

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА АВІОНІКИ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

_____Ю.В.Грищенко

“ _____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГОСТУПЕННЯ
“МАГІСТР”
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 173 «АВІОНІКА»

Тема: Метод визначення технічного стану споживачів електроенергії в системах електропостачання повітряних суден.

Виконав: Бенюк Роман

Керівник: ЄнчевСергій

Консультанти з розділів: _____

Нормоконтролер з ЄСКД (ЄСПД): _____

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут,

факультет

Кафедра

Спеціальність, спеціалізація

аеронавігації електроніки та телекомунікацій

авіоніки

173 «Авіоніка»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ю. В. Грищенко

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Бенюку Роману Васильовичу

(П.І.Б випускника)

1. Тема роботи (проекту): **Метод визначення технічного стану споживачів електроенергії в системах електропостачання повітряних суден.**

затверджена наказом ректора від “03” 10 _____ 2023р. №2024/ст.

2. Термін виконання кваліфікаційної роботи : з 02.10.2023 р. до 31.12. 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи (проекту):

1. Експрес-метод не повинен бути дороговартісним.

2. Час виконання методу повинен бути не більше 1 години.

3. Експрес-метод повинен дозволяти використання в авіаційних бригадах.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці):

Реферат. Зміст. Вступ. РОЗДІЛ 1: «Аналіз систем контролю авіаційного обладнання» РОЗДІЛ 2: «Дослідження можливості діагностування приймачів електроенергії на основі частотних властивостей імпедансів ланцюгів живлення» РОЗДІЛ 3: «Метод діагностування технічного стану параметрів кіл живлення вторинних джерел живлення в інтелектуальних системах розподілу електроенергії.» РОЗДІЛ 4: «Охорона праці.» РОЗДІЛ 5: «Охорона навколишнього середовища» Висновки. Список використаних джерел.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	<i>Початок виконання кваліфікаційної роботи ОС Маггістр</i>	<i>18.10.23</i>	
2.	<i>Підготовка розділу 1.1. « Марки ОР, які застосовуються в ЗСУ, їх властивості »</i>	<i>18.10.23 – 27.10.23</i>	
3.	<i>Підготовка розділу 1.2. « Аналіз існуючих методів контролю якості «світлих» та відпрацьованих ОР »</i>	<i>27.10.23 – 03.11.23</i>	
4.	<i>Підготовка схеми наукових досліджень за темою роботи</i>	<i>03.11.23 – 07.11.23</i>	
5.	<i>Проведення лабораторних досліджень якості ОР за експрес-методом</i>	<i>07.11.23 – 22.11.23</i>	
6.	<i>Розробка розділу 2.1 « Дослідження якості ОР за експрес-методом »</i>	<i>07.11.23 – 14.12.23</i>	
7.	<i>Розробка розділу 2.2 « Обладнання для визначення якості ОР експрес-методом »</i>	<i>14.11.23 – 19.11.23</i>	
8.	<i>Математична обробка результатів дослідження</i>	<i>22.11.23 – 30.11.23</i>	
9.	<i>Оформлення графічного матеріалу за результатами дослідження</i>	<i>30.11.23 – 08.12.23</i>	
10.	<i>Розробка 3 розділу «Охорона праці та екологічна безпека. Обґрунтування військово-економічної доцільності прийнятих рішень.»</i>	<i>08.12.23 – 13.12.23</i>	
11.	<i>Розробка висновків</i>	<i>13.12.23 – 17.12.23</i>	
12.	<i>Надання готової роботи керівнику на перевірку</i>	<i>17.12.23 – 19.12.23</i>	
13.	<i>Усунення недоліків</i>	<i>19.12.23 – 20.12.23</i>	
14.	<i>Попередній розгляд роботи</i>	<i>20.12.23 – 22.12.23</i>	
15.	<i>Захист дипломної роботи</i>	<i>25.12.23</i>	

Студент Роман БЕНЮК.

Керівник дипломної роботи Сергій СІЧЕВ.

7. Консультанти з окремих розділів:

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Аналіз систем контролю авіаційного обладнання.			
2. Дослідження можливості діагностування приймачів електроенергії на основі частотних властивостей імпедансів ланцюгів живлення.			
3. Метод діагностування технічного стану параметрів кіл живлення вторинних джерел живлення в інтелектуальних системах розподілу електроенергії.			
4. Охорона праці.			
5. Охорона навколишнього середовища.			

8. Дата видачі завдання 02.10.2023 р.

Керівник дипломної роботи (проекту) Сергій ЄНЧЕВ.
(підпис, П.І.Б)

Завдання прийняв до виконання Роман БЕНЮК.
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи “Метод визначення технічного стану споживачів електроенергії в системах електропостачання повітряних суден.”:96 сторінок, 67 рисунків, 4 таблиць, 24 літературних джерел.

Об’єкт дослідження – приймачі електричної енергії, під’єднані до цифрових інтелектуальних систем розподілу електроенергії.

Предмет дослідження – методика діагностування критичних параметрів електричних кіл вхідних каскадів приймачів електричної енергії на основі вимірюваної в реальному масштабі часу інформації про споживану електроенергію.

Мета дипломної роботи – полягає у підвищенні повноти технічного діагностування приймачів електроенергії за рахунок розширення діагностичних функцій у цифрових інтелектуальних системах розподілення електроенергії ПС, що безпосередньо впливає на забезпечення льотної придатності ПС.

Методи дослідження: обробка літературних джерел, порівняльний аналіз.

Задачі дипломного проекту:

1. дослідження впливу відхилення параметрів реактивних елементів ланцюгів живлення приймачів електроенергії на їхню працездатність та визначення критичних значень відхилень цих параметрів, що характеризують перехід приймачів електричної енергії в непрацездатний стан

2. розгляд методики визначення параметрів реактивних елементів вхідних ланцюгів приймачів електричної енергії на основі вимірювання миттєвих значень вхідного струму та напруги

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

4. визначення залежності чутливості визначення контрольованих параметрів електричних схем заміщення до похибок виміру АЧХ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ АВІАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ	13
1.1. Аналіз останніх досліджень і публікацій з технічного діагностування авіаційних систем	13
1.2. Аналіз побудови каналів живлення авіаційного обладнання.....	15
1.3. Аналіз наявних методів і засобів для діагностування авіаційного електрообладнання	20
1.4. Можливості діагностування та прогнозування стану споживачів електроенергії в процесі експлуатації ЛА	23
1.5. Вибір об'єкта, предмета та визначення завдань дослідження.....	29
Висновки до 1 розділу.....	32
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИЙМАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ЧАСТОТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ІМПЕДАНСІВ ЛАНЦЮГІВ ЖИВЛЕННЯ	34
2.1. Аналіз можливості діагностування вхідних кіл приймачів електроенергії засобами цифрових систем розподілу електроенергії на основі визначення параметрів реактивних елементів схем заміщення ...	34
2.2. Методика аналізу амплітудно-частотних характеристик вхідних	41

імпедансів приймачів електроенергії для визначення можливості синтезу електричних схем заміщення	
2.3. Дослідження можливості контролю стану обладнання за ланцюгами живлення в знеструмленому стані	42
2.4. Експериментальні дослідження можливості контролю приймачів електроенергії за амплітудно-частотними характеристиками на прикладі перетворювачів АС-DC, DC-DC	50
Висновки до 2 розділу	64
РОЗДІЛ 3. МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАРАМЕТРІВ КІЛ ЖИВЛЕННЯ ВТОРИННИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	65
3.1. Синтез електричних схем заміщення авіаційного обладнання, побудованих на основі амплітудно-частотних характеристик.....	65
3.2. Визначення чутливості зміни контрольованих параметрів від виміряних.....	69
3.3. Формування аналітичної залежності споживаного струму і напруги від параметрів об'єкта досліджень на основі методу граничних станів...	72
3.4. Застосування цифрових портретів для діагностування авіаційного електрообладнання.....	73
3.5. Розроблення методу діагностування стану споживачів електроенергії в системах розподілу ЛА	75
Висновки до 3 розділу	78
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	79

.....	
4.1 Заходи від ураження електричним струмом.....	79
4.2 Організація роботи з охорони праці.....	82
4.3 Пожежна безпека.....	84
Висновки до 4 розділу	86
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	87
5.1 Види забруднень.....	87
5.2 Аналіз основних джерел впливу ПС та їх наслідків на людину та її оточення	92
Висновки до 5 розділу	94
Висновок	96

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ПС – повітряне судно;

ФРП – фільтр радіоперешкод

КСЕІС – комплексна система електронної індикації та сигналізації;

EIS – ElectronicInstrumentSystem;

PFD – PrimaryFlightDisplay;

SD – SystemDisplay;

FWC – FlightWarningComputer;

CDS – Commondisplaysystem;

EFIS – ElectronicFlightInstrumentSystem;

RLSs – Remotelightsensors;

РКІ – рідкокристалічний індикатор;

БФІ – багатофункціональний індикатор;

МФЦІ – багатофункціональний кольоровий індикатор;

МВ – модуль обчислювального обладнання;

МД, МО – модулі дискретного обміну;

МГ – модуль графічний;

МН – модуль вторинної напруги живлення;

ФД – фотодіод;

ООС – негативний зворотній зв'язок

ЭП – емітерний повторювач

НАР – горизонтально апертурна корекція

АРУ – автоматичний регулятор посилення

СЕЖ – система електроживлення

ФНЧ – фільтр низьких частот

ПО – програмне забезпечення

VD – вертикальне відхилення

HD – сигнал рядкової синхронізації

ВСТУП

Актуальність теми: Відомо, що завданням світової авіації є розроблення перспективних повітряних суден з метою вдосконалення: аеродинаміки, силового устаткування, конструкції повітряного судна, технологічності, надійності, а також підвищення льотно-технічних характеристик. Розвиток авіації характеризується ускладненням бортового авіаційного обладнання, зокрема й експлуатації, а також упровадженням перспективних інтелектуальних систем електропостачання в нових типах повітряних суден, зокрема в безпілотних літальних апаратах. Крім того, ведуться дослідження [15,16], спрямовані на створення повністю електричних літальних апаратів. Це тягне за собою збільшення ймовірності відмов у польоті, зокрема й за рахунок збільшення навантаження на систему електропостачання. Незважаючи на зазначені особливості, необхідно забезпечити високий рівень безпеки польотів, регулярність перевезень та їхню економічність.

Мета роботи: робота спрямована на створення науково-технічного доробку з метою забезпечення високої ефективності та автономності діагностики та прогнозування технічного стану обладнання. Необхідно сформулювати підхід до формування алгоритму для проведення заходів із технічної діагностики та визначити переваги і недоліки різних методів діагностики в застосуванні до системи електропостачання повітряного судна. Це необхідно для впровадження стратегії експлуатації за станом і можливості реалізації відкладеного обслуговування, а також при створенні літаків з підвищеною електрифікацією обладнання [7,15].

Функції контролю в системах розподілу електроенергії сучасних повітряних суден (ПС), завдяки впровадженню цифрових технологій, можуть бути розширені можливістю діагностування та прогнозування стану джерел і споживачів електроенергії. Використання мікропроцесорної техніки при управлінні розподілом електроенергії створює передумови до впровадження інтелектуальних цифрових систем електропостачання, і за рахунок удосконалення програмного забезпечення дасть змогу реалізувати

діагностування та прогнозування, не вносячи додаткові апаратні зміни. Використання результатів досліджень, спрямованих на створення методики діагностування загальнолітакових систем, дасть змогу в перспективі знизити витрати на експлуатацію та модернізацію перспективних ПС, що в підсумку підвищить рівень безпеки польотів у рамках завдань із підтримання льотної придатності.

Будь-яка технічна система до проведення заходів із діагностики характеризується одним із двох несумісних станів: працездатний і непрацездатний. Метою діагностики є визначення відповідності об'єкта, що діагностується, одному з цих станів і локалізації місця відмови. Якість результату діагностики ґрунтується на використанні ефективних алгоритмів її проведення. Вибір і розробка алгоритму здебільшого залежить від кількості компонентів у складі діагностованої системи, часу їх тестування та ймовірності виникнення відмов.

Побудова системи контролю в авіаційному обладнанні може залежати від кількох чинників. По-перше, у своєму складі вона повинна мати вбудовані засоби самодіагностики. По-друге, для розроблення такої системи потрібне завдання додаткових алгоритмів перевірки авіаційного обладнання до включення його в роботу. Виходячи з цього, слід зазначити, що забезпечення авіаційного обладнання додатковими засобами вбудованого і розширеного контролю виконується виробником на етапі проектування цього обладнання з урахуванням включення нових функцій в апаратно-програмний комплекс. Крім системи вбудованого контролю засобами цифрової системи розподілу можна організувати розподілену систему контролю приймачів електроенергії на борту повітряного судна. При цьому локальні центри управління навантаженнями (ЛЦУН) і розподільні центри (РЦ) будуть вузловими точками діагностування для літака. Локальні центри управління навантаженнями входять до складу системи розподілу електричної енергії перспективних повітряних суден [12, 13, 20]. Головним завданням розподільчих центрів є забезпечення комутації електричних мереж і навантажень. Крім цього, вони розв'язують завдання керування

підсистемами літака, особливо системою генерування електроенергії та перетворювальними пристроями [12].

Іноземні розробники авіаційного обладнання, такі як Honeywell, RockwellCollins, в даний час займаються розробкою вбудованих в обладнання діагностичних засобів, які взаємодіють з цифровими системами і видають результат контролю на бортовий комп'ютер в режимі реального часу. Унаслідок того, що склад авіоніки на іноземних типах ПС, таких як Airbus і Boeing більш-менш уже визначено, на відміну від вітчизняних літаків, на яких на даному етапі тільки відбувається модернізація в частині заміни електромеханічних приладів на електронну індикацію тощо, розробники імпортного обладнання досліджують процес діагностики двовимірно. Це означає, що їхній підхід націлений на усунення неполадок у цифрових системах, як із погляду виявлення проблем, пов'язаних із програмними збоями, так і з погляду виявлення проблем із шинами даних, з'єднаннями з високим опором, неправильною ізоляцією тощо. Саме тому зарубіжні розробники авіаційного обладнання нині пропонують різні системи дистанційної діагностики конкретної літакової системи [17].

У рамках імпортозаміщення авіаційного обладнання гостро постає питання про розроблення систем діагностування вітчизняного виробництва. У публікаціях Єргалієва Д. С. вказується на те, що необхідно розглядати об'єкти контролю та діагностики як елементи складної системи, з урахуванням їхніх фізичних властивостей, призначення і тих, що в них відбуваються.

Системна проблема експлуатації сучасних ПС полягає в недостатньому підході до діагностики та визначення передвідмовного стану в системах розподілу і, як наслідок, у зниженні експлуатаційної надійності загальнолітакового обладнання та низки інших систем.

З огляду на те, що проблеми надійності систем електропостачання призводять до необхідності авіакомпаніям уникати тривалого перебування і нічних стоянок в аеропортах базування, що впливає на процес збереження льотної придатності ПС [5].

Вирішення зазначених проблем призводить до необхідності використання наукових, методичних, технологічних, апаратних, експериментальних і

системних досліджень та розроблення методики й практичних рішень для діагностування споживачів електроенергії в сучасних системах електропостачання.

Об'єктом дослідження є приймачі електричної енергії, під'єднані до цифрових інтелектуальних систем розподілу електроенергії.

Предметом дослідження є методика діагностування критичних параметрів електричних кіл вхідних каскадів приймачів електричної енергії на основі вимірюваної в реальному масштабі часу інформації про споживану електроенергію.

Ціль наукового дослідження полягає у підвищенні повноти технічного діагностування приймачів електроенергії за рахунок розширення діагностичних функцій у цифрових інтелектуальних системах розподілення електроенергії ПС, що безпосередньо впливає на забезпечення льотної придатності ПС.

Наукове завдання розбите на кілька окремих завдань:

- дослідження впливу відхилення параметрів реактивних елементів ланцюгів живлення приймачів електроенергії на їхню працездатність та визначення критичних значень відхилень цих параметрів, що характеризують перехід приймачів електричної енергії в непрацездатний стан;
- розгляд методики визначення параметрів реактивних елементів вхідних ланцюгів приймачів електричної енергії на основі вимірювання миттєвих значень вхідного струму та напруги;
- дослідження можливості синтезу еквівалентних електричних схем заміщення вхідних ланцюгів приймачів електроенергії за критерієм мінімуму відхилення їх амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) вхідного імпедансу від АЧХ вихідного об'єкта;
- визначення залежності чутливості визначення контрольованих параметрів електричних схем заміщення до похибок виміру АЧХ;
- експериментальні дослідження розробленої методики діагностування

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ АВІАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ.

1.1. Аналіз досліджень в області технічної діагностики авіаційного обладнання

В сучасному світі авіаційне обладнання відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки та ефективності повітряного руху. Однак, для забезпечення безперебійної роботи авіаційного обладнання та попередження можливих аварій, важливо мати ефективні системи контролю. У цьому підрозділі проводиться аналіз найновіших наукових досліджень та публікацій, пов'язаних з технічним діагностуванням авіаційних систем. Аналізуються досягнення у визначенні нових методів діагностики, вдосконалення технічних засобів та використання передових технологій у цій області.

Авіаційне обладнання – це сукупність програмно-апаратних систем, в яких відбувається перетворення енергії, а також отримання та передача інформації. Діагностика авіаційного обладнання передбачає саме роботу з інформацією – отримання інформації про об'єкт діагностування засобом систем вимірювань, обробку і передачу інформації. Це пов'язано з швидким розвитком технічних засобів зв'язку. У зв'язку з тим, що кількість отриманої інформації безперервно зростає, важливим критерієм використання даних є їх цінність та актуальність.

