

Юрій Борисович Прібілєв (канд. техн. наук, доцент)

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТРОЛЬНО-ВИПРОБУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ

У статті наведено розрахунок точностних характеристик основних складових КВС, що дозволяє врахувати вимоги замовника щодо якісних характеристик КВС. Розраховані точностні характеристики основних структурних складових КВС: генератору сигналів-стимулів, блоку вимірювачів і джерела еталонних сигналів. Запропонований вибір типу і величини сигналу-стимулу, вимірюваного сигналу, еталонного сигналу. Зроблений розрахунок номінальних значень параметрів генератора сигналів-стимулів, вимірювача і джерела еталонних сигналів. Обґрунтований вибір з технічних міркувань допусків на елементи, що складають генератор сигналів-стимулів, блок вимірювачів та джерело еталонних сигналів. Наведено розрахункові формули, що зв'язують величини сигналу-стимулу, вимірюваного сигналу і еталонного сигналу з параметрами елементів генератора сигналів-стимулів з урахуванням помилок. Вихідними даними для розрахунків є номінальне значення, поле допуску і максимальна помилка КВС. Наведений вираз для визначення середнього квадратичного відхилення регульованого параметра, що визначається помилкою приладу з урахуванням помилки регулювання. У якості прикладу проведений розрахунок точності підсилювача КВС з допустимими відхиленнями коефіцієнта підсилення.

Ключові слова: контрольно-випробувальна станція, технічний стан, контрольований параметр, помилка КВС.

Вступ

Готовність зенітних ракетних комплексів (ЗРК) залежить від технічного стану (ТС) зенітних керованих ракет (ЗКР), який контролюється за допомогою контрольно-випробувальних станцій (КВС). Але зростання темпів старіння озброєнь та військової техніки зенітних ракетних військ [1] має наслідком те, що існуючі КВС, які є на постачанні ЗС України, не завжди забезпечують достовірний контроль ТС ЗРК.

Постановка проблеми.

Розробка нових ЗРК супроводжується зростанням їх складності та технологічного рівня. Тому одночасно з побудовою нових зразків ЗКР та модернізацією існуючих ЗКР актуальною проблемою є побудова сучасних КВС, які є основним джерелом достовірної інформації про технічний стан (ТС) ЗКР [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ЗКР є складною технічною системою, яка характеризується різноманітними показниками, які необхідно контролювати під час експлуатації [3]. Розробкою методів технічної експлуатації ЗКР і підтримання готовності ЗРК займалися автори [4, 5]. У роботі [2] запропонований підхід до побудови уніфікованої універсальної автоматизованої КВС, на основі якого у статті [6] розроблений метод синтезу структури КВС на базі уніфікованого ряду програмно-апаратних блоків. У корисній моделі [7] наведений спосіб синтезу КВС за допомогою дерева функцій, що описує функціональну організацію системи. Але особливості розрахунку характеристик КВС, що дозволяють врахувати вимоги замовника щодо

якісних характеристик КВС, ще не були розглянуті.

Метою статті є визначення особливостей розрахунку точностних характеристик основних складових КВС, що дозволяють врахувати вимоги замовника щодо якісних характеристик КВС.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо основні особливості розрахунку характеристик КВС, що дозволяє виконати вимоги замовника щодо побудови КВС. Основними структурними складовими будь-якої КВС, що визначають точність оцінки контрольованих характеристик ЗКР (і пов'язаних з ними контрольованих параметрів), є генератор сигналів-стимулів, блок вимірювачів (або блок порівнювання) і джерело еталонних сигналів. Розрахунок точностних характеристик КВС полягає у виборі типу і величини сигналу-стимулу, типу і діапазону зміни вимірюваного сигналу, типу і величини еталонного сигналу, у розрахунку номінальних значень параметрів генератора сигналів-стимулів, вимірювача і джерела еталонних сигналів, у виборі допусків на елементи, що складають генератор сигналів-стимулів, вимірювач і джерело еталонних сигналів.

Вихідними даними для розрахунків є номінальне значення контрольованого параметру C_0 , поле допуску $(+\Delta_1C, -\Delta_2C)$ і максимальна помилка КВС або у відсотках, або в одиницях контрольованого параметра (якщо $C_0 = 0$).

