

Синтез електричних схем заміщення авіоніки на основі амплітудно-частотних характеристик

Досліджено можливості синтезу еквівалентних електричних схем заміщення вхідних кіл приймачів електроенергії за критерієм мінімуму відхилення їх амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) вхідного імпедансу від АЧХ вихідного об'єкта.

Проведені дослідження показали, що зміну властивостей реактивних елементів, які впливають на працездатність приймачів електроенергії, можна діагностувати за зміною АЧХ вхідних імпедансів. Однак отримання на борту ПС АЧХ пов'язане з необхідністю перепроєктувати всі пристрої системи розподілу електроенергії, додаючи додаткові елементи (генератори синусоїдальних сигналів, комутатори тощо), що може призвести до зниження надійності системи загалом.

Тому запропоновано "пасивний" метод діагностування приймачів енергії – шляхом визначення параметрів реактивних елементів за перехідними процесами під час під'єднання обладнання до бортової електричної мережі.

Теоретична можливість реалізації такої методики зумовлена ізоморфізмом властивостей об'єкта в частотній і часовій областях. Тобто зміни АЧХ еквівалентні зміні параметрів перехідних процесів при ступінчастому впливі. Електричні схеми вхідних каскадів конкретного обладнання зазвичай невідомі, тому математичну модель кожного приймача електричної енергії отримати не можливо.

Запропоновано використовувати еквівалентні електричні схеми заміщення. Еквівалентність електричної схеми заміщення визначається еквівалентністю відповідних АЧХ об'єкта та АЧХ схеми заміщення. У зв'язку з цим виникає завдання отримання еквівалентних електричних схем заміщення приймачів електроенергії. Визначення параметрів еквівалентних електричних схем заміщення складається з декількох етапів на землі та в польоті (рис. 1).

На землі:

1. Зняття АЧХ нового (справного об'єкта).

2. За АЧХ об'єкта вибір структури електричної схеми заміщення. Кількість максимумів і мінімумів АЧХ (полюсів і нулів характеристичного рядка) визначає кількість реактивних елементів у схемі заміщення. При цьому множина типових електричних схем заміщення з різною кількістю каскадів з реактивними елементами обирається заздалегідь. Експериментальні дослідження АЧХ вхідних каскадів ВІП показали, що в максимальному випадку достатньо двох каскадів із чотирма реактивними елементами для отримання необхідної структури.

3. Ідентифікація параметрів електричної схеми методом найменших квадратів. Критерієм у завданні ідентифікації є близькість АЧХ об'єкта й АЧХ електричної схеми заміщення.

4. Складання системи диференціальних рівнянь (математичної моделі) схеми заміщення.

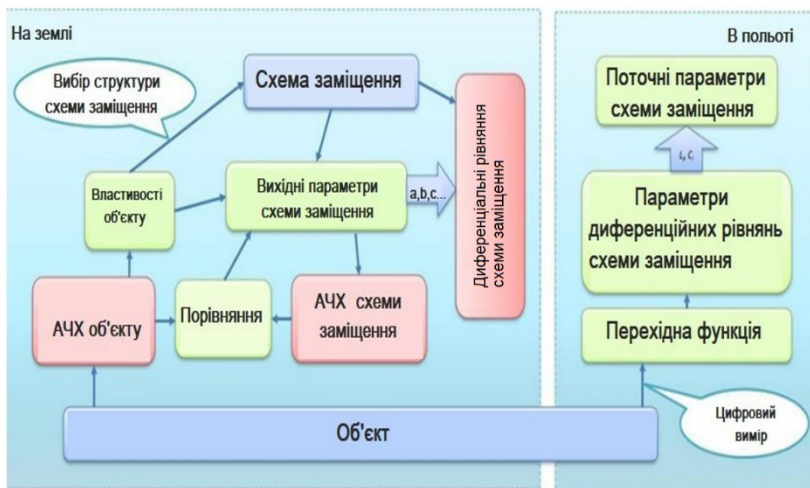


Рис. Методика визначення параметрів еквівалентних електричних схем заміщення

Ідентифікація параметрів електричної схеми заміщення - це перший крок верифікації математичної моделі об'єкта.

У польоті (після кожного ввімкнення приймача електроенергії):

1. Цифрові вимірювання споживаного струму для отримання перехідної функції.

2. Ідентифікація параметрів диференціальних рівнянь (верифікація математичної моделі).

3. Розрахунок поточних параметрів електричної схеми заміщення.

У разі детальнішого аналізу залежностей резонансних частот і амплітудних значень від стану конденсаторів (обривів або зміни параметрів) можна отримати аналітичні функції, за якими з'явиться можливість однозначного діагностування таких станів.

Для того, щоб отримати аналітичні залежності для пошуку контрольованих параметрів, слід підібрати схему заміщення за отриманою АЧХ вторинного джерела електроживлення.

Синтез електричних ланцюгів можна виконати в часовій області, коли вимоги задаються до перехідної або імпульсної характеристики, і в частотній області, коли вимоги задаються до АЧХ. Розглянемо другий випадок.

Умови фізичної реалізованості залежать від того, з яких елементів передбачається синтезувати ланцюг, у цьому разі RLC-ланцюг [1].