Слід відмітити, що для діагностики технічного стану об'єкту необхідно здійснювати вибір найбільш критичних параметрів. Це може бути, як один, так і комбінування параметрів, які достовірно визначають технічний стан об'єкта контролю. Слід відмітити, що крім аналізу технічного стану об'єкта, необхідно проводити і аналіз діагностичних ознак. Успішність результату визначається швидкими і більш точними методами розпізнавання причин відхилень технічного об'єкта від заданих норм.

Згідно ГОСТ 20911-89, технічна діагностика – це «область знань, яка охоплює теорію, методи і засоби визначення технічного стану об'єкта»

Ефективність експлуатації залежить від ефективності діагностування, завданням якого є визначення місця і причини появи відмови. Діагностування технічного стану об'єкта передбачає спостереження за визначеними параметрами, а також способи їх отримання, обробку отриманої інформації з врахуванням режимів роботи, визначення часових інтервалів контролю.

Для експлуатації авіаційного обладнання за технічним станом в першу чергу необхідно забезпечити ефективне технічне обслуговування. Для цього проводимо, ранню діагностику. Це дозволить знайти несправності в авіаційному обладнанні на ЛА. Для методів діагностування, проведених в режимі оф-лайн, розроблені спеціальні програми стендових випробувань для різних електротехнічних засобів. Ці методи можуть бути реалізовані при періодичному технічному обслуговуванні.

Вибір конкретного метода діагностування залежить від багатьох вимог (оперативність і точність представлення інформації, наявність перехідних процесів, параметрів детермінованого і стохастичного характеру).

Розробник конкретного авіаційного обладнання зобов'язаний розробити критерії, що визначають обмежений стан свого виробу для вирішення питань про ресурс, про його функціонування. У випадку неможливого забезпечення діагностичного контролю розробник зобов'язаний вказати це в конструкторській та експлуатаційній документації.

Перелік критичних параметрів визначає можливості виконання заданих функцій і служить для кваліфікації в категоріях «працездатний – частково працездатний – не працездатний».

Системи діагностування дозволяють попередити відмови в різних літальних системах, визначити готовність обладнання в рамках подальшої експлуатації, встановити готовність обладнання в рамках подальшої експлуатації, встановити терміни і об'єми ремонтних робіт. За результатами діагностування може бути зроблений висновок-заключення про можливість подальшої експлуатації досліджуваного об'єкта або висновок про те. Що подальша експлуатація може привести до зниження рівня безпеки польотів, тому необхідно провести заміну необхідного обладнання.

1.2. Аналіз побудови ланцюгів живлення авіаційного обладнання

ЛА мають у своїй комплектації велику кількість приймачів електричної енергії. Аналіз світового досвіду створення нового і модернізація діючого технологічного обладнання систем електропостачання показує високу динаміку впровадження нових приймачів електроенергії. Це зумовлено намаганням максимально підвищити надійність експлуатацію ПС. Приймачі електричної енергії – електричні прилади, призначені для перетворення електричної енергії в інший вид енергії [2]

Різноманітність приймачів електроенергії зумовлено різноманітністю функцій, які вони виконують.

Приймачі електричної енергії класифікують за ознаками:

- За функціональним значенням;
- За електричними та енергетичними показниками;
- За режимом роботи;
- За вимогами до надійності електропостачання;

Захист від дії зовнішніх сторонніх факторів.

За надійністю електроживлення приймачі електроенергії поділяємо на три категорії [3]

- ✓ Приймачі, необхідні для безпечного польоту і посадки;
- ✓ Приймачі, які використовуються для безпечного продовження польоту, виконання завдання і посадки;
- ✓ Приймачі, вихід яких із ладу не впливає на безпеку польоту.

Час роботи в аварійному режимі при живленні приймачів електроенергії першої категорії від акумуляторної батареї становить не менше 30 хвилин.

Для живлення приймачів електроенергії першої категорії, встановлюємо аварійні (альтернативні) джерела електроживлення, які не залежать від основної системи генерації. Такі джерела повинні забезпечувати протягом всього терміну польоту електроенергією приймачі першої категорії.

До приймачів електроенергії, на які має подаватися електроживлення від аварійних джерел, має входити:

Приймачі електроенергії, функціонування яких необхідне для забезпечення безпеки і які повинні продовжити працювати без сторонньої допомоги екіпажу після відмови системи генерування;

- Приймачі електроенергії, необхідні для продовження управління польотом;
- Приймачі електроенергії, необхідні для зниження, заходу на посадку і посадки.

Внаслідок великої різноманітності приймачів, які повинні мати вбудовану систему контролю, працездатність якої забезпечується, як правило, при роботі приймача під струмом.

Бортове радіоелектронне обладнання (БРЕО) сучасних і перспективних ПС, мають у свій будові вбудовані джерела вторинного електропостачання.

Основним призначенням джерел вторинного електропостачання є отримання напруг для безпосереднього живлення електроенергії електронних та інших приладів. У свою чергу джерела вторинного електропостачання отримують енергію від первинних джерел електроенергії (живлення), які виробляють електроенергію від генератора, акумулятора і т.д. Джерела вторинного електропостачання представляють собою перетворювачі електричної енергії (див. рис.1.1.).

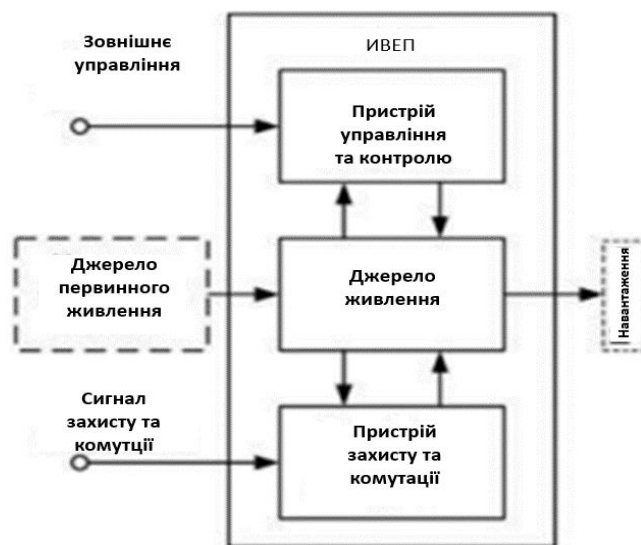


Рис. 1.1. Узагальнена структурна схема ІВЕП[4]

У більшості випадків джерела вторинного електропостачання перетворюють енергію змінного або постійного струму електромережі в електроенергію постійного струму відповідного рівня. [4]

Модулі вторинної живлячої напруги, має у своєму складі схему допускового контролю вихідної напруги, які формують сигнал справності модуля (рис. 1.2.). Сигнали справності блоків використовується в комплексі БРЕО для забезпечення його відказостійкості шляхом резервування на рівні блоків і систем.

Всі модулі живлення вторинної напруги, призначені для живлення блоків, в складі яких є вимірювальні прилади, виробляють і видають в обчислювальні модулі сигнал аварії мережі живлення. Сигнал аварії мережі живлення виробляється у тому випадку, коли вхідна напруга, яка поступає на блок від системи електропостачання, і напруги аварійного живлення знижується до величини, яка відповідає аварійному режиму. Модулі вторинного живлення напруги і системи вторинного електроживлення блоків виконуються по одно рівневій (рис.1.2),

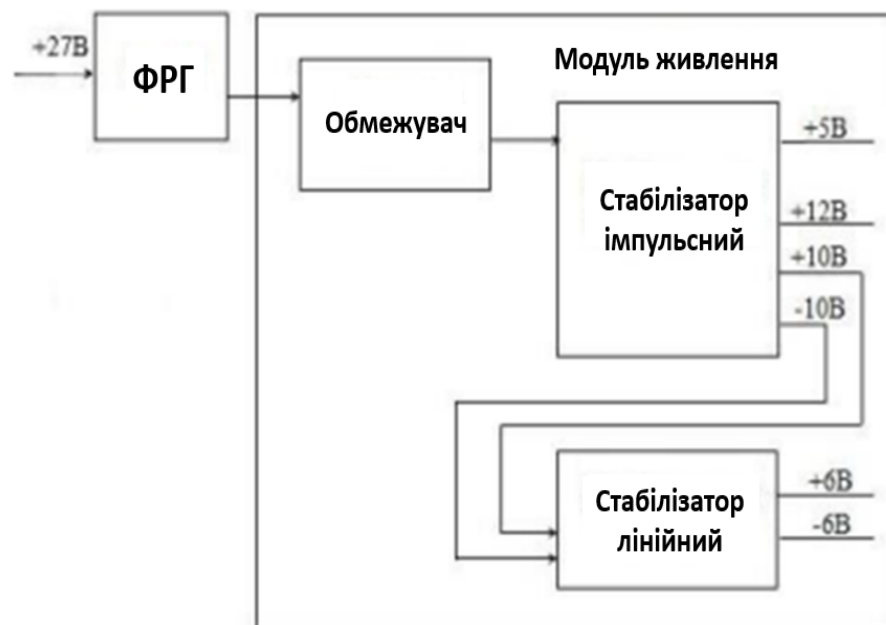


Рис. 1.2. Однорівневий стабілізатор дворівневій (рис. 1.3)

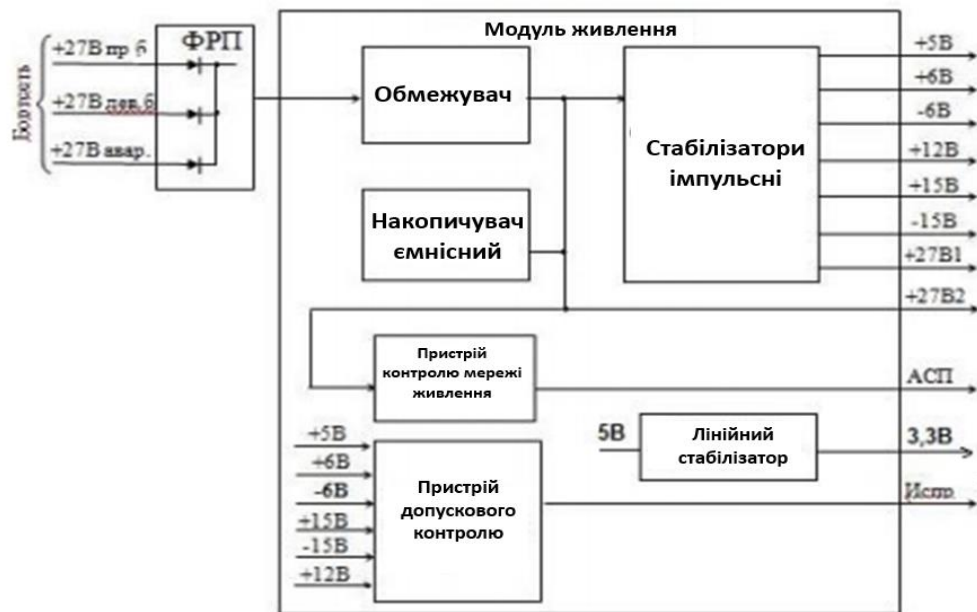


Рис.1.3. Дворівнева схема живлення і трьохрівневій схемах (рис.1.4.)

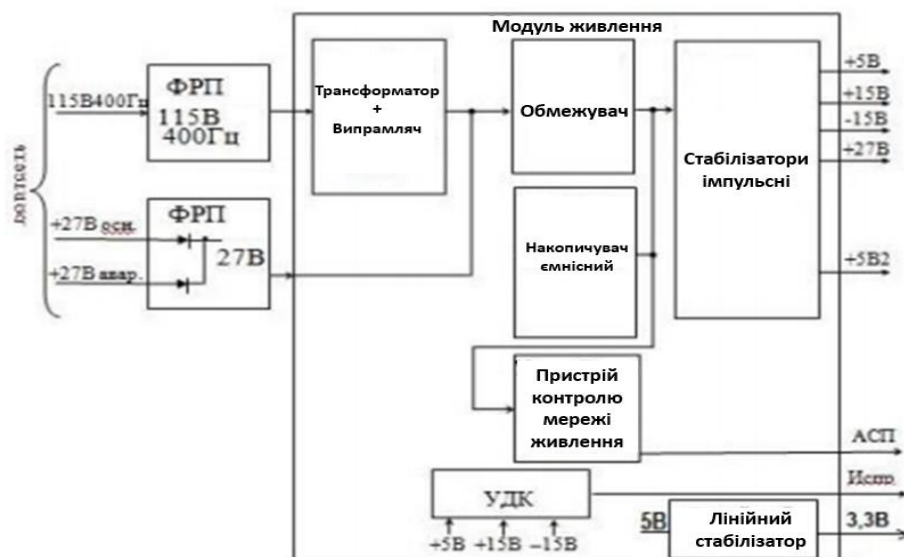


Рис.1.4Трьохрівнева схема живлення

У трирівневій схемі на вхід модуля вторинного живлення напруги поступає напруга від системи енергопостачання змінного струму $U = 115 \text{ В}$, $f = 400 \text{ Гц}$ і напруги від авіаційного джерела $U = 27 \text{ В}$. ці модулі використовуються для живлення БЦВМ [5].

У склад кожного з вищевказаних блоків входить фільтр радіоперешкод (ФРП). Цей фільтр забезпечує електромагнітну сумісність апаратури комплексу БРЕО. В концепції інтегральної модульної авіоніки апаратура БРЕО повинна бути виконана у вигляді стандартних стелажів (крехтів) з установленими в них

уніфіковані функціональні модулі. У склад крейт входить ІВЕП і ФРП. Живлення джерел вторинного електроживлення крейтів забезпечується від двох каналів первинної системи енергопостачання і від аварійного джерела електроживлення, що суттєво збільшує складність джерел і вимагає встановлення додаткових фільтрів радіоперешкод. Структура електроживлення крейда показана на рис. 1.5.

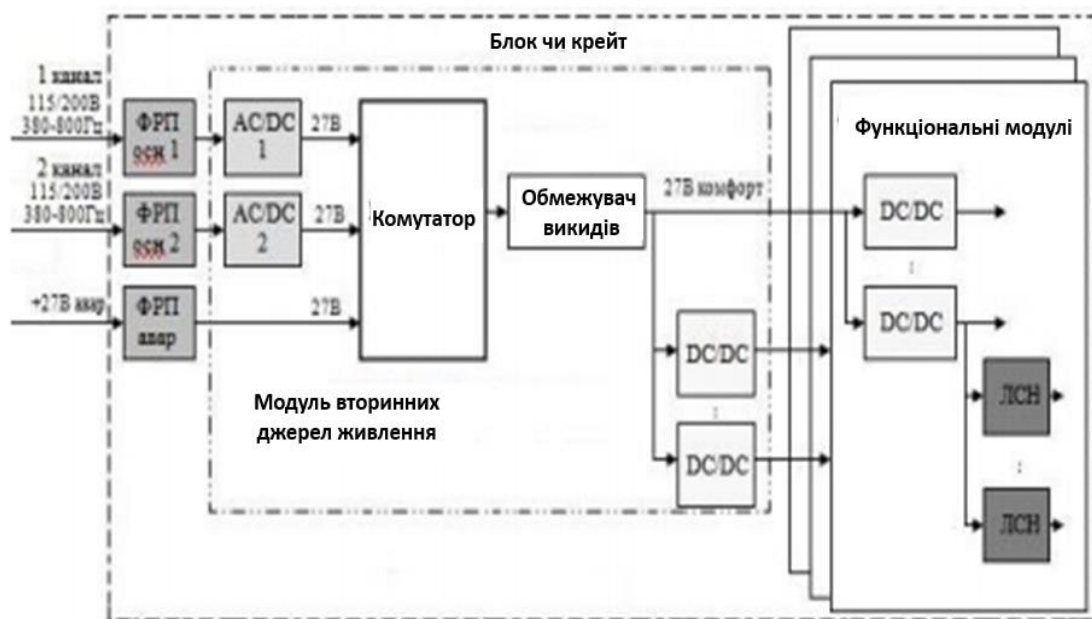


Рис. 1.5. Схема живлення крейта

Приймачі електричної енергії можна розділити за видом електричної енергії необхідної для їх роботи і за структурою їх вхідних ланцюгів, які підключені до джерел живлення.

Аналіз БРЕО сучасних ЛА показує, що їх вхідні ланцюги мають структуру, представлену на рис. 1.6 і 1.7.



Рис. 1.6. Організація ланцюгів живлення БРЕО електроенергією змінного струму

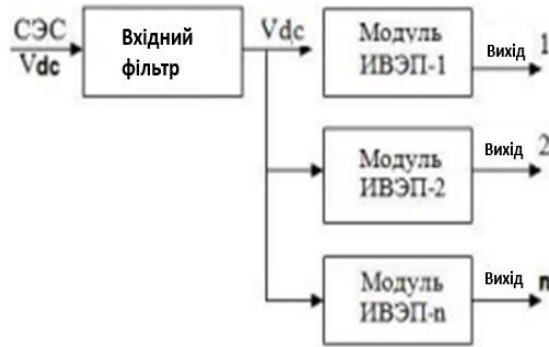


Рис. 1.7. Організація ланцюгів живлення БРЕО від джерел постійного струму

Аналіз приладів вторинного електроживлення сучасного БРЕО підтвердив, що ці прилади мають імпульсні блоки живлення і оснащені вхідними фільтрами, які забезпечують електромагнітну сумісність на ПС.

Потужні приймачі ЕЕ – це нагрівальне обладнання і електродвигуни приводів. Для контролю нагрівальних елементів достатньо визначити їх опір. Двигуни можуть бути управляючі або неуправляючі.

Незважаючи на функціональні відмінності БРЕО і приводів їх вхідні ланцюги за електроживленням мають подібні елементи, що спрощують контроль авіаційного обладнання за ланцюгами живлення.

1.3. Аналіз наявних методів і засобів для діагностування авіаційного електрообладнання

Насьогоднішній момент можна спостерігати велику кількість різних приладів для оперативного визначення технічного стану авіаційного обладнання. Такі прилади можуть з певною точністю вимірювати сигнали, які відповідають діагностичним параметрам об'єкта технічної діагностики [4].