Звичайно середня квадратична помилка КВС:

$$\Delta_k = 3\sigma_k \text{ та } \delta = \frac{3\sigma_k}{C_0 - \Delta_1 C}.$$

Тип і діапазон зміни вимірюваного сигналу вибирають у залежності від контрольованого параметру, поля допуску його, видом і величиною сигналу-стимулу. Характер контрольованого параметру визначає вид сигналу-стимулу і тип вимірюваного сигналу. При проведенні контролю слід вибирати такі сигнали-стимули, за яких вимірюваний сигнал має максимальну чутливість до зміни контрольованого параметра. Вимірюваний сигнал $Y_{\text{вих}}$ залежить від величини сигналу-стимулу $Y_{\text{вх}}$ і контрольованого параметра C : $Y_{\text{вих}} = f(Y_{\text{вх}}, C)$.

При контролі вибирається визначена величина сигналу-стимулу $Y_{\text{вх}}$, при якій діапазон зміни вимірюваного сигналу ($Y_{\text{вих}_{\text{max}}} - Y_{\text{вих}_{\text{min}}}$) має максимальну величину, причому:

$$\begin{aligned} Y_{\text{вих}_{\text{max}}} &= f(Y_{\text{вх}}, C_0 + \Delta_1 C); \\ Y_{\text{вих}_{\text{min}}} &= f(Y_{\text{вх}}, C_0 - \Delta_2 C). \end{aligned} \quad (1)$$

Тип і величина еталонного сигналу визначаються типом і величиною вимірюваного сигналу і вибираються за умов:

$$Y_{\text{вих}_{\text{max}}} = Y_{\text{ет}_1}; \quad Y_{\text{вих}_{\text{min}}} = Y_{\text{ет}_2}. \quad (2)$$

Вибрав типи і величини сигналу-стимулу, вимірюваного сигналу і еталонного сигналу, проводять розрахунок параметрів генератора сигналів-стимулів, вимірювача і джерела еталонних сигналів.

Вибір допусків на елементи КВС проводиться наступним чином. Помилка КВС є заданою та визначається виразом:

$$\sigma_k = \sqrt{\left(\frac{\partial \phi}{\partial Y_{\text{вх}}}\right)_0^2 \sigma_{Y_{\text{вх}}}^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial Y_{\text{вих}}}\right)_0^2 \sigma_{Y_{\text{вих}}}^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial Y_{\text{ет}}}\right)_0^2 \sigma_{Y_{\text{ет}}}^2}, \quad (3)$$

де похідні $\left(\frac{\partial \phi}{\partial Y_{\text{вх}}}\right)_0$ і $\left(\frac{\partial \phi}{\partial Y_{\text{вих}}}\right)_0$ визначаються у залежності від виду функції $C = \phi(Y_{\text{вх}}, Y_{\text{вих}})$.

Тому з технічних міркувань вибирають похибки генератора сигналу-стимулу $\sigma_{Y_{\text{вх}}}$, вимірювача $\sigma_{Y_{\text{вих}}}$ і джерела еталонних сигналів $\sigma_{Y_{\text{ет}}}$ так, щоб:

$$\sigma_k \geq \sqrt{\left(\frac{\partial \phi}{\partial Y_{\text{вх}}}\right)_0^2 \sigma_{Y_{\text{вх}}}^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial Y_{\text{вих}}}\right)_0^2 \sigma_{Y_{\text{вих}}}^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial Y_{\text{ет}}}\right)_0^2 \sigma_{Y_{\text{ет}}}^2}. \quad (4)$$

Вибравши помилки $\sigma_{Y_{\text{вх}}}$, $\sigma_{Y_{\text{вих}}}$, $\sigma_{Y_{\text{ет}}}$ і маючи розрахункові формули, що зв'язують величини сигналу-стимулу, вимірюваного сигналу і еталонного сигналу з параметрами елементів генератора сигналів-стимулів:

$$Y_{\text{вх}} = \phi_1(\alpha_{1\Gamma}, \alpha_{2\Gamma}, \dots, \alpha_{n\Gamma}),$$

вимірювача:

$$\frac{Y_{\text{вх}}}{Y_{\text{вих}}} = \phi_2(\alpha_{1\text{В}}, \alpha_{2\text{В}}, \dots, \alpha_{n\text{В}}),$$

і джерела еталонних сигналів:

$$Y_{\text{ет}} = \phi_3(\alpha_{1\text{ет}}, \alpha_{2\text{ет}}, \dots, \alpha_{n\text{ет}}),$$

проводимо розрахунок допусків на параметри елементів:

$$\alpha_{1\Gamma}, \alpha_{2\Gamma}, \dots, \alpha_{n\Gamma}; \alpha_{1\text{В}}, \alpha_{2\text{В}}, \dots, \alpha_{n\text{В}}; \alpha_{1\text{ет}}, \alpha_{2\text{ет}}, \dots, \alpha_{n\text{ет}}).$$

Розрахунок проводимо за формулою:

$$\sigma_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \phi}{\partial \alpha_i}\right)_0^2 \sigma_{\alpha_i}^2}. \quad (5)$$

У багатьох випадках залежності між окремими елементами можуть бути представлені у вигляді:

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i \text{ або } Y = \prod_{i=1}^n a_i.$$

Для першого випадку $\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{a_i}^2}$, а для другого (у разі однакового закону розподілу ймовірностей Y та a_i) $\sigma_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{a_i}^2}$.

