

Хлистун О.І., канд. техн. наук, доцент
ORCID: 0009-0001-9063-6066

Тарасенко Т.В., канд. техн. наук, доцент
ORCID: 0000-0002-8287-4873

Макаренко Р.О., канд. техн. наук, доцент
ORCID: 0000-0001-9515-144x

Державний університет
«Київський авіаційний інститут»

ВЕРИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМІВ КОНТРОЛЮ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРИВОДІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ МОДЕЛЮВАННЯМ НА СКІНЧЕННИХ АВТОМАТАХ

Силові приводи компонентів літальних апаратів (ЛА) забезпечують реалізацію численних та різноманітних функцій, рисунок 1.



Рисунок 1 – Компоненти комерційного літака, функціонування яких потребує силового привода [1]

Застосування приводів в аерокосмічній галузі має відповідати багатьом вимогам і суворим обмеженням. Найголовніша з вимог – НАДІЙНІСТЬ.

Оскільки приводи зазвичай забезпечують виконання критичних функцій, прийнятна ймовірність їх відмови надзвичайно мала. Так, в комерційній авіації для основних засобів управління польотом є припустимою тільки одна катастрофічна подія на 1 мільярд годин польоту. Це головне обмеження сильно впливає на архітектуру силових приводів органів управління ЛА.

Вибір архітектури розроблюваної системи, та фізичних процесів, які в ній використовуються, залежать від критичності функцій, виконання яких система забезпечує. Система може бути розроблена таким чином, аби уникнути відмови (стійкість до відмови), чи контролювати відмови, якщо один із її компонентів втрачає працездатність (толерантність до відмови). Стійкість до відмови досягають збільшенням розміру та/або періодичною заміною компонентів. Для силових приводів, які забезпечують виконання критичних для безпеки польотів функцій, збільшення габаритів є неможливим або недостатнім для досягнення необхідного ступеня надійності, оскільки жодна окрема відмова не повинна призвести до катастрофічної події. Тому ці системи повинні бути толерантними до відмов, якщо виходять з ладу один або більше їх елементів. Необхідною умовою забезпечення толерантності до відмов є отримання повної інформації про стан системи та, у випадку відмови її елементів, вироблення сигналів, які парирують цю відмову.

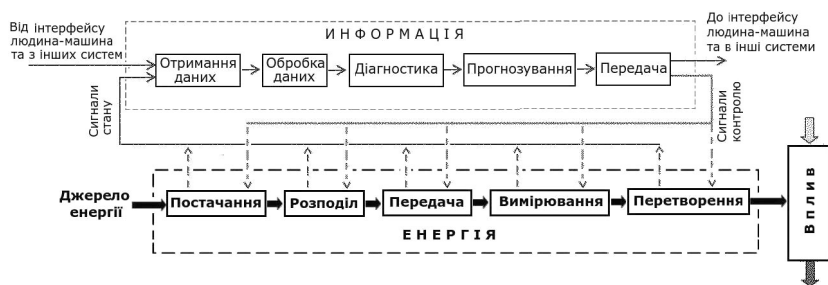


Рисунок 2 – Функції інформаційного та енергетичного ланцюгів [1]

Архітектура толерантного до відмов силового привода, який реалізує критично важливі для безпеки польотів функції (рисунок 2), передбачає відокремлення потоків інформації від потоків енергії.

Формулювання проблеми

У процесі створення ЛА після вибору концепції силових приводів виникає проблема розробки надійних алгоритмів контролю для реалізації в коді програмного забезпечення. Ці алгоритми мають бути верифіковані – пройти перевірку на їх здатність надійно виконувати покладені на систему функції.

Підхід до розв'язання проблеми

Надійність алгоритмів контролю системи може бути верифікована попереднім моделюванням на скінченних автоматах, які представляють математичну модель обчислень, виходи якої залежать як від поточних входів, так і від поточного стану автомата (автомат Мілі [2]). Ідея «стану» як основного поняття в представленні систем була вперше введена Аланом Тюрінгом [3] для описання роботи комп'ютера. Стан автомата визначається величинами його внутрішніх змінних стану та описує стан системи, яка очікує на виконання переходу набору дій, які мають бути виконані, коли задовільняється умова або за надходження події.

Скінченний автомат M визначається п'ятьма об'єктами:

$$M = (X, Y, Q, \delta, \lambda),$$

де X , Y та Q – кінцеві та непорожні набори вхідних сигналів, вихідних сигналів та станів, відповідно, δ – функція переходу станів,

$$\delta = Q \times X \rightarrow Q;$$

λ – вихідна функція, що дорівнює

$$\lambda = Q \times X \rightarrow Y.$$

Коли машина перебуває в поточному стані $q \in Q$ і отримує вхідні дані $x \in X$, вона переходить до наступного стану, визначеного $\delta(q, x)$, і створює вихідні дані, які задані $\lambda(q, x)$. У детермінованому скінченному автоматі кожний перехід з одного стану до іншого визначається вихідним станом і сигналом, який зчитується зі входу.

Функції переходів скінченного автомата задають у вигляді орієнтованих графів або у вигляді таблиць [2].

Модель скінченних автоматів може бути реалізована в сучасних графічних середовищах програмування Stateflow (Simulink MAT-

LAB) [4] або Statechart Designer (LMS Amesim) [5]. Графічна анімація упродовж виконання дозволяє аналізувати та відпрацьовувати логіку алгоритмів контролю, здійснювати їх верифікацію.

Висновки

1. Для реалізації життєво важливих функцій ЛА зберігається тенденція широкого використання гідравлічного привода.

2. Надійність систем приводів сучасних ЛА забезпечується толерантністю до відмов, тому в їх архітектуру для контролю стану системи включають інформаційний ланцюг.

3. З ускладненням систем ЛА, одночасно з процесом їх розробки є нагальна необхідність верифікації і валідації їх надійності.

4. Верифікацію алгоритмів контролю гідравлічних приводів ЛА доцільно здійснювати моделюванням на скінченних автоматах з використанням сучасних графічних середовищ програмування.

Це дозволяє аналізувати та відпрацьовувати логіку алгоритмів контролю та здійснювати їх послідовну і повну верифікацію до імплементації в бортовому програмному забезпечення.

Список використаних джерел

1. Maré J.-C. Aerospace Actuators 1. Needs, Reliability and Hydraulic Power. ISTE Ltd, London, 2016.

2. Mealy G. H. A method for synthesizing sequential circuits, Bell System Technical Journal, vol. 34 (1955), 1045–1079.

3. Turing A. M. On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungs problem, Proc. London Math. Soc., ser. 2, vol. 42, pp. 230–265, 1936–1937.

4. Stateflow User's Guide. USA, The MathWorks, Inc. 2024.

5. Web pecypc: <https://community.sw.siemens.com/s/article/statechart-designer-of-lms-amesim-combine-discrete-event-control-and-continuous-system-model>