Спочатку перед розробленням методів і засобів технічної діагностики стоїть завдання визначення параметрів, що характеризують працездатність контролюваного обладнання і визначають надійність об'єкта загалом. Після цього необхідно визначити конкретні діагностичні критерії, тобто

визначити кількість існує величину параметрів і тільки на підставі дотримання приписаних умов слід розробити відповідні методи і засоби визначення технічного стану об'єкта [4].

Розглядають параметричні та фізичні методи технічного діагностування

Методи технічного діагностування поділяють на такі групи:

- діагностування в процесі функціонування, що враховує динаміку об'єкта: за безпосередніми параметрами робочих процесів (потужності, продуктивності тощо); за непрямими діагностичними параметрами, що характеризують технічний стан (температура, шум, вібрації);
- діагностування за структурними параметрами (знос, деградація властивостей тощо);
- за видом об'єкта, методами і глибиною операцій вона може бути комплексною або поелементною.

Комплексна діагностика дає змогу визначити відповідність нормам вихідних експлуатаційних показників обладнання загалом.

Під час поелементної діагностики, яку зазвичай проводять за непрямими ознаками, виявляють технічний стан і потребу зняття або розбирання конкретного виробу, що перевіряється [4].

Залежно від реалізації розрізняють рівні діагностики: рівень об'єкта загалом; рівень конкретних блоків і агрегатів; рівні систем, блоків і елементів, механізми і деталей.

Діагностування може проводитися послідовно, починаючи з рівня об'єкта і, за необхідності, може доходити до рівня конкретних елементів. Методи та засоби діагностування об'єктів визначаються виконуваними функціями та їхніми властивостями (структурними та параметричними).

Засоби, необхідні для діагностування авіаційного електрообладнання, призначаються для отримання та аналізу діагностичних ознак, які визначаються розробником під час його проектування. Під час випробувань, експлуатації,

на ремонтних підприємствах використовують прилади, пристосування і тенди, що застосовуються для визначення конкретних діагностичних ознак застосування методів діагностування.

Вітчизняна і зарубіжна статистика робіт багатьох відомих авіакомпаній показує, що на цьому етапі виявляється велика конкуренція з погляду зниження витрат на ТОіР, під чим мається на увазі підвищення ефективності експлуатації ПС.

Для розв'язання зазначеної проблеми необхідне проведення спеціальних досліджень щодо розроблення та впровадження в експлуатацію прогресивних методів і засобів контролю технічного стану комплектувальних виробів, що входять до складу ПС, а також важливим аспектом у розв'язанні цієї проблеми є пошук конкретних місць відмов.

Першим кроком для розв'язання зазначеної проблеми слід сформулювати перелік діагностичних ознак, за якими можна реально відстежити працездатність об'єкта. Тут існує кілька методів – малих відхилень, факторного аналізу, математичного моделювання або напівнатурних випробувань об'єкта, експертних оцінок, методи оптимізації набору контрольованих параметрів. [10]

Слід звернути увагу на те, що якщо діагностувати обладнання, яке зазвичай експлуатується "по-напрацюванню", то в інструкції з експлуатації буде відсутня інформація про постійний контроль такого обладнання. Для обладнання, функціонування якого вкрай важливе в польоті варто розробляти методику діагностування його технічного стану на основі математичного аналізу.

З вищевикладеного тексту стає очевидним, що не існує універсального методу контролю. Лише залежно від функціонального призначення того чи іншого обладнання має бути обрано метод для діагностики технічного стану цього обладнання. Слід правильно обирати структуру, а також необхідні показники надійності та достовірності інформації.

Заключним етапом процесу діагностики є вибір конкретного критерію для ухвалення рішення про працездатність або непрацездатність об'єкта дослідження та його подальшого використання на ПС [6].

1.4 Можливості діагностування та прогнозування стану споживачів електроенергії в процесі експлуатації ЛА

Розглядаючи аналіз, розроблення та реалізацію процесів технічної діагностики різних станів досліджуваних об'єктів, насамперед слід звернути увагу на завдання, що відкриваються під час аналізу, розроблення та реалізації процесів керування загалом. Важливим завданням є дослідження фізичних властивостей об'єктів контролю та їхніх відмов. Не менш важливим є завдання побудови математичних моделей самих об'єктів контролю та моделей їхніх відмов. Після цього слід приступити до аналізу моделей об'єктів контролю для зняття даних. Отримання даних потрібне для побудови алгоритмів контролю [14]. Після проведеного аналізу і збору даних слід вирішити завдання створення засобів технічного контролю на основі розроблених алгоритмів. Тільки після експериментальної перевірки розробленої системи діагностики з позитивним результатом можна говорити про реалізацію цієї системи і впровадження її в експлуатацію. Зрештою, підсумком виконаної роботи буде розробка методів проектування засобів технічної діагностики загалом і дослідження їхніх характеристик і властивостей.

Здебільшого термін "контроль технічного стану" застосовують у тому разі, коли головним завданням технічного діагностування є визначення виду технічного стану (ТС). Якщо перейти від терміну "діагностування" до терміну "прогнозування", то кінцевою метою прогнозування ТЗ буде визначення із заданою ймовірністю інтервалу часу, протягом якого збережеться справний стан об'єкта дослідження. Також можна спрогнозувати ймовірність збереження справного стану в конкретний період часу. Для контролю технічного стану авіаційного обладнання вкрай важливим є отримання результатів прогнозу для досліджуваного об'єкта з точки зору подальшої експлуатації. Результатами прогнозу можуть бути поведінки окремих комплектувальних виробів, відмова яких може вплинути на працездатність функціональних систем повітряних суден у майбутньому.[14]

Вбудованим засобам контролю притаманні такі основні переваги:

- ✓ скорочення часу відновлення працездатності системи і, відповідно, підвищення загальної експлуатаційної готовності;
- ✓ зменшення чисельності обслуговуючого персоналу, що забезпечує ремонтно-відновлювальні роботи;
- ✓ скорочення видів ремонту і запасних частин за рахунок підвищення достовірності контролю. [2]

Нині істотно підвищилася якість надійності застосовуваної електроніки на ПС. На це вплинуло застосування мікропроцесорних технологій у складі системи розподілу ПС. Це спричинило зниження споживаної потужності, зниження маси електронних компонентів, а отже, і самої ПС загалом, і розширення функціоналу. Слід зазначити, що крім прогресу в засобах передавання даних, розробники авіаційного обладнання зробили великий крок уперед у частині вдосконалення засобів індикації даних. Розробка модульного конструювання комплектувальних виробів із застосуванням цифрових технологій та інтегральних схем з високою надійністю, а також впровадження електронної апаратури з функціональним групуванням електричних ланцюгів, на сучасних ПС сприяє реалізації функцій вбудованого контролю [14]. Слід врахувати, що вартість системи, до якої входять подібні комплектувальні вироби, сильно не зміниться. Створення мікропроцесорних технологій спричинило реалізацію нових стратегій ТОiP, які зменшують час відновлення і скорочують кількість помилкових замін і відмов, виявлених авіаційним персоналом, а також зменшився час простою ПС на землі, що вплинуло на зниження витрат на експлуатацію систем авіоніки.

Таким чином, технічну діагностику як основу підвищення надійності та ефективності експлуатації ПС можна визначити як сукупність ідей, пов'язаних з організацією оптимальних процедур контролю, діагностування та оцінювання технічного стану систем ПС, які охоплюють постановку проблем і завдань, методів та засобів їх вирішення, а також методи та засоби технічної реалізації контролю та діагностування для оцінювання поточного стану та трендів параметрів цього оцінювання.

Під час проектування систем ПС, якщо розглядати з погляду їх як об'єктів контролю та діагностики, то обов'язково слід враховувати аналіз їхніх властивостей і характеристик як реальних фізичних об'єктів. Слід обирати конкретні методи побудови їхніх математичних моделей для оцінки їхнього стану. Математичні моделі будуть основою формальних методів побудови програм контролю технічного стану проєктованих систем.

На сьогоднішній день часто використовуються в стратегіях з ТОiP методи і засоби діагностики, які засновані на різних фізичних принципах. Такі методи дають змогу охопити контролем найважливіші, з погляду експлуатації, агрегати, вузли та системи [10].

Ще на етапі проектування авіаційного обладнання слід закладати до його складу вбудовані засоби самодіагностики, а також враховувати реалізацію додаткових алгоритмів перевірки обладнання. Розробник вирішує, чи буде організовано подібного роду контроль до увімкнення обладнання в роботу або вже в процесі експлуатації [10].

Як правило, автоматичне діагностування систем авіоніки застосовується на перед польотній перевірці після підключення живлення. Позитивний результат перед польотної перевірки підвищує ймовірність успішного виконання польоту. Також тестування можна провести в польоті після подачі живлення на не увімкнені раніше системи. Під час автоматичного тестового діагностування контролюється правильність виконання об'єктом заданих йому функцій. Постійне діагностування в польоті для бортових систем ПС дає можливість у реальному режимі часу реагувати на порушення правильності функціонування бортових систем [10].

Аналіз побудови систем електропостачання показує необхідність розроблення нових типів силової комутаційної апаратури, що забезпечує можливості керування електроенергетичним комплексом літальних апаратів у межах концепції інтегральної модульної авіоніки. Ця апаратура підтримує функції контролю струму і напруги.

Формуючи розподілену систему контролю на борту ПС, доцільно реалізовувати оцінку технічного стану обладнання у вузлах зосередження навантажень. Локальні центри управління навантаженнями (ЛЦУН) і розподільчі центри (РЦ) можуть бути такими вузловими точками в системі розподілу ПС [12].

Локальні центри управління навантаженнями є складовою частиною системи розподілу електричної енергії сучасної ВС. Крім ЛЦУН у цю систему входять також первинний і вторинний центри розподілу. Для літаків із геометрією, подібною до Boeing 787, A380 (розміщення силових установок на крилі), первинні та вторинні розподільчі центри розміщують у центроплані та поблизу пілотської кабіни (рис. 1.8), що забезпечує мінімальну довжину силових провідників.

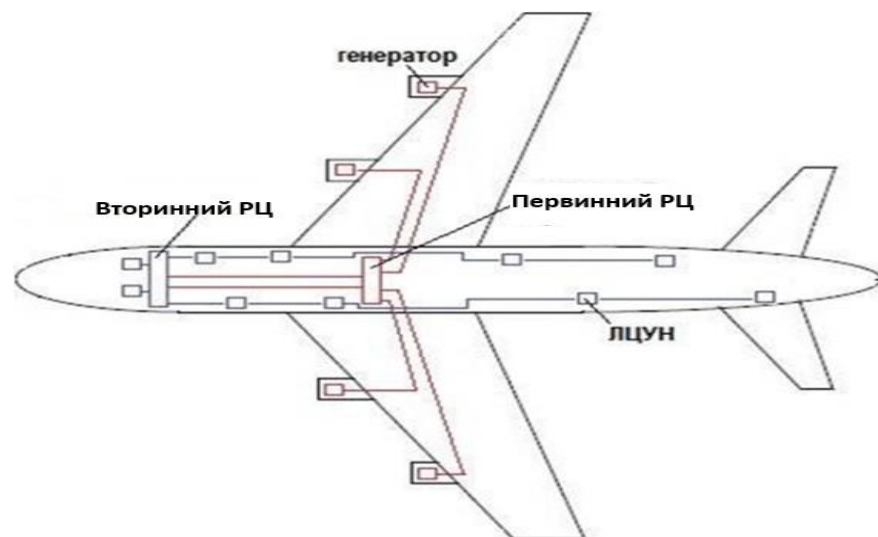


Рисунок 1.8. Розміщення системи розподілу

У розподільних центрів крім функцій, які пов'язані з їхнім безпосереднім завданням (забезпечення комутації електричних мереж і навантажень), можуть бути включені функції з управління підсистемами літака, зокрема системою генерування електроенергії та перетворювальними пристроями.

Можливості цієї апаратури не обмежені. ЛЦУН, крім забезпечення комутацією електричних мереж і навантажень, може забезпечувати функції

контролю струму і напругу та оцінювання стану обладнання, оскільки повністю сполучається з цифровою шиною керування [12].

Сучасні інтегровані елементи комутаційної техніки мають різні найменування:

PEPDC - Інтегрований центр розподілу первинної електроенергії;

ВППП - вторинний блок розподілу електроенергії;

СЕППП - вторинні розподільчі коробки електроживлення;

ЛРМ - лінійний змінний модуль;

RPDU - дистанційні блоки розподілу електроенергії;

ELCU - електронний блок управління навантаженням.

У вітчизняній техніці подібні пристрої називають локальними центрами управління навантаженням (ЛЦУПН), вимикач-запобіжник (ВП), блок комутації та захисту (БКЗ), інтелектуальний силовий комутатор (ІСК).

Архітектуру побудови ЛЦУН можна розглянути на прикладі SPDU SERIES28 VDC фірми Esterline Technologies Corporation (рис.1.9) [18].

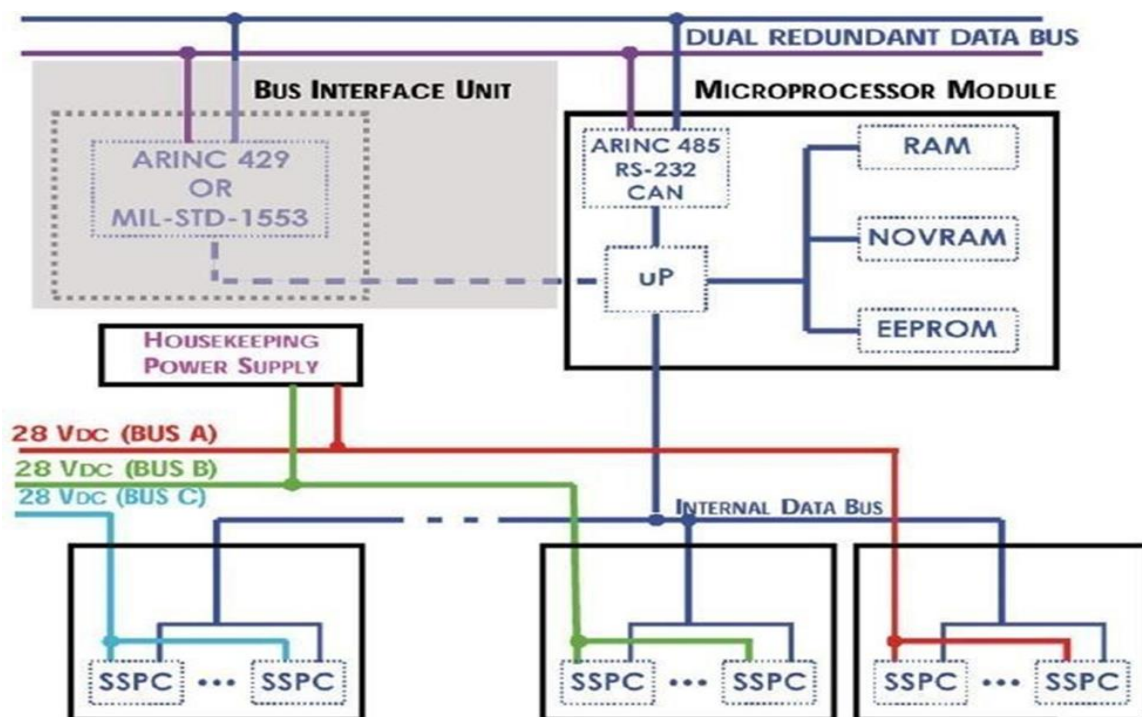


Рис. 1.9. Архітектура SPDU Esterline

Цей SPDU у штатній комплектації містить 28 електронних ключів (SSPCs), призначених для комутації напруги 28В постійного струму. Блок містить 6

каналів на струм до 10А (за $t \leq 850$ С) і 22 канали на струм до 5А (за $t \leq 850$ С), крім того, є модифікації з двома додатковими каналами по 60 А. Блок має дубльовану шину живлення 28 В і дубльовану шину обміну даними, вбудоване джерело живлення для системи управління. Блок містить 7 змінних плат (LRM). Керування блоком здійснюється по даних, за допомогою дискретних сигналів або кнопок на корпусі, на корпус також виведена світлодіодна індикація стану ключів [18].

SPDU має розвинену вбудовану систему контролю: у момент увімкнення, у процесі функціонування та контролю на вимогу. У процесі контролю перевіряється ампер-секундна характеристика ключів.

Опціонально блок підтримує роботу по шині даних у стандартах: MIL-STD-1553B, ARINC 429, ARINC 485, RS-232 і CAN Bus. Канали можуть програмуватися на струми 75%, 50%, 25% від їхнього номінального значення. По шині даних також передається стан ключів, струми навантажень, стан блоку. Блок має вбудований мікропроцесорний модуль, який взаємодіє з LRM.

У складі ЛЦУН на цьому етапі відсутні функції контролю стану комутованого обладнання. Завдяки наявності прямого електричного зв'язку ЛЦУН з електричним обладнанням, можна реалізувати в складі ЛЦУН додатково функції контролю для зовнішнього обладнання. ЛЦУН забезпечує контроль струму і напруги у системі розподілу ВР, також до його складу входить керівний процесор і до нього під'єднано шини для передавання даних [11]. Для виконання контрольних функцій потрібно розширити архітектуру ЛЦУН і його програмне забезпечення.

Важливим аспектом системи розподілу є безпосередній зв'язок ЛЦУН із приймачами електричної енергії, що дає змогу автоматизувати діагностику цілісності ліній живлення електричного приймача, а також провести діагностування стану приймача [12].

З усього вищевикладеного стає очевидним, що засобами вбудованого контролю неможливо оцінювати параметри вхідних (вихідних) ланцюгів електроживлення. Для цього потрібно розробити спеціальну методику діагностування, що реалізується в інтелектуальних системах розподілу

електроенергії. Необхідно побудувати алгоритм визначення параметрів діагностованого обладнання на основі ідентифікації параметрів їхніх цифрових портретів.