Для ланцюгу з n однакових елементів, які з'єднані функціонально послідовно:

$$\text{— якщо } Y = na, \text{ то } \sigma_Y = \sigma_a \sqrt{n}, \text{ або } \delta_Y = \frac{\delta_a}{\sqrt{n}};$$

$$\text{— якщо } Y = a^n, \text{ то } \delta_Y = \delta_a \sqrt{n}.$$

Точний розрахунок допусків досить складний, тому часто допуски призначаються наближено, а потім коригуються. Після наближеного призначення допусків проводиться оцінка точності блоку КВС, для чого розраховується його помилка і порівнюється із заданою.

Якщо після оцінки точності вузла виходить, що:

$$\sigma_Y \leq \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Y}{\partial a_i}\right)_0^2 \sigma_{a_i}^2}, \quad (6)$$

то необхідно спробувати звужити допуски на параметри елементів у B разів:

$$B = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Y}{\partial a_i}\right)_0^2 \sigma_{a_i}^2}}{\sigma_Y}. \quad (7)$$

Часто важко знайти елементи з такими жорсткими допусками. У цих випадках потрібно проводити регулювання. При регулюванні середнє квадратичне відхилення регульованого параметра визначається помилкою приладу з урахуванням помилки регулювання $\sigma_{a_{\text{рег}}}$. При регулюванні m з n параметрів сумарне середнє квадратичне відхилення регульованого параметра визначається виразом:

$$\sigma_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial \Psi}{\partial a_i} \right)_0^2 \sigma_{a_{iper}}^2 + \sum_{i=m+1}^n \left(\frac{\partial \Psi}{\partial a_i} \right)_0^2 \sigma_{a_i}^2} \quad (8)$$

Для регулювання необхідно вибрати стільки параметрів, щоб значення σ_Y було не більше необхідного.

Для прикладу розглянемо розрахунок точності підсилювача КВС з коефіцієнтом підсилення k_0 і допустимими відхиленнями коефіцієнта підсилення $\pm 20\%$ в зоні лінійності, що обмежена величиною вихідної напруги $U_{\text{л}}$. Припустимо, що заданим помилкам α і β відповідає помилка оцінки коефіцієнта підсилення $\delta_k = 3\%$. За вказаними вимогами слід вибрати величину вхідної напруги $U_{\text{вх}}$ і точність її завдання $\delta_{U_{\text{вх}}}$, величину вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ і точність її вимірювання $\delta'_{U_{\text{вих}}}$, величини еталонних напруг $U_{\text{ет}}$ і точність їх завдання $\delta_{U_{\text{ет}}}$.

Звичайно у підсилювачі простіше оцінювати максимумально можливу напругу, яка обмежена зоною лінійності. Максимум вхідної (і вихідної) напруги визначається за формулою:

$$U_{\text{л}} \geq U_{\text{вих}_{\text{max}}} = k_{\text{max}} U_{\text{вх}} = 1,2k_0 U_{\text{вх}}$$

При цій умові величина мінімально допустимої вихідної напруги дорівнює:

$$U_{\text{вих}_{\text{min}}} = 0,8k_0 U_{\text{вх}}$$

Величини еталонної напруги вибираються за умови:

$$U_{\text{ет}_1} = U_{\text{вих}_{\text{max}}}; \quad U_{\text{ет}_2} = U_{\text{вих}_{\text{min}}}$$

Так як коефіцієнт підсилення: $k = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}}$, то

$$\delta_k = \sqrt{\delta_{U_{\text{вх}}}^2 + \delta_{U_{\text{вих}}}^2}$$

Похибка $\delta_{U_{\text{вих}_{\Sigma}}}$ складається з похибки вимірювача $\delta_{U_{\text{вих}}}$ і похибки завдання еталонної напруги $\delta_{U_{\text{ет}}}$.

Оцінка підсилювача проводиться у залежності від знака різниці $U_{\text{вих}} - U_{\text{ет}}$.

