^m (1 + \gamma_i + \delta \tau_i) / \prod_{j=1}^n (1 + \gamma'_j + \delta T_j), \quad (4)$$

$$\text{де } \delta k = \frac{\Delta k_{\Pi}}{k_{\Pi 0}}; \quad \gamma_i = \frac{1}{\tau_i p}; \quad \gamma'_j = \frac{1}{T_j p}; \quad \delta \tau_i = \frac{\Delta \tau_i}{\tau_{i0}}; \quad \delta T_j = \frac{\Delta T_j}{T_{j0}}.$$

Оскільки величини γ_i і γ'_j за модулем не перевершують одиниці ($|\gamma_i| \leq 1$, $|\gamma'_j| \leq 1$), то останній член у формулі (4) буде мати порядок $O(\Delta q')$.

Висновки. Можна вважати, що процес ортогоналізації виконаний і всі змінні статистично незалежні й мають одиничні дисперсії. При необхідності можна повернутися до початкових статистично залежних змінних. Доведене відноситься також і до змінних z_i , які також можна вважати статистично незалежними.

Список літератури

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 400 с.
2. Чинков В.М., 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.
3. Герасимов Б.М., Дивизинюк М.М., Субач І.Ю. Системи підтримки прийняття рішень: проектування, застосування, оцінка ефективності. Севастополь: Изд. Центр СНИЯЭ и П, 2004. 318 с.
4. Герасимов С.В., Козлов В.Є., Шамаєв Ю.П. Метрологічна надійність засобів вимірювальної техніки: навчальн. посіб. Х.: ХВУ, 2006. 175 с.
5. Варжапетян А.Г., Глуценко Д.В. Системы управления: учебное пособие. М.: Вузовская книга, 2000. 328 с.
6. Василенко В.М., Вечурко О.М., Штрибець В.В. Модель оцінки спектральної щільності потужності випадкових сигналів морських навігаційних приладів. *Наукоємні технології*. 2018. №4 (40). С. 487–491.
7. Величко О.М., Коцюба А.М., Новиков В.М. Основи метрології та метрологічна діяльність. К: Техніка, 2000. 228 с.
8. Вишневецький В.І. Дніпро біля Києва. К.: Інтерпрес ЛТД, 2005. 100 с.

9. Дакі О.А., Трофіменко А.О., Штрибець В.В. Аналіз методів формування вимірювальних сигналів для контролю систем навігації. *Наукоємні технології*. 2019. № 1(41). С. 88–94. DOI: 10.18372/2310-5461.41.13534.
10. Данилов А.А. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Пенза: Професионал, 2008. 63 с.
11. Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления / под ред. Н.Д. Егупова. Том 3. Методы современной теории автоматического управления. М.: Изд. МГТУ, 2000. 748 с.
12. Измерительные информационные системы / под общей ред. Н.А. Рубичева. М.: Дрофа, 2010. 334 с.
13. Чинков В.Н., Крыхтин Ю.А. Адаптивный метод нахождения модуля амплитудного значения полигармонического сигнала. *Системи обробки інформації*. 2005. Вип. 2(42). С. 141–145.
14. Чинков В.М., Герасимов С.В. Варіаційний метод і методики синтезу оптимального вимірювального сигналу для контролю технічного стану системи автоматичного управління. *Український метрологічний журнал*. 2014. № 1. С. 59–64.
15. Чинков В.М., Крихтін Ю.О. Синтез бінарного сигналу з рівномірним спектром за критерієм мінімуму розкиду амплітуд корисних гармонік методом послідовного квадратичного програмування. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. 2006. Вип. 3(9). С. 144–147.
16. Шестеркин А.Н. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10. М.: ДКМ Пресс, 2012. 360 с.
17. Шильман С.В. Адаптивные фильтры Кальмана. Докл. РАН. 1994. Т. 338. № 6. С. 724–744.