1.5 Вибір об'єкта, предмета та визначення завдань дослідження

Аналіз завдань, необхідних для підвищення безпеки польотів, що, своєю чергою, забезпечує льотну придатність повітряних суден, які розробляються та модернізуються, зокрема необхідність збільшення повноти діагностування авіаційного електроустаткування, що під'єднане для живлення до цифрових інтелектуальних систем розподілу електричної енергії, визначив, що об'єктом дослідження є приймачі електричної енергії, підключені до цифрових інтелектуальних систем розподілу електричної енергії. інтелектуальним системам розподілу електроенергії, а предметом дослідження є методика діагностування критичних параметрів електричних кіл вхідних каскадів приймачів електричної енергії на основі результатів цифрових вимірювань параметрів споживаної електричної енергії (струму та напруги живлення) постійного струму.

Параметри АЧХ несуть у собі інформацію про динамічні властивості об'єкта, так само як ці властивості визначаються параметрами перехідного процесу після ступеневої дії (рис. 1.10).

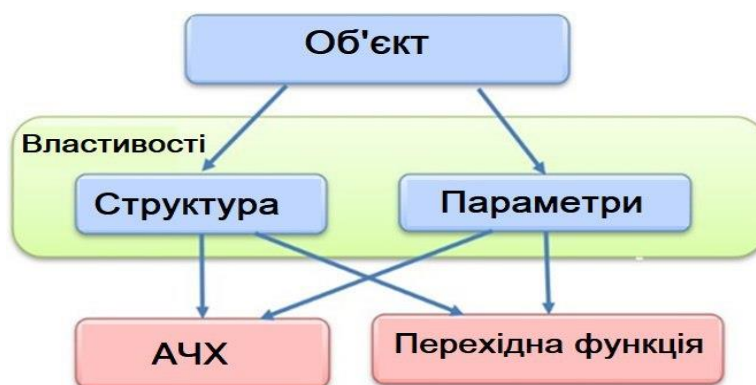


Рис. 1.10. Визначення динамічних властивостей об'єкта дослідження

Як джерела інформації і АЧХ, і перехідна функція рівнозначні, проте для реалізації функції визначення властивостей об'єкта в першому випадку необхідно мати генератор синусоїдальних сигналів із необхідним діапазоном частот, які генерують, а також досить високоточні вимірювачі струму і напруги, для точного визначення модуля імпедансу в умовах малих сигналів і перешкод. Реалізація частотного методу визначення властивостей об'єкта дослідження можлива або під час його наземних випробувань, або вимагає істотного перероблення системи розподілу електроенергії.

Метод, заснований на визначенні параметрів об'єкта дослідження за перехідною функцією, не вимагає додаткових апаратних засобів для здійснення впливу та може бути застосовано на борту ПС, оскільки приймачі електроенергії і так вмикають під час функціонування бортового обладнання, проте отримання параметрів об'єкта дослідження пов'язане з необхідністю чисельного отримання значень похідних, що не є тривіальним завданням.

Електричні схеми вхідних ланцюгів живлення приймачів електроенергії зазвичай невідомі, проте перед початком їхньої експлуатації є можливість у лабораторних умовах зняти АЧХ їхніх вхідних імпедансів, і за експериментально отриманими АЧХ синтезувати схему еквівалентну заміщення вхідних ланцюгів живлення. Еквівалентність такої схеми розглядається в сенсі збігу експериментально знятої АЧХ об'єкта й АЧХ еквівалентної схеми заміщення (рис. 1.11).

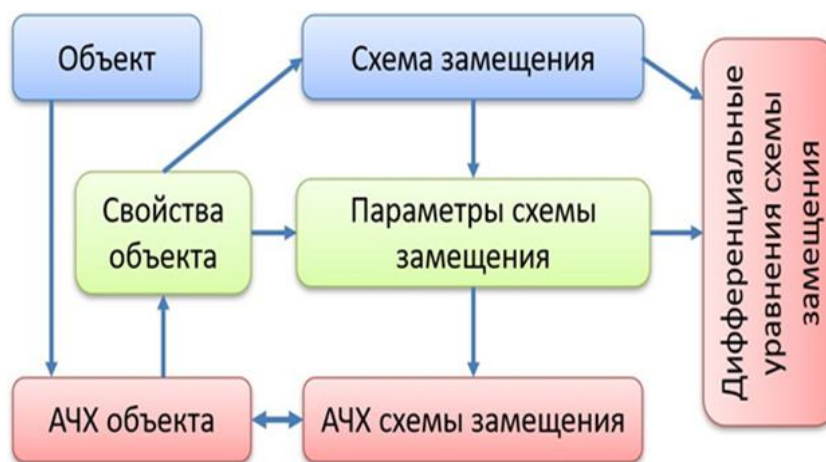


Рисунок 1.11. Визначення динамічних властивостей об'єкта дослідження

Таким чином ми маємо 2 групи параметрів об'єкта досліджень, які можуть бути контрольованими параметрами в методиці діагностування – це параметри еквівалентної електричної схеми заміщення та параметри (коефіцієнти) системи диференціальних рівнянь.

Рівняння для визначення параметрів електричної схеми заміщення, реалізовані в мікропроцесорі локального центру управління, параметри яких постійно уточнюються на основі цифрових вимірів споживаного струму і напруги живлення, і є цифровим двійником, що дає змогу діагностувати стан приймача електроенергії.

Виявлене практичне протиріччя між прагненням підвищити ефективність діагностування споживачів електроенергії та відсутністю такої можливості засобами вбудованого контролю, а також протиріччя в теорії між новими можливостями цифрових інтелектуальних систем розподілу електроенергії та відсутністю методів застосування цих можливостей до удосконалення системи діагностування, приводить до необхідності розв'язання наукового завдання – розроблення методики діагностування споживачів електроенергії.

Наукову задачу розбито на окремі блоки:

- ✓ аналіз варіантів побудови вторинних вбудованих джерел живлення споживачів електроенергії постійного струму, конфігурації вхідних ланцюгів у них, а також визначення критичних параметрів із погляду їхньої працездатності, які підлягають контролю;

- ✓ дослідження впливу відхилення параметрів реактивних елементів ланцюгів живлення приймачів електроенергії на їхню працездатність і визначення критичних значень відхилень цих параметрів, що характеризують перехід приймачів електричної енергії в непрацездатний стан;

- ✓ розроблення методики визначення параметрів реактивних елементів вхідних кіл приймачів електричної енергії на основі вимірювання миттєвих значень вхідного струму і напруги;

- ✓ дослідження можливості синтезу еквівалентних електричних схем заміщення вхідних кіл приймачів електроенергії на основі аналізу амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) вхідного імпедансу;

✓ визначення залежності чутливості визначення контрольованих параметрів електричних схем заміщення до похибок вимірювання АЧХ;

✓ експериментальні дослідження розробленої методики діагностування.

ВИСНОВКИ ДО 1 РОЗДІЛУ:

1. На основі аналізу систем і методів діагностики авіаційного електрообладнання виявлено:

а) збільшення кількості та різноманітності споживачів електроенергії, що призводить до необхідності вдосконалення систем контролю та діагностування нового обладнання;

б) інтенсивно впроваджуються в бортові системи електропостачання цифрові інтелектуальні системи розподілу електроенергії, в яких реалізовано цифрові вимірювання параметрів електроенергії, що передається, а також мікропроцесорне опрацювання даних, які вимірюють; це дає змогу розширити можливості діагностування приймачів електричної енергії, зокрема визначення стану вхідних кіл живлення, які недоступні для вбудованого контролю.

2. Аналіз принципів побудови і схем живильних ланцюгів авіаційного обладнання при живленні постійним і змінним струмом показав:

а) більшість блоків БРЕО має вбудовані джерела вторинного електроживлення, з імпульсними або лінійними стабілізаторами напруги, і які завжди мають на ході схеми з реактивними елементами, схильними до старіння і зміни властивостей через зовнішні впливи;

б) потужні приймачі ЕЕ (електроприводи, системи обігріву тощо) також у колах живлення мають реактивні елементи, зміна властивостей яких у процесі експлуатації може призвести до відмови обладнання.

3. Показано, що вхідні ланцюги живлення приймачів ЕЕ можуть бути діагностовані на основі визначення зміни вхідного імпедансу схеми живлення двома способами:

а) частотним методом, шляхом зняття амплітудно-частотних характеристик вхідного імпедансу, що передбачає наявність додаткового апаратного оснащення (генератора синусоїдальних сигналів, точних цифрових вимірників струму і напруги, досить потужні обчислювальні ресурси для опрацювання вимірювань);

б) методом, що ґрунтується на аналізі перехідних функцій за струмом і напругою, який дає змогу використовувати природний вплив на об'єкт контролю (під'єднання до бортової мережі), але потребує розроблення методики визначення параметрів об'єкта дослідження та реалізації алгоритму контролю в мікроконтролерах локальних центрів управління навантаженнями.

4. Застосування інтелектуальної системи контролю технічного стану споживачів електроенергії може дати змогу проводити діагностування стану під час експлуатації за станом і забезпечити можливість відкладеного обслуговування.

5. Визначено об'єкт дослідження – приймачі електроенергії, які під'єднують до цифрової інтелектуальної системи розподілу, і предмет дослідження - методику діагностування стану ПЕЕ на основі використання цифрового двійника його вхідних кіл.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИЙМАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ЧАСТОТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ІМПЕДАНСІВ ЛАНЦЮГІВ ЖИВЛЕННЯ

2.1 Аналіз можливості діагностування вхідних кіл приймачів електроенергії засобами цифрових систем розподілу електроенергії на основі визначення параметрів реактивних елементів схем заміщення

Перспективні цифрові інтелектуальні системи електропостачання дають змогу реалізовувати додаткові функції, пов'язані з вимірюванням у реальному масштабі часу параметрів електричної енергії, що споживається контрольованим обладнанням.

Під цифровою інтелектуальною системою електропостачання ВС розуміють таку систему електропостачання, у якій система розподілу електроенергії (рис. 2.1) містить у собі як силову мережу передавання електроенергії, так і цифрову інформаційну мережу, яка зв'язує всі пристрої СЕС, і здійснює в режимі реального часу



Рис. 2.1. Система розподілу електроенергії на ПК

- цифрове вимірювання параметрів (струму і напруги) усіх потоків електроенергії між джерелами і споживачами;

- управління цими потоками в усіх режимах роботи СЕС на основі цифрових алгоритмів обробки даних;

отримання керуючих команд від систем верхнього рівня (систем управління загальнолітальним/загальногелікоптерним обладнанням) і передавання інформації про стан СЕС;

- реалізацію в цифрових мікроконтролерах функцій діагностування відмов і прогнозування стану СЕС і споживачів ЕЕ з метою недопущення виникнення аварійних режимів.

Джерела і споживачі електроенергії повинні включати до свого складу цифрові паспорти, в яких записані параметри цифрових двійників конкретних екземплярів, і які постійно верифікуються і змінюються при зміні властивостей цього обладнання. Наявність цифрових паспортів обладнання дає змогу реалізувати інтелектуальні функції прогнозування стану і СЕС, і всього обладнання, під'єданого до системи розподілу.

Отже, засобами цифрової інтелектуальної системи розподілу електроенергії, оскільки до неї під'єднано більшість пристроїв електрообладнання літака, можна реалізувати систему контролю та діагностування стану цього обладнання.

Впровадження мікроелектронних контролерів у комутаційну апаратуру широко застосовується на сучасних літаках. Це призводить до можливості створення інтегрованої системи керування електричним навантаженням. Дослідження додаткових можливостей інтелектуальних авіаційних систем електропостачання [12, 16, 20] є першими, орієнтованими на застосування авіаційної системи керування електричним навантаженням [12, 17, 20].

У сучасних системах розподілу електроенергії ВР для реалізації функцій управління і захисту використовують цифрові вимірювання значень напруги і струму споживання в реальному масштабі часу, ці виміряні дані можуть бути використані для отримання додаткових можливостей – оцінювання стану

споживачів електроенергії, для цього необхідно внести зміни в програмні алгоритми роботи обчислювачів [20].

Під час побудови вимірювально-керувальних систем, зокрема тих, що входять до систем керування, контролю та діагностики систем електропостачання, одним із найважливіших завдань є визначення значень параметрів об'єктів цих систем.

Для прикладу розглядаються вбудовані джерела вторинного електроживлення, які є вхідними пристроями в споживачах електроенергії та перетворюють електричну енергію постійного струму в постійний струм інших рівнів напруги.

До складу перетворювачів входять реактивні елементи, що забезпечують вимоги якості електроенергії, параметри яких у процесі експлуатації змінюються через старіння, вплив зовнішніх чинників впливу. Вихід параметрів за допустимі межі, коли не виконуються вимоги до якості електроенергії, характеризує перехід ВІП, а отже, і всього пристрою, в непрацездатний стан. Якщо навчитися діагностувати зміну параметрів цих елементів, тоді можна буде судити про стан ВІП і попередити виникнення аварійного режиму.

Часто для забезпечення заданої якості електроенергії у вхідних каскадах ВІП використовують частотні фільтри. Вони забезпечують оптимальний рівень якості електроенергії під час роботи різних видів споживачів електроенергії у складі системи розподілу ВР. Погіршення якості електроенергії безпосередньо впливає на зниження терміну служби контрольованого обладнання, що є найімовірнішою причиною відмов і виходу з ладу.

Система розподілу електроенергії завжди електрично пов'язана з вхідними каскадами ВІП, тому існує принципова можливість вимірювання параметрів споживаної електроенергії (струму і напруги) для визначення вхідних параметрів ВІП.

У теорії діагностики існують різні методи визначення параметрів контрольованих об'єктів, наприклад, частотний або імпедансний методи тощо. Згідно з імпедансним методом можна, вимірюючи значення повного опору

двополюсника $Z(f)$ на заданій множині значень частоти f_1, f_2, f_n , визначати параметри двополюсника на підставі отриманої інформації.

Режим контролю обладнання в знеструмленому стані дає змогу перевірити лінію живлення на наявність обривів або короткого замикання й оцінити попередньо стан приймача електричної енергії.

Приймач електричної енергії, під'єднаний до електронного ключа ЛЦУН, можна розглядати як багатоелементний двополюсник (МД), параметри якого визначаються як його станом, так і режимом роботи. У неробочому стані приймач характеризується реакцією на тестовий вплив, як реакція може виступати повний опір приймача на тестовій частоті (рис. 2.2). Цей метод оцінювання стану в багатьох випадках не володіє великою глибиною діагностування, але може бути використаний для попереднього оцінювання стану обладнання [12].

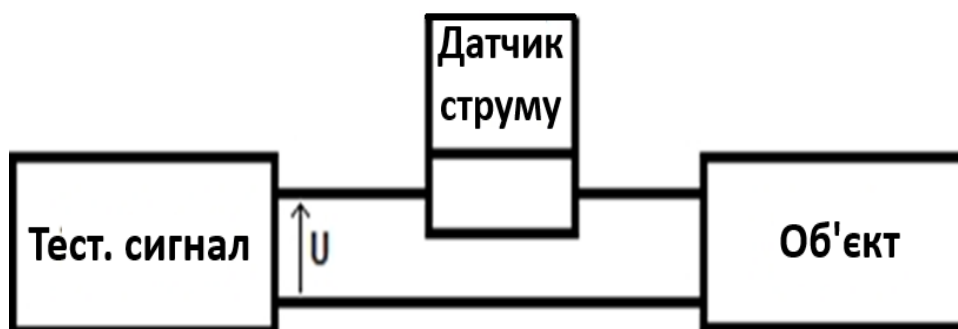


Рис. 2.2. Схема вимірювання повного опору

Одним із найпоширеніших методів визначення імпедансу є частотний метод [10], згідно з яким вимірюють значення повного опору двополюсника $Z(f)$ на деякій множині значень частоти f_1, f_2, f_n і визначають параметри МД на підставі отриманої інформації. Максимальна кількість ідентифікованих параметрів, враховуючи комплексний характер імпедансу, дорівнює $2n$. Для контролю стану обладнання достатньо обмежитися повними опорами двополюсника за різних тестових сигналів, що спрощує процедуру діагностики.

Для однопараметрного двополюсника характер зміни опору від частоти відомий (рис.2.3) і його визначення реалізується порівняно просто [12].

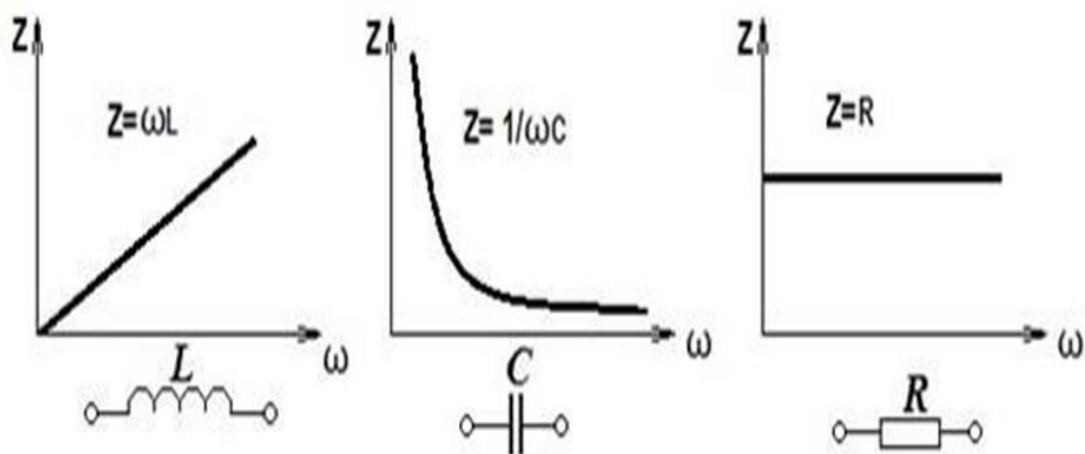


Рис. 2.3. Залежності опорів від частоти

Для багатопараметричних двополісників частотні характеристики ускладнюються залежно від числа їхніх параметрів. Розглянемо спочатку чисто реактивне навантаження, що включає С і L компоненти. У реактивних навантажень опір ($Z(\omega) = \pm jX$) залежить від частоти, при цьому $Z(\omega)$ може багаторазово змінюватися від 0 до ∞ [10].