Література

1. Карпенко Д.В. Стан та перспективи розвитку зенітного ракетного озброєння Повітряних Сил Збройних Сил України: Науковий журнал "Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України". 2017. № 2(27). С.75–78. 2. Прибілев Ю.Б. Підхід до побудови уніфікованої універсальної автоматизованої контрольно-випробувальної станції ракетного озброєння. / Ю. Б. Прибілев, Л. В. Сакович. // Наука і оборона. – 2017. – № 1. – С. 42-48. 3. Архангельский И. И. Проектирование зенитных управляемых ракет. / И. И. Архангельский П. П. Афанасьев, И. С. Голубев, В. Г. Светлов и др. – М.: МАИ, 2001. – 732 с. 4. Гриб Д. А. Удосконалення методів технічної експлуатації і ремонту як основа підтримання

$$\text{Тому } \sigma_{U_{\text{вих}}} = \sqrt{\sigma_{U_{\text{вих}}}^2 + \sigma_{U_{\text{ет}}}^2}, \quad \delta_{U_{\text{вих}}} = \frac{3\sigma_{U_{\text{вих}}}}{U_{\text{вих}}}$$

$$\text{і } \delta_{U_{\text{ет}}} = \frac{\sigma_{U_{\text{ет}}}}{U_{\text{ет}}} \text{ для нормального закону розподілу}$$

помилки.

Зручніше мати однотипні джерела еталонної напруги, сигналів-стимулів і вимірювачів, для яких:

$$\sigma_{U_{\text{вих}}} = \sigma_{U_{\text{ет}}} = \sigma,$$

$$\text{та } \delta_{U_{\text{вих}}} = \delta_{U_{\text{вх}}} = \delta_{U_{\text{ет}}} = \sigma.$$

$$\text{Тоді: } \delta_{U_{\text{вих}_{\Sigma}}} = \sigma\sqrt{2}, \quad \delta_k = \sqrt{\delta_{U_{\text{вх}}}^2 + 2\delta^2} = \delta\sqrt{3}.$$

Звідки:

$$\delta\sqrt{3} = 3\%, \quad \delta = \delta_{U_{\text{вх}}} = \delta_{U_{\text{вих}}} = \delta_{U_{\text{ет}}} = \sqrt{3}\% \cong 1,7\%.$$

Наведені особливості розрахунку основних точностних характеристик КВС дозволяють врахувати вимоги замовника щодо якісних характеристик КВС.

Висновки

Таким чином, у статті наведені аналітичні співвідношення, що дозволяють розрахувати точностні характеристики основних складових КВС, що дозволяє виконати вимоги замовника щодо якісних характеристик КВС. Розглянуто основні структурні складові КВС: генератор сигналів-стимулів, блок вимірювачів і джерело еталонних сигналів. Запропонований вибір типу і величини сигналу-стимулу, вимірюваного сигналу, еталонного сигналу.

Зроблений розрахунок номінальних значень параметрів генератора сигналів-стимулів, вимірювача і джерела еталонних сигналів. Обґрунтований вибір з технічних міркувань допусків на елементи, що складають генератор сигналів-стимулів, вимірювач і джерело еталонних сигналів.

Наведений вираз для визначення середнього квадратичного відхилення регульованого параметра, що визначається помилкою приладу з урахуванням помилки регулювання. У якості прикладу проведений розрахунок точності підсилювача КВС з допустимими відхиленнями коефіцієнта підсилення.

боеготового стану зенітного ракетного озброєння в сучасних умовах [Текст] / Д. А. Гриб, Б. М. Ланецький, В. В. Лук'ячук // Наука і оборона. – 2012. – №3. – С. 55-63. 5. Пермяков О. Ю. Модель системи діагностування, технічного обслуговування та ремонту складних технічних систем військового призначення. / О. Ю. Пермяков, Ю. Б. Прибілев, О. О. Дюбанов. // Наука і оборона. – 2016. – № 2. – С. 48-52. 6. Прибілев Ю. Б. Метод синтезу структури контрольно-випробувальної станції / Ю. Б. Прибілев // Науковий журнал „Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони“. К.: НУОУ, вип. №2(29), 2017, с.65-70. 7. Прибілев Ю. Б. Спосіб синтезу структури автоматизованої системи контролю та

ОСОБЕННОСТИ РАССЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК КОНТРОЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

Юрий Борисович Прибылев (канд. техн. наук, доцент)