Реальна АЧХ визначається номінальними (розрахунковими) значеннями параметрів досліджуваного об'єкта, допустимими (технологічними) відхиленнями параметрів, вимірювальними та обчислювальними похибками, відхиленнями параметрів, зумовленими старінням елементів або експлуатаційними впливами.

Як уже зазначалося раніше, за амплітудами в резонансних точках АЧХ визначаються параметри R, L, C елементів об'єкта дослідження [19]. Структуру (топологію) електричної схеми заміщення будемо задавати виходячи з кількості екстремумів вихідної АЧХ [22].

Для контролю стану обладнання достатньо обмежитися вхідним імпедансом схеми $Z(f)$ на заданій множині значень частоти. Для багато параметричних двополюсників частотні характеристики ускладнюються залежно від числа їхніх параметрів. У чисто реактивних навантажень опір ($Z(\omega)=\pm jX$) залежить від частоти, при цьому $Z(\omega)$ може багаторазово змінюватися від 0 до ∞ .

Таким чином, частотна характеристика RLC-ланцюга складається з набору локальних екстремумів, що чергуються. Координати локальних екстремумів можуть бути використані як діагностичні параметри об'єкта. Поступову зміну параметрів елементів під час їхньої деградації можна використовувати в прогнозуванні стану об'єкта контролю. При збереженні значень параметрів електричної схеми пристрою, АЧХ залишається незмінною [2]. За формою АЧХ (нааявності, координатах і величинах екстремумів на графіку частотної характеристики) можна судити про стан контрольованого пристрою. Як приклад вихідного об'єкта розглянемо АЧХ справного частотного фільтра, зняту експериментальним шляхом, на рис.2.

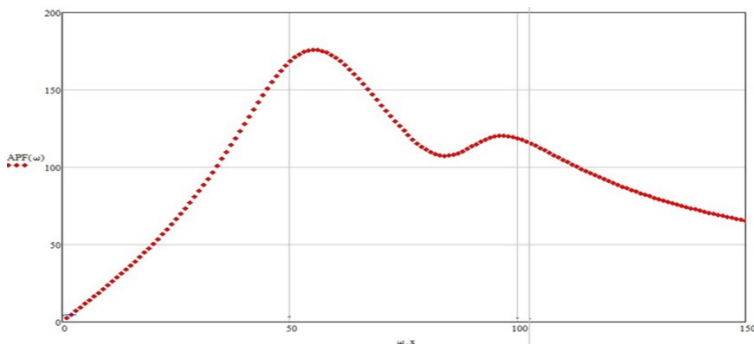


Рис. 2. АЧХ частотного фільтра

Схеми заміщення на основі частотних характеристик для нескладних двополюсників, що містять резистивні та реактивні елементи, інколи можна

якісно будувати на підставі простих фізичних міркувань про характер зміни опору окремих елементів цього двополосника у функції частоти.

Розглядаючи характеристику, зазначену на рис.2, можна побачити екстремуми: два максимуми й один мінімум. Це свідчить про наявність двох каскадів у схемі заміщення. За досліджуваними раніше АЧХ, один максимум відповідає одному каскаду (зі зв'язки резистора, індуктивності та ємності) елементів у вихідному електричному ланцюзі. На підставі представленої АЧХ можна уявити таку схему заміщення (рис. 3).

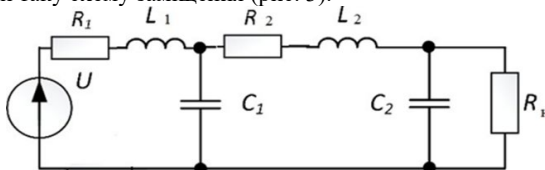


Рис. 3. Електрична схема заміщення

На підставі цього можна створити базис із типових схем заміщення із заданою топологією АЧХ. Кільком видам схем заміщення може відповідати одна АЧХ. Важливою топологічною властивістю є те, що кількість екстремумів в АЧХ схеми заміщення має збігатися з топологією АЧХ досліджуваної системи.

Висновок

З вищевикладеного стає зрозумілим, що характеристики електричного кола залежать від параметрів його елементів. У процесі експлуатації значення параметрів елементів неминуче відрізняються від розрахункових значень, що призводить до зміни їхніх характеристик. Зміни характеристик мають бути такими, за яких робота пристрою не порушується. Тому, чим менші зміни характеристик за одного й того самого відхилення величин параметрів елементів, тим кращий цей пристрій.

Список літератури

1. Бенюк Р.В. Метод визначення технічного стану споживачів електроенергії в системах електропостачання повітряних суден. - Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістр спеціальності 173 "Авіоніка". - Національний авіаційний університет. - Київ, 2023. - 93 с. <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/62363>
2. Pavlova, V.I., Khalyutin, S.P., Khalyutina O.S., Starostin I.E., Investigation of errors in the representation of electrical equivalent circuits of aviation equipment, built on the basis of amplitude-frequency characteristics. 2022 IEEE 23rd International Conference Of Young Professionals In Electron Devices And Materials (EDM). P. 416-420.
3. Simankov, N.A., Savelov, A.A., Davidov, A.O. Possibility of aircraft electrical equipment diagnostics by the local load control units. International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM, 2020-June, P. 318–323.