Значення частот ω , за яких вхідний опір двополісника обертається на нуль, називаються нулями вхідного опору. Значення частоти ω , за яких вхідний опір дорівнює нескінченності, називаються полюсами вхідного опору.

На рис. 2.4 зображенні частотної осі такі характерні частоти двополісника, причому нулі позначено кружечками, а полюси хрестиками [12].

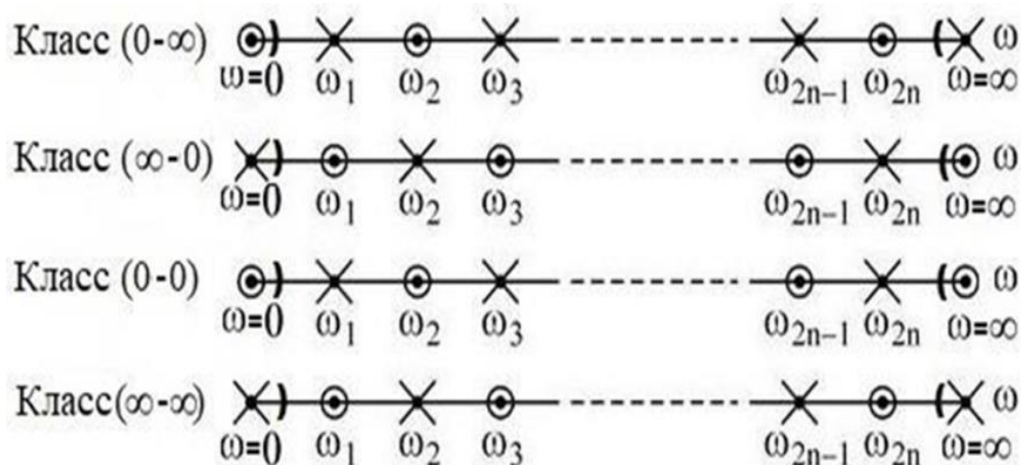


Рис. 2.4. Характеристичні рядки двополісників

Залежність нулів і полюсів від частоти називають характеристичним рядком двополюсника (або полюсно-нульовими діаграмами) [6].

Залежно від характеру опору на кінцях частотного діапазону ($\omega=0$ і $\omega=\infty$), двополюсники поділяють на чотири класи. Нумерація класу умовна і складається з двох цифр (0 і ∞). Перша цифра класу визначає величину опору на частоті $\omega=0$, друга на частоті $\omega=\infty$, клас 1: (0, ∞); клас 2: (∞ ,0); клас 3: (0,0); клас 4: (∞ , ∞) [7].

Нулі та полюси опору двополюсника умовно можна розділити на зовнішні, що визначаються класом, і власні (внутрішні), що визначаються резонансами. Частоти резонансу напруги є нулями опору двополюсника, а частоти резонансу струмів - полюсами. Характеристичні рядки двополюсників зазначених 4-х класів наведено на рис. 2.4. На малюнку зовнішні нулі та полюси виділено дужками.

Для реактивних двополюсників існують загальні закономірності:

✓ число резонансних частот будь-якого реактивного двополюсника на одиницю менше за загальне число реактивних елементів у його схемі;

✓ частоти резонансів напруги і струми реактивного двополюсника чергуються: між будь-якими двома резонансами напруги є один резонанс струмів, і між будь-якими двома резонансами струмів знаходиться резонанс напруги;

✓ під час резонансу напруги характер реактивності двополюсника змінюється з ємнісного на індуктивний, а під час резонансу струмів – з індуктивного на ємнісний; у багатоелементних реактивних двополюсників характер реактивності контуру змінюється зі зростанням частоти не один раз;

✓ при зростанні частоти реактивний опір двополюсника в точках безперервності зростає (з урахуванням знаку реактивного опору);

✓ якщо в схемі двополюсника є шлях для проходження постійного струму, то першим настає резонанс струмів, а якщо такого шляху немає, першим настає резонанс напруги [6].

У загальному випадку опір реактивного двополюсника $Z(j\omega)$ можна визначити за канонічною формулою Фостера [2].

Залежності опорів МД від частоти для різних класів показано на рис. 2.5 [6].

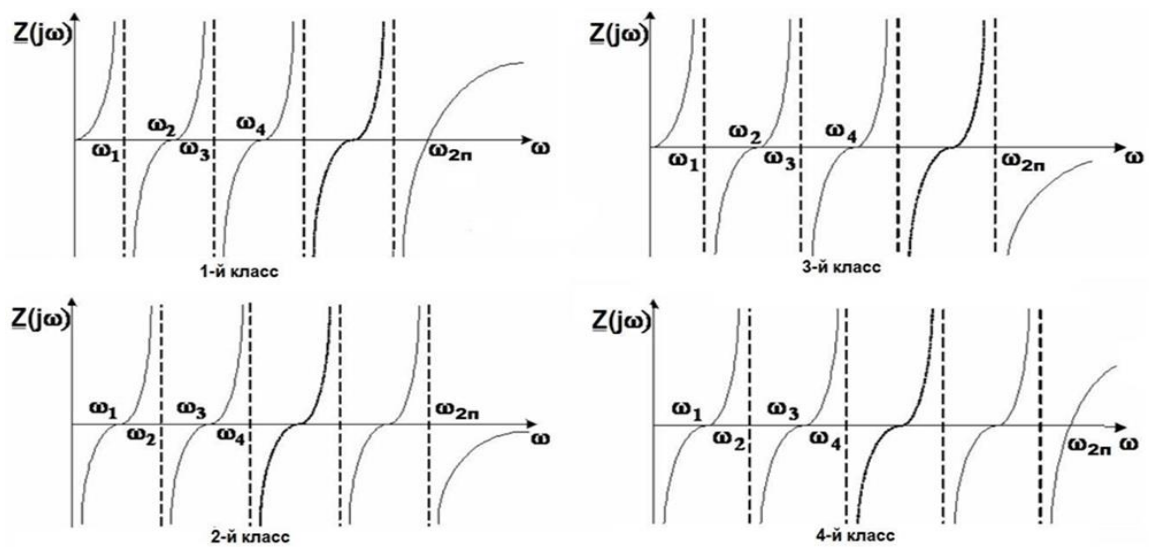


Рис. 2.5. Залежності вхідних опорів багатопараметричних двополюсників від частоти

Точки нулів і полюсів на частотній осі можуть бути використані як діагностичні параметри об'єкта контролю. Будь-яка зміна параметрів об'єкта призведе до їхнього зміщення. Поступова зміна параметрів об'єкта, викликана їхнім старінням або іншими факторами, також спричинить дрейф нулів і полюсів частотної характеристики і цей дрейф може бути інструментом у прогнозуванні стану контрольованого об'єкта.

Розглянуті характеристики опорів відносяться до суто реактивних елементів, проте запропонований підхід до оцінки стану за повним опором об'єкта для різних частот може бути поширений на МД, що містять як активні, так і реактивні елементи.

Необхідно провести дослідження з визначення частотних характеристик обладнання, впливу його параметрів на характеристику. Так само, такі дослідження мають визначити ступінь контролепридатності розглянутого способу. Очевидно, що цей метод контролю не може замінити вбудовану систему контролю, але може її доповнити під час перед польотної перевірки [12].

Для реалізації функцій діагностики та прогнозування стану авіаційної техніки необхідна наявність функціональної залежності між контрольованими і вимірюваними параметрами ДВЕР. Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) досліджуваного обладнання може бути підставою для отримання таких залежностей.

2.2 Методика аналізу амплітудно-частотних характеристик вхідних імпедансів приймачів електроенергії для визначення можливості синтезу електричних схем заміщення

Вхідні імпеданси вторинних джерел електроживлення, у яких відбуваються перехідні процеси, можна досліджувати за допомогою амплітудно-частотних характеристик.

Властивості електричних схем заміщення визначаються параметрами її елементів і насамперед реактивних елементів, що характеризують інерційні властивості середовища поширення коливань (електричних, механічних, теплових та ін.). У процесі експлуатації авіаційного обладнання значення його параметрів, а отже, і параметрів його електричних схем заміщення змінюються відносно вихідних значень, що призводить до зміни параметрів їхніх амплітудно-частотних характеристик. Відхилення параметрів обладнання не повинні перевищувати задані значення, які визначаються граничними режимами його функціонування.

Для синтезу систем керування в технічних системах модель об'єкта дослідження часто представляють у вигляді передавальної частотної функції, при цьому параметром, залежним від частоти, можуть бути електрична напруга, струм, імпеданс, а також і параметри, які мають іншу фізичну природу (механічні, гідравлічні та ін.). Узагальнене представлення об'єктів у вигляді амплітудно-частотної характеристики дає змогу узагальнити й іншу форму представлення об'єктів – у вигляді електричних схем заміщення. При цьому необхідно привести у відповідність розмірності відповідних фізичних величин.

Функції системи розподілу, крім керування і захисту, можуть бути розширені можливістю оцінювання стану споживачів електроенергії на підставі вимірних значень напруги і струму в режимі реального часу [12]. Але перед тим, як перейти до визначення функціональних залежностей між контрольованими і вимірюваними параметрами, спочатку стоїть завдання за вихідною АЧХ вхідного каскаду блока живлення синтезувати електричну схему

заміщення, АЧХ якої збігається з вихідною. Дослідження параметрів вхідних ланцюгів джерел живлення методом амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) показали, що зміна параметрів реактивних елементів призводять до зміни резонансних частот [12, 20]. АЧХ вхідних каскадів ДВЕЖ мають характерну форму, вигляд якої визначається повним вхідним імпедансом схеми. Наявність явно виражених резонансних точок дає змогу оцінювати і в перспективі прогнозувати стани (відмови та зміну параметрів) елементів електричної схеми [12]. Щоб провести це дослідження, потрібно отримати електричну схему заміщення для вихідної АЧХ і переконатися в тому, що відхилення параметрів ланцюга заміщення спричинить таке саме відхилення параметрів реактивних елементів вихідного ланцюга. Для цього потрібно розробити методику синтезу електричних схем заміщення на основі аналізу амплітудно-частотних характеристик, а також оцінити вплив параметрів реактивних елементів цих схем на параметри частотної характеристики.

2.3 Дослідження можливості контролю стану обладнання за ланцюгами живлення в знеструмленому стані

Параметри приймача електричної енергії визначаються виходячи з його стану. Як уже зазначалося раніше, у вимкненому стані приймач можна кваліфікувати за допомогою його реакції на тестовий сигнал. Реакцією може бути струм або опір.

Як приклад розглянемо частотну характеристику опору імпульсних джерел струму, які наразі встановлюють практично в будь-яке обладнання, як ДВЕЖ. Типова схема вхідного вузла імпульсного джерела живлення показана на рис.2.6. Схема містить: варистор R1, що обмежує величину перенапруги з боку мережі; термістор R2, що обмежує струм заряду конденсатора C8; елементи двокаскадного фільтра перешкод виконано на елементах C1-C8 і L1- L4 [12].

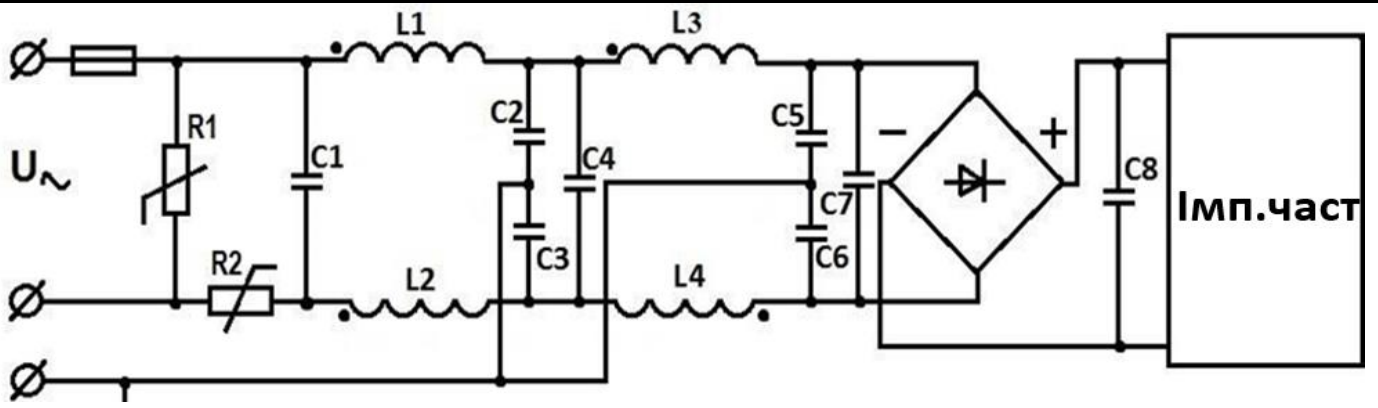


Рис. 2.6. Вхідний ланцюг імпульсного перетворювача напруги [11].

Графік залежності модуля опору на вході схеми від частоти зображено на рис. 2.7 [11].

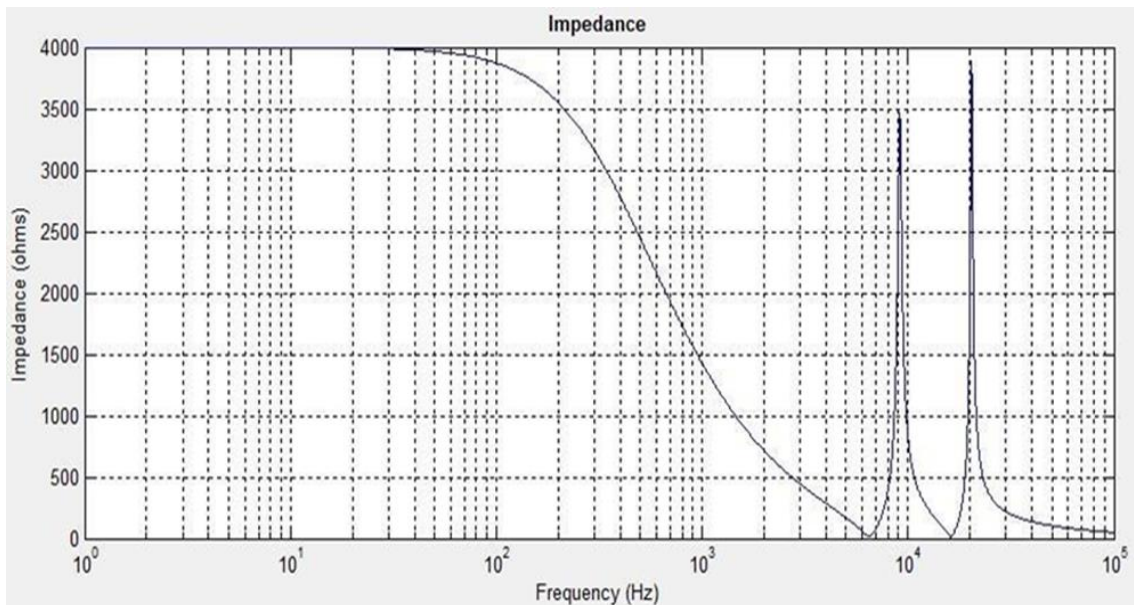
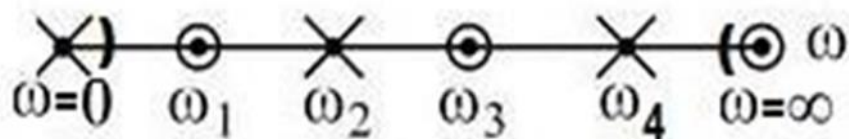


Рис. 2.7. Залежність модуля опору від частоти для схеми на рис.2.6 за номінальних значень параметрів

Обмеження максимального значення опору на рівні 4000 Ом зумовлено специфікою роботи вимірювача опорів. Характеристичний рядок цієї схеми (рис. 2.8) має вигляд [11]:



Рис, 2.2. Характеристичний рядок вхідного ланцюга перетворювача

Двополюсник належить до класу ($\infty - 0$). Нулі та полюси характеристичного рядка дорівнюють: $\omega_1=4,1*10^4$ рад/с; $\omega_2=5,7*10^4$ рад/с; $\omega_3=10,2*10^4$ рад/с; $\omega_4=12,6*10^4$ рад/с, вони характеризують справний стан пристрою і можуть

слугувати діагностичними ознаками. У разі виникнення відмов, використовуючи програмне забезпечення MatlabSimulink, характеристичний рядок змінюватиметься. На рисунках 2.9-2.15 показано графіки модуля опору за наявності різних відмов у схемі [11].