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

В статье приведен расчет точностных характеристик основных составляющих КВС, что позволяет учесть требования заказчика относительно качественных характеристик КВС. Рассчитаны точностные характеристики основных структурных составляющих КВС: генератора сигналов-стимулов, блока измерителей и источника эталонных сигналов. Предложен выбор типа и величины сигнала-стимула, измеряемого сигнала, эталонного сигнала. Произведен расчет номинальных значений параметров генератора сигналов-стимулов, измерителя и источника эталонных сигналов. Обоснован по техническим соображениям выбор допусков элементов, составляющих генератор сигналов-стимулов, блок измерителей и источник эталонных сигналов. Приведены расчетные формулы, связывающие величины сигнала-стимула, измеряемого сигнала и эталонного сигнала с параметрами элементов генератора сигналов-стимулов с учетом ошибок. Исходными данными для расчетов являются номинальное значение, поле допуска и максимальная ошибка КВС. Приведено выражение для определения среднего квадратического отклонения регулируемого параметра, которое определяется ошибкой прибора с учетом ошибки регулирования. В качестве примера проведен расчет точности усилителя КВС с допустимыми отклонениями коэффициента усиления.

Ключевые слова: контрольно-испытательная станция, техническое состояние, контролируемый параметр, ошибка КВС.

FEATURES OF CALCULATION OF CHARACTERISTICS OF CONTROL AND TEST STATION

Yurii Pribyliev (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

The article presents the calculation of the accuracy characteristics of the main components of the control and test station, which allows to take into account the requirements of the customer regarding the qualitative characteristics of the control and test station. The accuracy characteristics of the main structural components of the control and test station are calculated: a stimulus signal generator, a block of meters and a source of reference signals. A choice of the type and magnitude of the signal-stimulus, the measured signal, the reference signal is proposed. The calculation of the nominal values of the parameters of the signal-stimulus generator, the meter and the source of the reference signals. Based on technical considerations, the choice of tolerances of the elements constituting the stimulus signal generator, the measuring unit and the source of reference signals is justified. Calculation formulas are given that link the magnitude of the signal-stimulus, the measured signal and the reference signal with the parameters of the elements of the signal-stimulus generator, taking into account errors. The initial data for the calculations are the nominal value, the tolerance field and the maximum error of the control and test station. An expression is given to determine the standard deviation of the controlled parameter, which is determined by the instrument error with regard to the control error. As an example, the calculation of the accuracy of the amplifier control and test station with permissible deviations of the gain.

Keywords: control and test station, technical condition, monitored parameter, error of control and test station.

References

- 1. Karpenko D.V.** Stan ta perspektyvy rozvytku zenitnogo raketnogo озброєння Повітряних Сил Збройних Сил України: Науковий збірник "Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України". 2017. №2(27). S.75–78.
- 2. Pribyliev Ju.B., Sakovych L.V.** Pidkhid do pobudovy unifikovanoji universalnoji avtomatyzovanoji kontroljno-vyprobuvalnoji stanciji raketnogo озброєння: Naukovo-teoretychnyj ta naukovo-praktychnyj zhurnal "Наука і оборона". Kyjiv. 2017. №1. S. 42–48.
- 3. Arkhangheljskij Y. Y.** Proektyrovanye zenitnykh upravljajemykh raket. / Y. Y. Arkhangheljskij P. P. Afanas'ev, Y. S. Gholubev, V. Gh. Svetlov y dr. – M.:MAY, 2001. – 732 s.
- 4. Ghryb D. A.** Udoskonalennja metodiv tekhnichnoji eksploataciji i remontu jak osnova pidtrymannja bojgohotovogho stanu zenitnogo raketnogo озброєння v suchasnykh umovakh [Tekst] / D. A. Ghryb, B. M. Lanecjkij, V. V. Luk'janchuk // Nauka i оборона. – 2012. – №3. – S. 55-63.
- 5. Permjakov O. Ju.** Modelj systemy diahgnostuvannja, tekhnichnogo obslughovuvannja ta remontu skladnykh tekhnichnykh system vijsjkovogho pryznachennja. / O. Ju. Permjakov, Ju. B. Pribyliev, O. O. Djubanov. // Nauka i оборона. – 2016. – №2. – S. 48-52.
- 6. Pribyliev Ju. B.** Metod syntezy struktury kontroljno-vyprobuvalnoji stanciji / Ju. B. Pribyliev // Naukovyj zhurnal „Suchasni informacijni tekhnologiji u sferi bezpeky ta оборony“. K.: NUOU, vyp. №2(29), 2017, s.65-70.
- 7. Pribyliev Ju. B.** Sposib syntezy struktury avtomatyzovanoji systemy kontrolju ta diahnostyky / Ju. B. Pribyliev, A.V. Shyshackij // Rishennja pro vydachu deklaracijnogho patentu na korysnu modelj 03.11.2017 №26770/ZU/17.