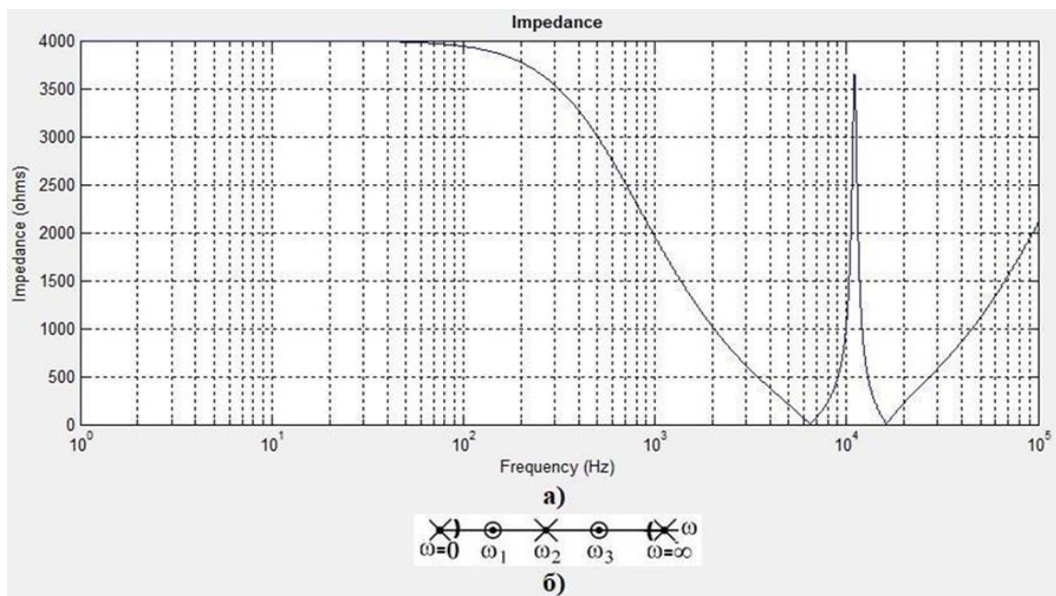


Рис. 2.9: а) графік повного опору в разі обриву C1;б) характеристичний рядок

Нулі та полюси характеристичного рядка: $\omega_1=4,1*10^4$ рад/с; $\omega_2=6,9*10^4$ рад/с; $\omega_3=10,2*10^4$ рад/с, при цьому він змінив свій клас ($\infty-\infty$) [11].

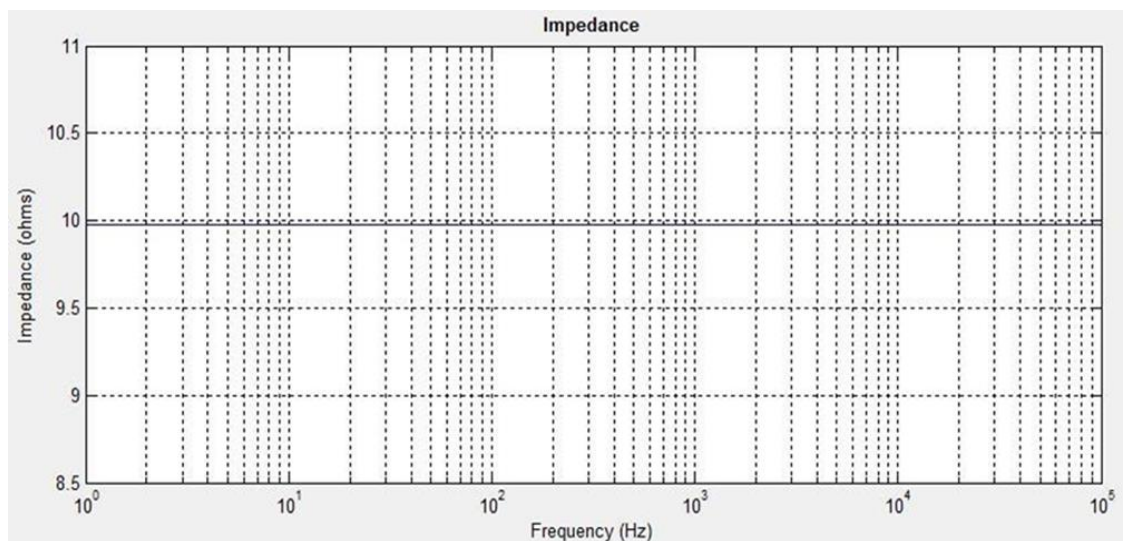


Рисунок 2.10. Графік повного опору в разі кз С1

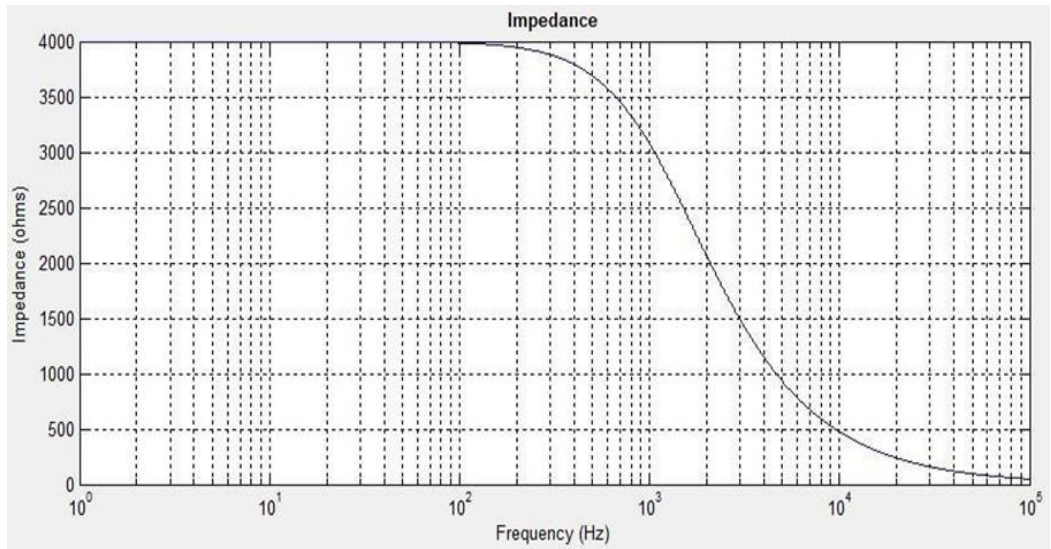


Рисунок 2.11. Графік повного опору в разі обриву обмотки L1

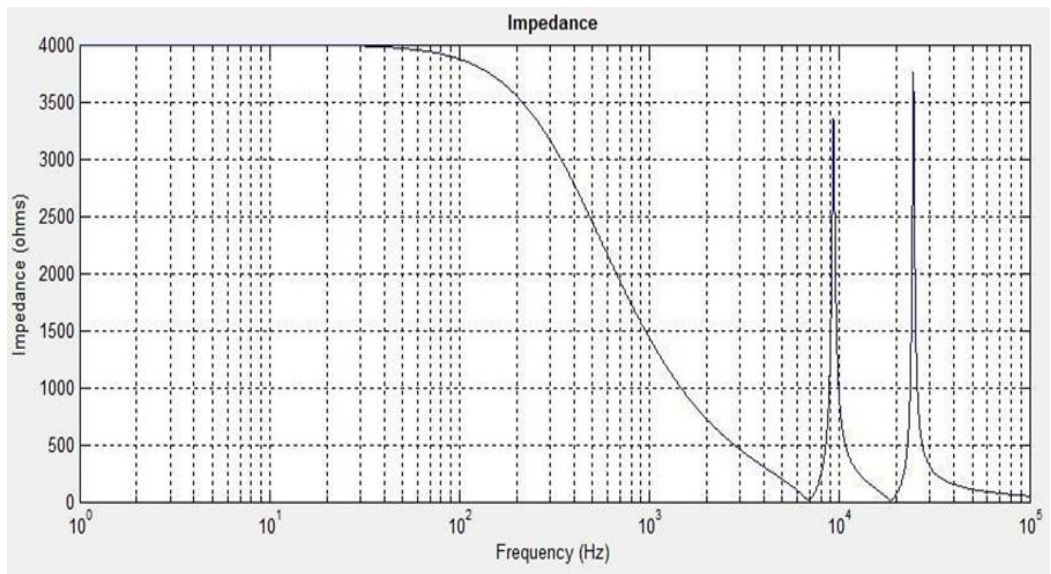


Рисунок 2.12. Графік повного опору в разі кз обмотки L1

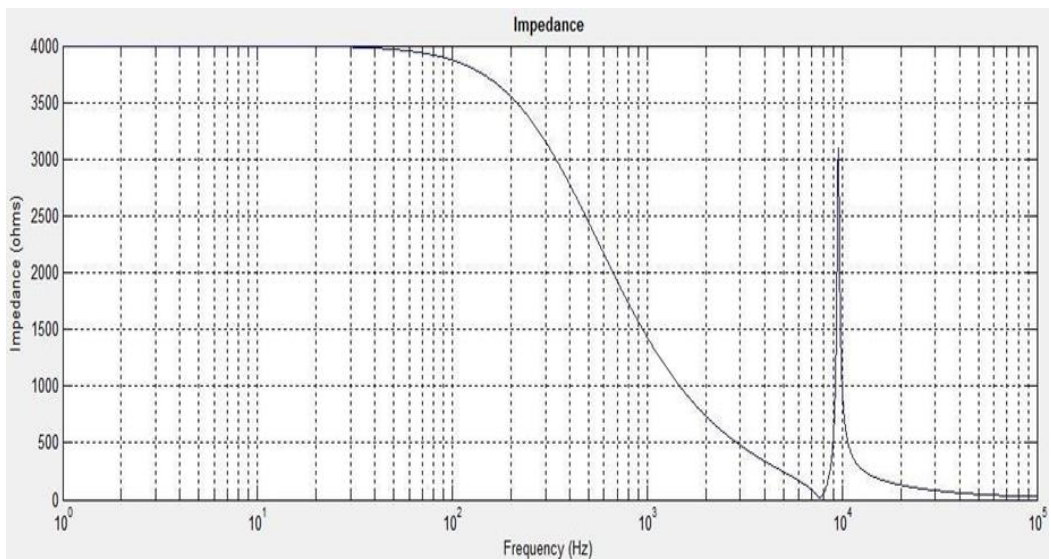


Рисунок 2.13. Графік повного опору в разі кз обмоток L1, L2

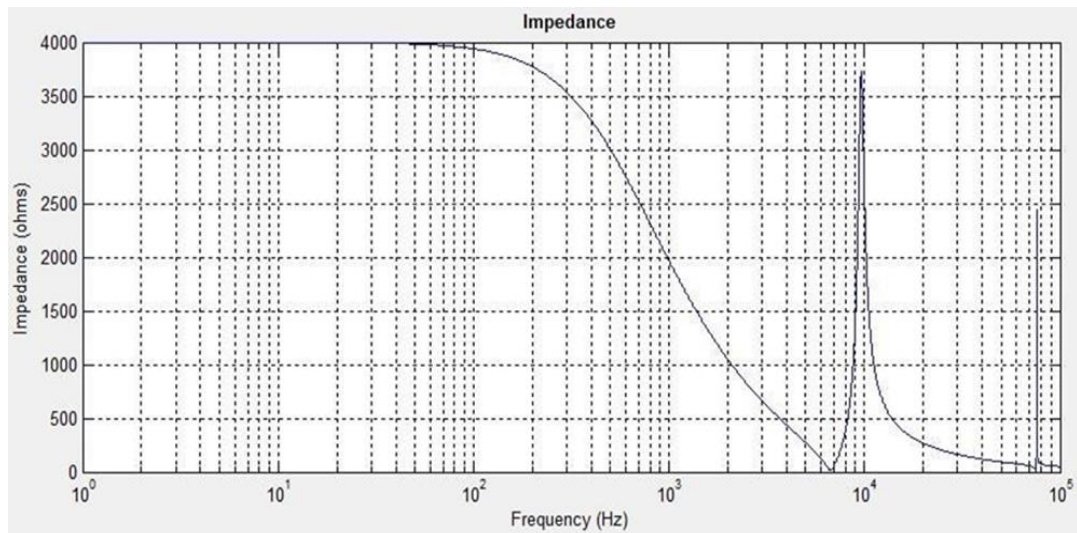


Рисунок 2.14. Графік повного опору в разі обриву C4

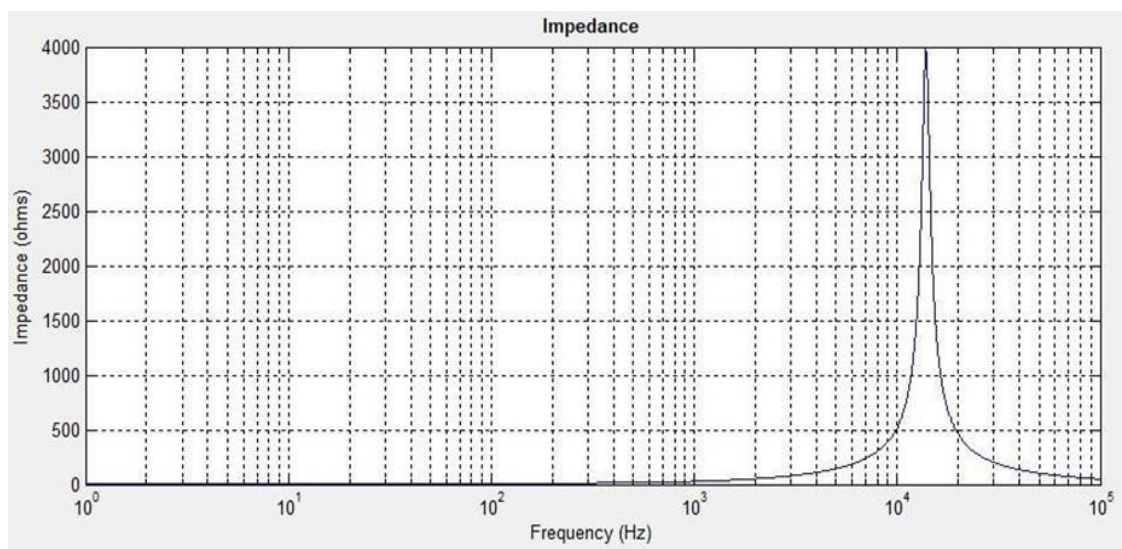


Рисунок 2.15. Графік повного опору в разі кз C4

Наведені графіки показують можливість контролю стану різних елементів принципової схеми. Важливо зазначити, що введення різних відмов (обрив, коротке замикання) у схему після випрямляча ніяк не змінює графік повного опору.

Вимірювання повного опору дає змогу прогнозувати з певним ступенем точності поступові відмови, що характеризуються поступовою зміною параметрів технічного стану та зумовлені зношуванням або старінням матеріалу деталей чи вузлів електрообладнання. Відстежуваними параметрами

прогнозування є зміни нулів і полюсів характеристичного рядка об'єкта в процесі періодичного контролю. У таблицях 2.1 – 2.3 наведено значення частот параметричного рядка в разі поступової деградації ємностей С1, С4, С7 у діапазоні від 33 нФ до 10 нФ [11].

Таблиця 2.1

Значення частот під час деградації ємностей С1.

С1,нФ	f1,Гц	f2,Гц	f3,Гц	f3,Гц
33	6500	9110	16220	20350
30	6500	9230	16220	20760
25	6500	9440	16220	21660
20	6500	9690	16220	22980
15	6500	9970	16220	25070
10	6500	10290	16220	28860

Таблиця 2.2

Значення частот під час деградації ємностей С4.

С4,нФ	f1,Гц	f2,Гц	f3,Гц	f3,Гц
33	6500	9110	16220	20350
30	6500	9150	16910	20890
25	6550	9220	18330	22050
20	6590	9290	20240	23640
15	6620	9360	22980	26000
10	6650	9450	27400	29950

Таблиця 2.3

Значення частот при деградації ємностей С7.

С7,нФ	f1,Гц	f2,Гц	f3,Гц	f3,Гц
33	6500	9110	16220	20350
30	6760	9350	16280	20360
25	7290	9940	16420	20400
20	7970	10680	16640	20460
15	8860	11740	17040	20570

Виділені фрагменти таблиць характеризуються найбільшими змінами нулів і полюсів у характеристичних рядках і добре фіксують відхилення відповідних параметрів.

У знеструмленому стані двигуни можна розділити на двигуни з електронним комутатором і двигуни безпосереднього підключення до електричної мережі. Перший тип двигунів, як правило, має на вході електричний фільтр і випрямляч, подібний до раніше розглянутої схеми, тому характеристики будуть подібні до характеристик схеми на рис. 2.6.

Другий тип двигунів у знеструмленому стані має схему заміщення відповідного активно індуктивного навантаження. Розглянемо характеристику $Z(\omega)$ двигуна постійного струму з паралельною обмоткою збудження, рисунок 2.16 [11].

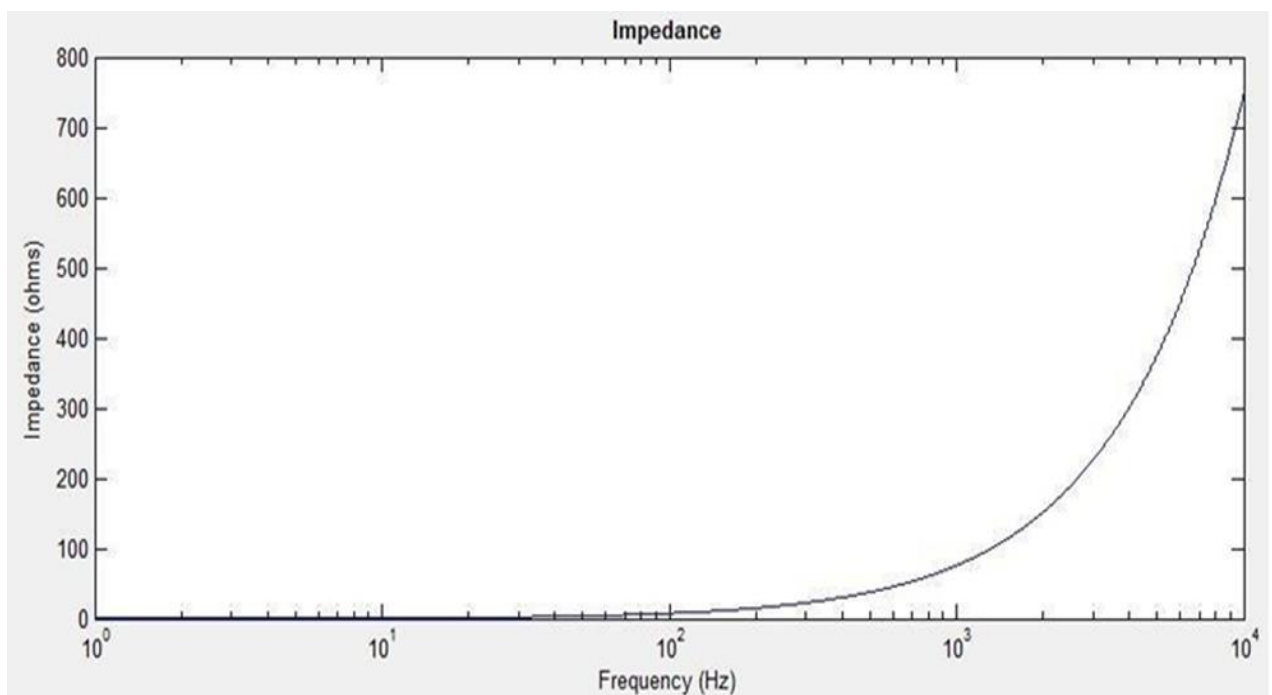


Рис. 2.16. Модуль повного опору двигуна постійного струму паралельного збудження

Для такого двигуна характерні такі відмови в електричних колах: обрив у колі якоря (рис. 2.17), обрив у колі обмотки збудження, коротке замикання на затискачах машини [11].

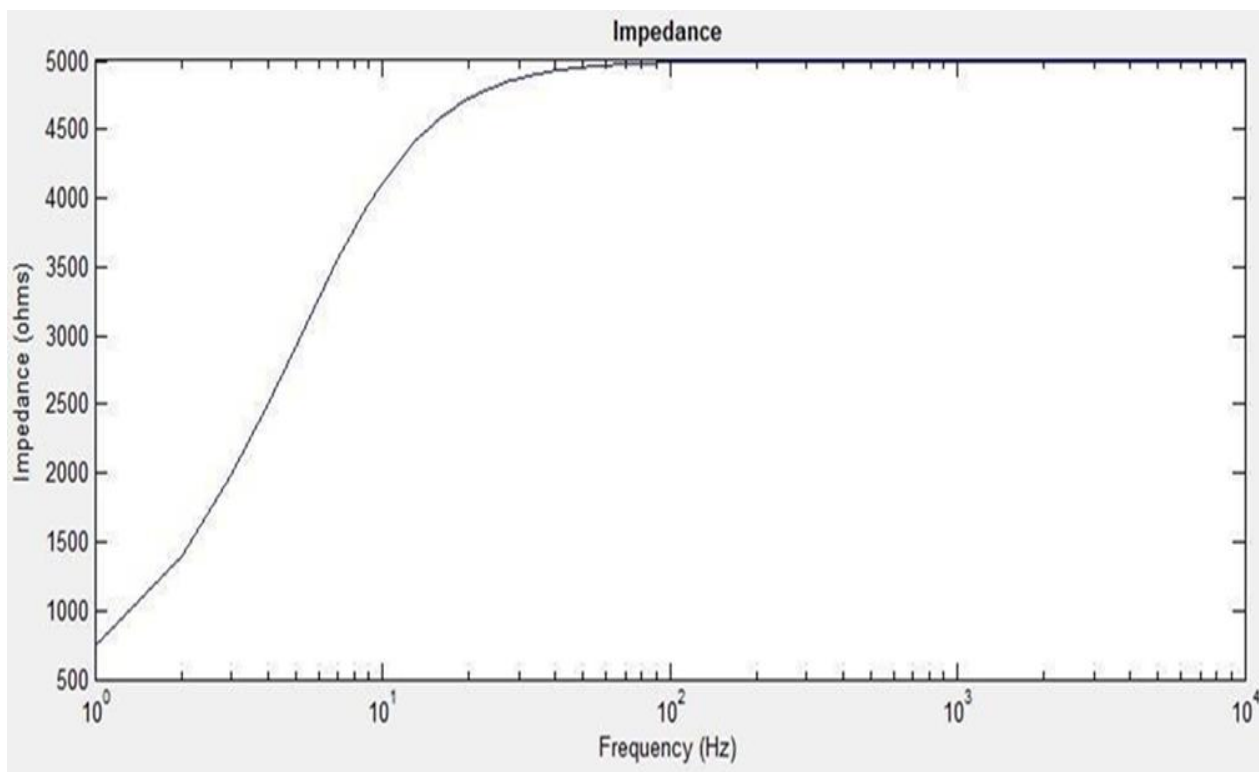


Рис. 2.17. Обрив у ланцюзі якоря (обмеження 5000 Ом, зумовлені методикою вимірювання)

Характеристиці на рисунку 2.18 будуть також відповідати двигуни змінного струму. Для розглянутих типів рухове навантаження відповідає класу (0-∞). Характеристика опору двигуна в разі обриву обмотки збудження практично збігається з малюнком 2.18, оскільки низький опір якоря сильно шунтує вхідний ланцюг машини. У разі короткого замикання на клеммах машини двигун переходить у клас навантажень (0-0) [11].

Таким чином, метод повного опору так само дає змогу визначати основні відмови двигунів, як постійного, так і змінного струму.

2.4 Експериментальні дослідження можливості контролю приймачів електроенергії за амплітудно-частотними характеристиками на прикладі перетворювачів AC-DC, DC-DC

З вищевикладеного випливає, що ЛЦУПН можуть проводити контроль стану обладнання та його лінії живлення, як у вимкненому режимі, так і під навантаженням. Хоча контроль у вимкненому стані не володіє великою інформативністю, але в нього є перевага, зумовлена відсутністю перешкод з боку системи електропостачання на процедуру контролю. Наявність датчика струму в електронному ключі ЛЦУН дає змогу вести контроль стану об'єкта у ввімкненому стані за його струмом [11].

Для підтвердження теоретичних обґрунтувань можливості діагностування стану споживачів електроенергії були проведені експериментальні дослідження амплітудно-частотних характеристик AC-DC Інвертор IPOWER 24 - 220 В 1500 Вт чистий синус (рис. 2.18) і перетворювача DC-DC Половинний Пакет 75W DC-DC Конвертер (рис. 2.19) [23,24].



Рис. 2.18. Інвертор IPOWER 24 - 220 В 1500 Вт чистий синус

Інвертор IPOWER 24 - 220 В 1500 Вт чистий синус призначені для застосування в промисловості, мають високу питому потужність і допускають широкий діапазон зміни вхідної напруги. Перетворювачі оснащені захистами від перевантажень і коротких замикань на виході, а також захистом від перенапруги на вході. Вони забезпечують регулювання вихідної напруги і мають хороші показники електромагнітної сумісності.



Рисунок 2.19. Половинний Пакет 75W DC-DC Конвертер

Низько профільні ізолювані DC/DC модулі електроживлення призначені для жорстких умов експлуатації в техніці спеціального та промислового призначення.

Відмінною особливістю модулів є можливість паралельної роботи з вирівнюванням струмів, що відкриває перспективи для нарощування потужності та резервування. Модулі виконані на сучасній елементній базі. Застосування модулів особливо зручне під час побудови високоефективної системи розподіленого електроживлення для споживачів, які мають або самостійно реалізують в апаратурі вхідний випрямляч мережі та вхідний фільтр- мережевий конденсатор. Повний комплекс захистів і дистанційне керування забезпечує зручність експлуатації.

Основні характеристики блоків наведено в таблиці 2.4 [23,24].

Основні характеристики блоків живлення.

Параметри	Модельблоку	
	IPOWER-LVYUAN	Пакет 75W DC-DC Конвертер
1.Максимальна вихідна потужність , Вт	3000	75
2.Безперервна вихідна потужність,Вт	1500	—
3.Вхідна напруга(АС,DC),В(частотаf,Гц)	210-240, (АС),f=50)	40-160(DC)
4. номінальна вихідна напруга (DC), В.Номінальна вихідна напруга(DC),В	27,4	27
5.ККД	0,90	0,92
6. Максимальний струм навантаження,А	50	11,9

У цьому розділі наведено результати практичних вимірювань АЧХ двох імпульсних блоків живлення.

Вимірювання АЧХ проводилися за схемою на рис. 2.20.

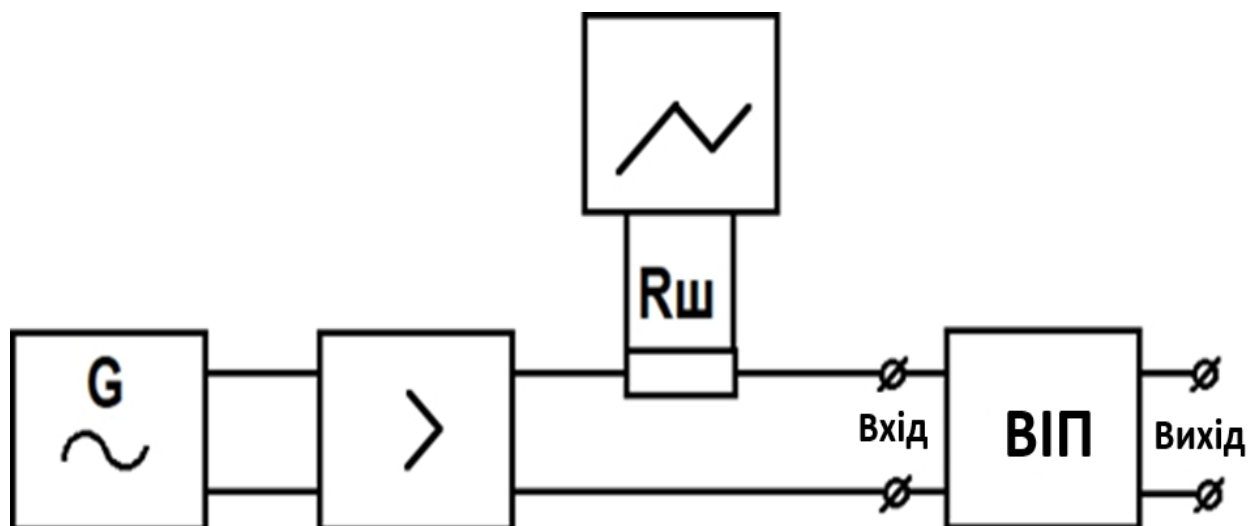


Рисунок 2.20 Схема вимірювання АЧХ вторинного джерела живлення

Як генератор сигналів регульованої частоти використовували генератор низьких частот (G) з верхньою межею за частотою – 1мГц. Вхідний опір двополюсника ІВЕП на "нулях" дуже малий, близько 1 Ома. Вихідний опір генератора 50 Ом, тому для узгодження опорів ІВЕП і генератора між ними ввімкнено підсилювач потужності. Як підсилювач потужності використовувався емітерний повторювач зі струмом спокою близько 100 мА. За допомогою осцилографа вимірювалося падіння напруги ($U_{ш}$) на опорі шунта, $R_{ш}$. У результаті, на осцилографі фіксувалася величина, зворотна внутрішньому опору ВІП.

Для усунення спотворення синусоїдального сигналу напруга на генераторі обмежувалася рівнем 500 мВ, опір шунта близько 2 Ом. Таким чином, параметри вимірювальної схеми обмежують розмах вимірюваного струму, але не впливають на розташування нулів і полюсів ВІП. Результати вимірювань АЧХ блоків наведено на рис. 2.21 і рис. 2.22 .

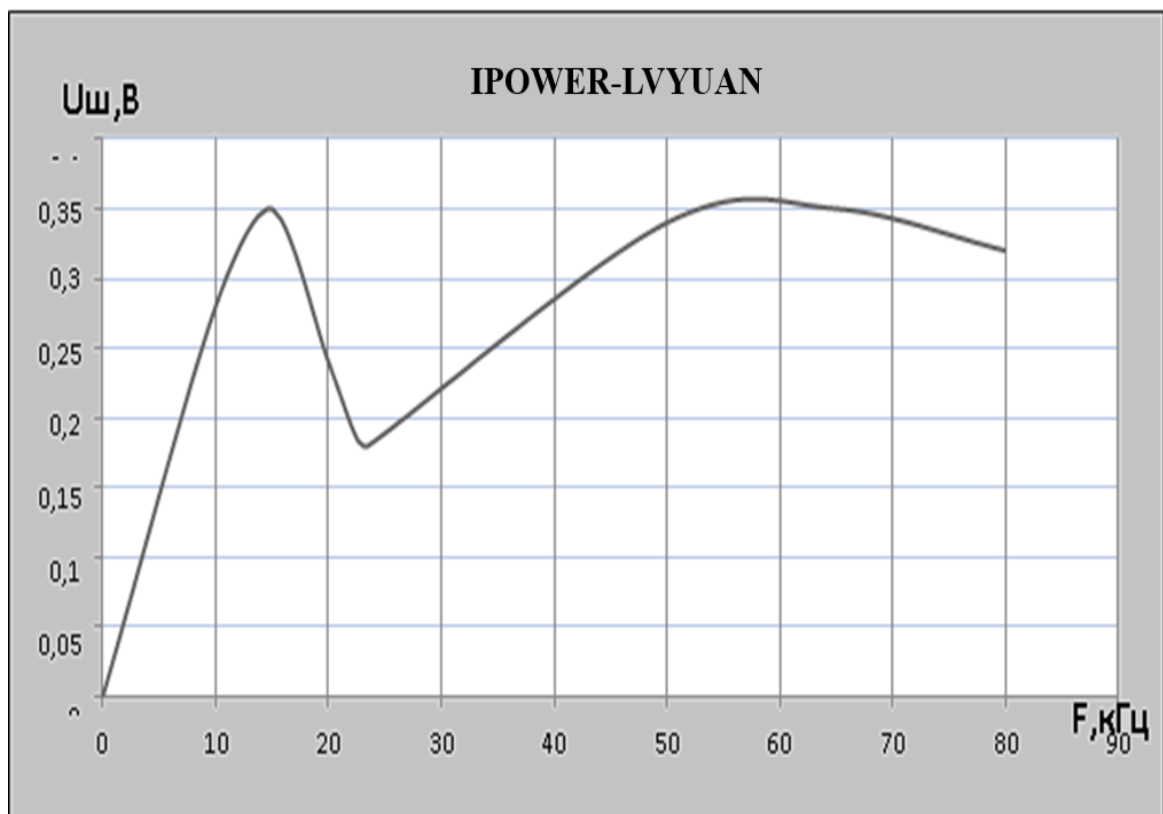


Рис. 2.21. АЧХ блоку IPOWER-LVYUAN за номінальних значень параметрів вхідного фільтра

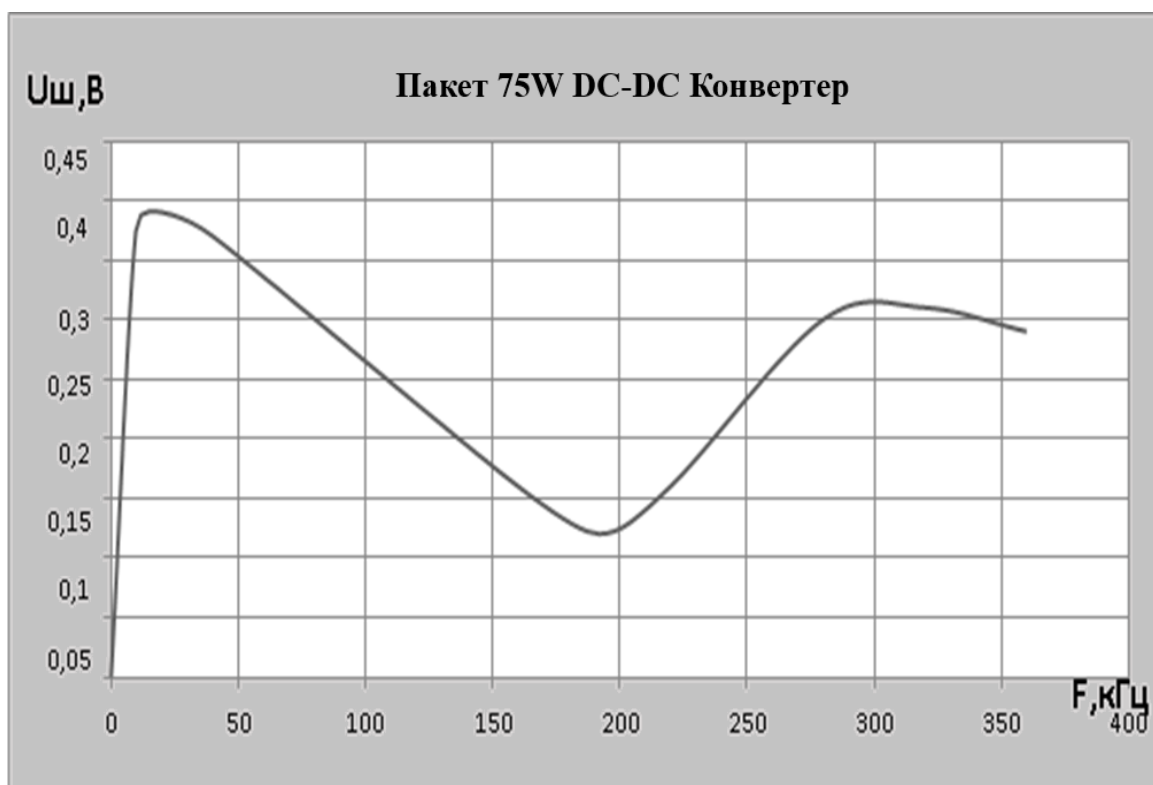


Рисунок 2.22. АЧХ блоку МДМ320-1М27ТУП за номінальних значень параметрів вхідного фільтра

Наведені графіки показують, що АЧХ вхідних каскадів ВІП мають характерну форму, вигляд якої визначається повним вхідним імпедансом схеми. Наявність явно виражених резонансних точок дає змогу оцінити й у перспективі прогнозувати стани (відмови та зміну параметрів) елементів електричної схеми .

На наступному етапі експериментальних досліджень проводили математичне моделювання в середовищі MatLabSimulink, яке імітувало вплив різних відмов на АЧХ вхідного каскаду ВІП (значення вхідного імпедансу блоку) блоку IPOWER-LVYUAN.

Для моделювання імпедансу Z було використано параметри фільтра, зазначені на рис. 2.23, і задано коефіцієнт зв'язку (K_c) між обмотками, що дорівнює 0,9. Індуктивності $L1$ намотані на загальному тороїдальному осерді та мають коефіцієнт зв'язку між обмотками близький до одиниці, аналогічно намотані індуктивності $L2$.

Складено принципову схему та визначено значення параметрів схеми, рисунок 2.23.

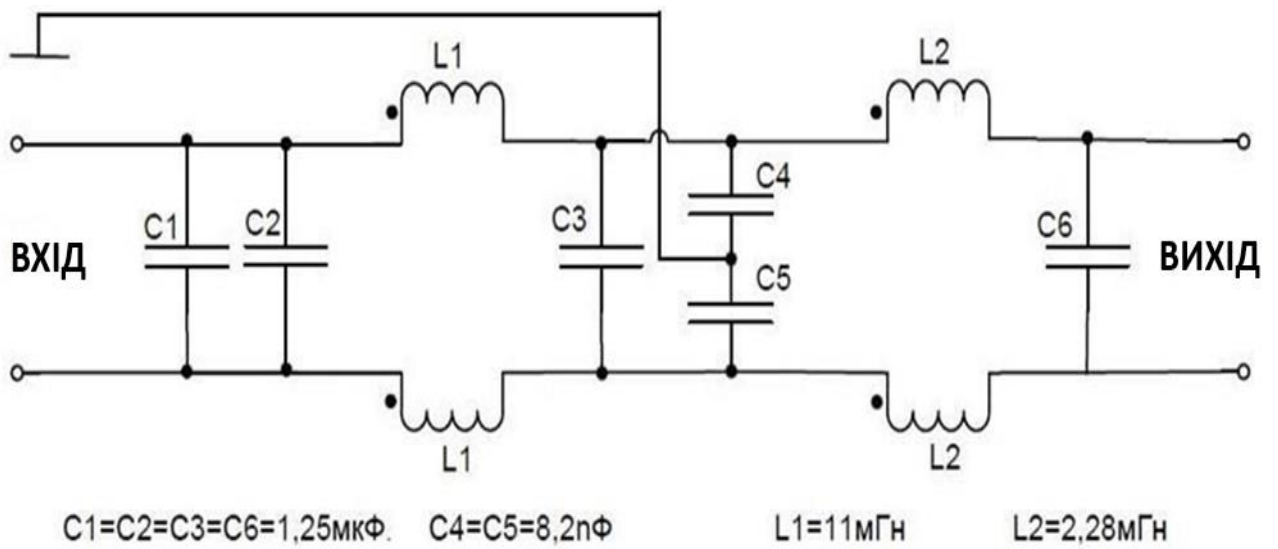


Рисунок 2.23. Принципова схема вхідного фільтра IPOWER-LVYUAN

Для імітації відмов і зміни параметрів фільтра виготовлено випробувальний пульт, який під'єднано до блоку IPOWER-LVYUAN, роботу якого в математичній моделі реалізовано у вигляді логічних функцій. Принципову схему підключення пульта показано на рисунку 2.24.

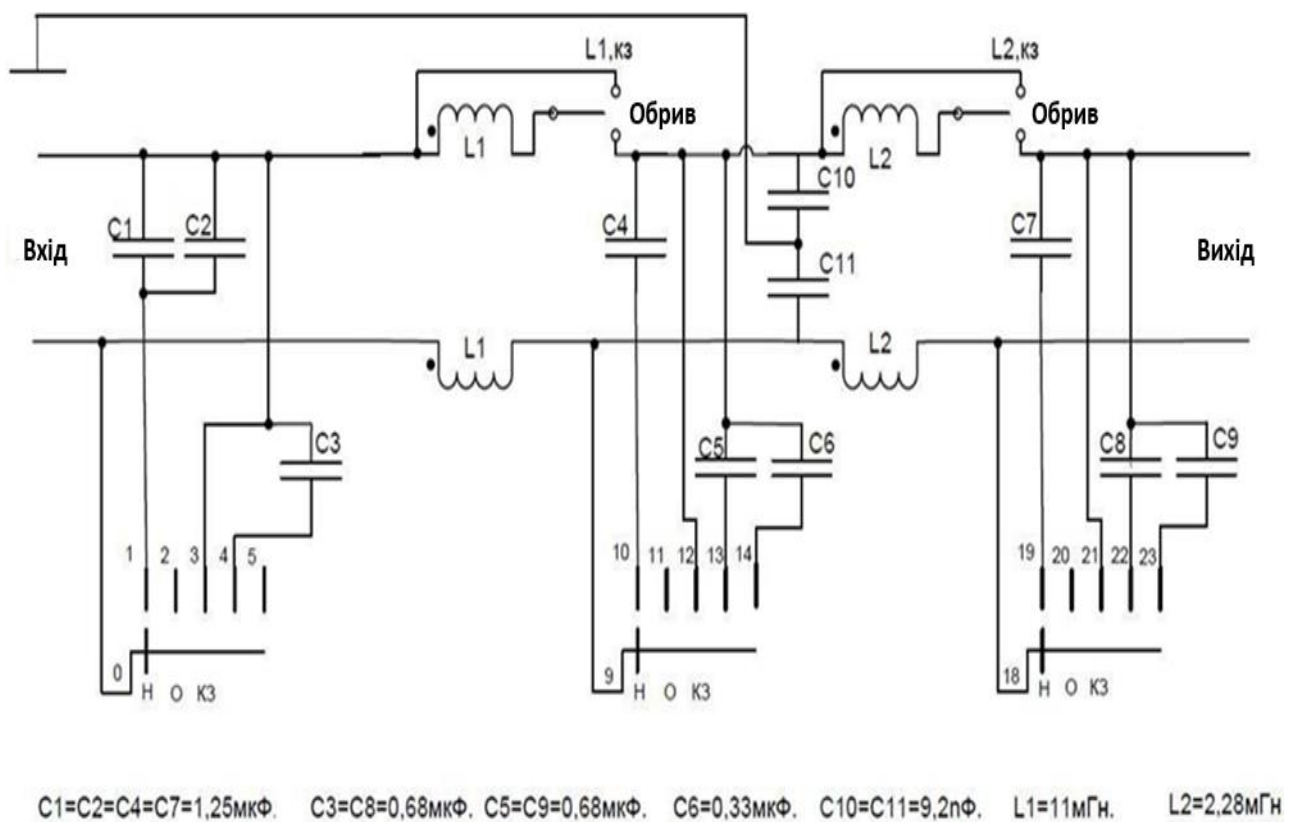


Рис. 2.24. Принципова схема під'єднання пульта до IPOWER-LVYUAN

Для наочності розташування нулів і полюсів на частотній осі вхідний опір блоку під час моделювання обмежувався 20 Омами. Графік залежності показано на рисунку 2.25.

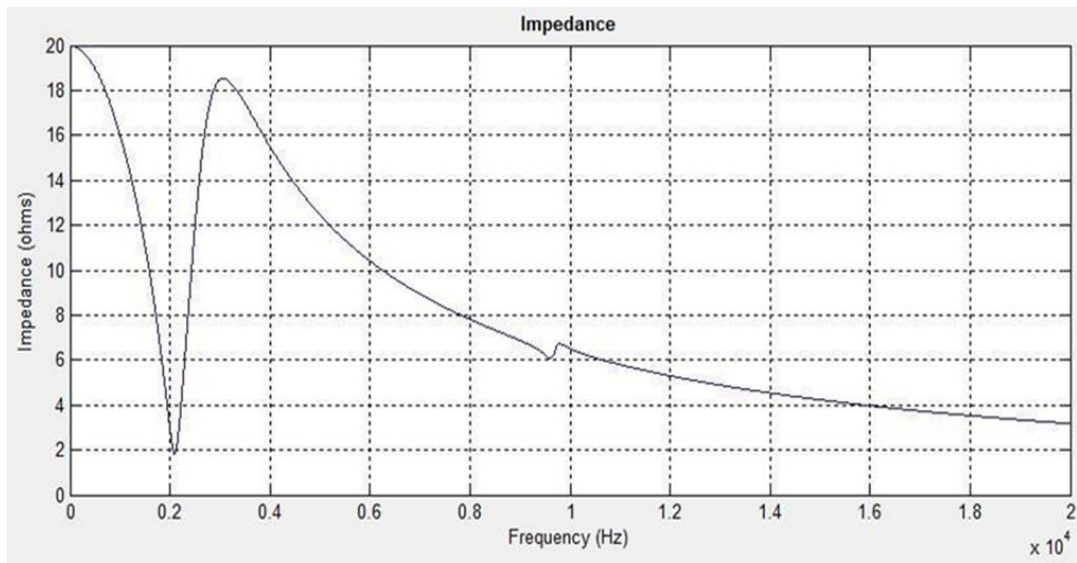


Рис. 2.25. Залежність вхідного імпедансу блоку IPOWER-LVYUAN для коефіцієнта зв'язку $K_c=0.9$

Отримана залежність сильно відрізняється за розташуванням нулів і полюсів від експериментальних даних на рис. 2.21, що пов'язано з обраним значенням K_c . Вплив K_c на АЧХ фільтра показано так само на рисунку 2.26 і на рисунку 2.27, де K_c відповідно дорівнюють 0,99 і 0.9983.

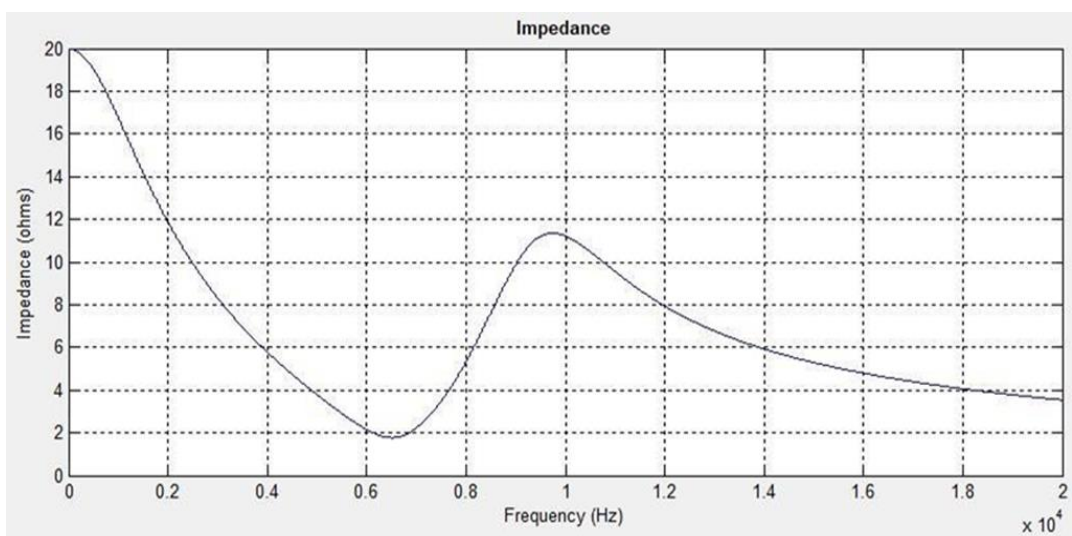


Рис. 2.26. Залежність вхідного імпедансу блоку IPOWER-LVYUAN для коефіцієнта зв'язку $K_c=0,99$

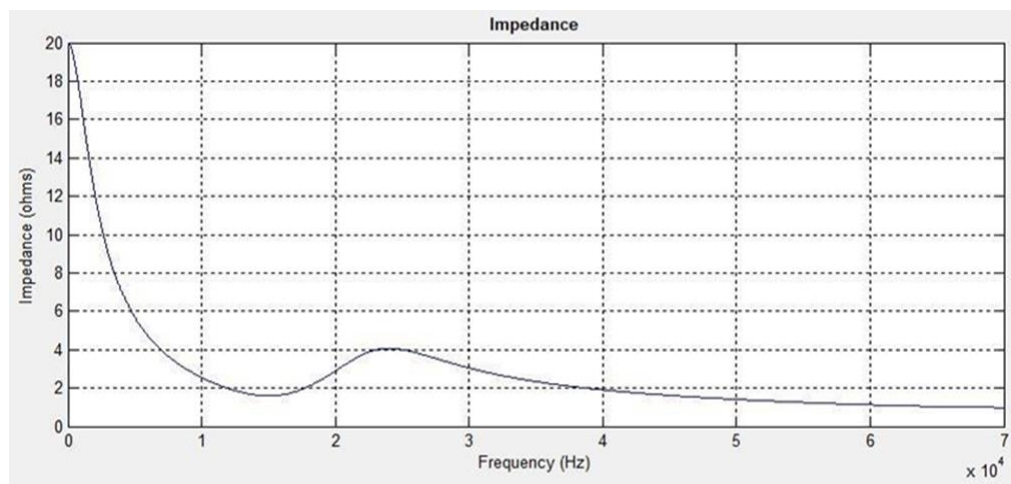


Рис. 2.27. Залежність вхідного імпедансу блока IPOWER-LVYUAN для коефіцієнта зв'язку $K_c=0,9983$

Як видно з результатів моделювання, коефіцієнт зв'язку дуже сильно впливає на АЧХ. Для отримання процесів, подібних до реальних, похибка визначення коефіцієнта зв'язку не повинна перевищувати 0,1%, що доволі важко забезпечити.

Характеристика, показана на рисунку 2.27, добре корелюється з експериментальними даними, і тому значення $K_c=0,9983$ використовувалося під час моделювання для досліджень відмов елементів фільтра. На рисунках 2.28-2.31 показано деякі результати моделювання блоку IPOWER-LVYUAN, отримані характеристики близькі до результатів експериментальних досліджень.

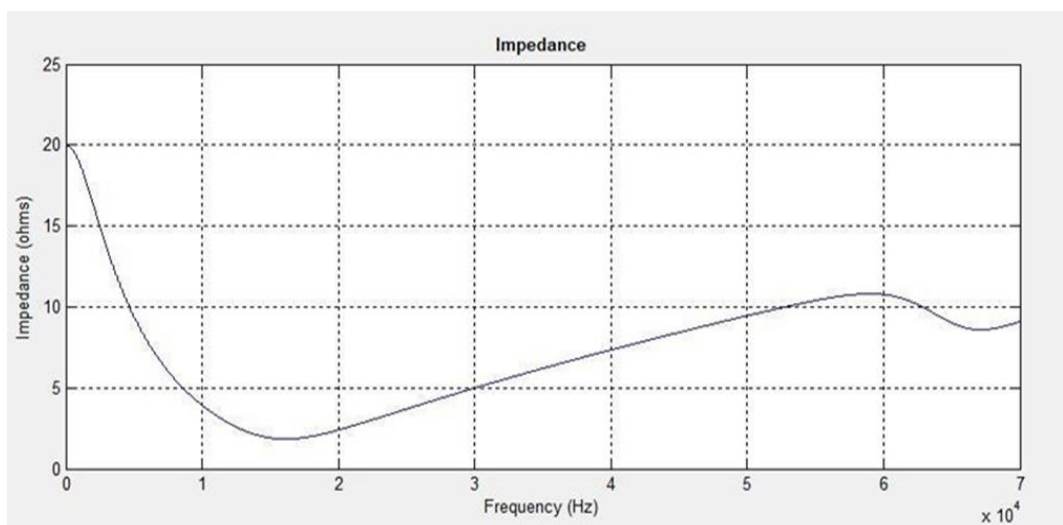


Рис. 2.28. Залежність імпедансу Z блоку IPOWER-LVYUAN від частоти для одночасного обриву конденсаторів C_1 і C_2

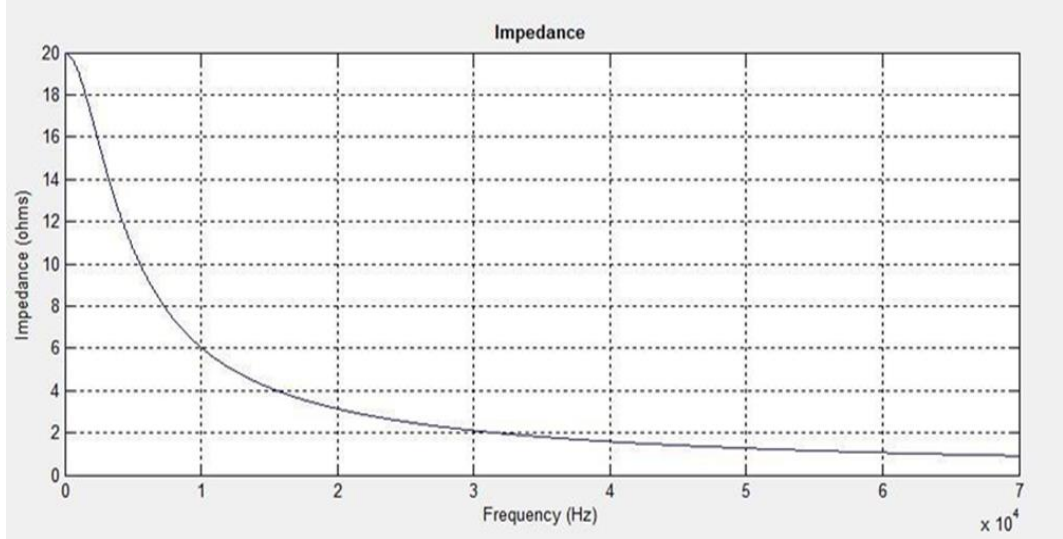


Рис. 2.29. Залежність імпедансу Z блока IPOWER-LVYUAN від частоти в разі обриву L1

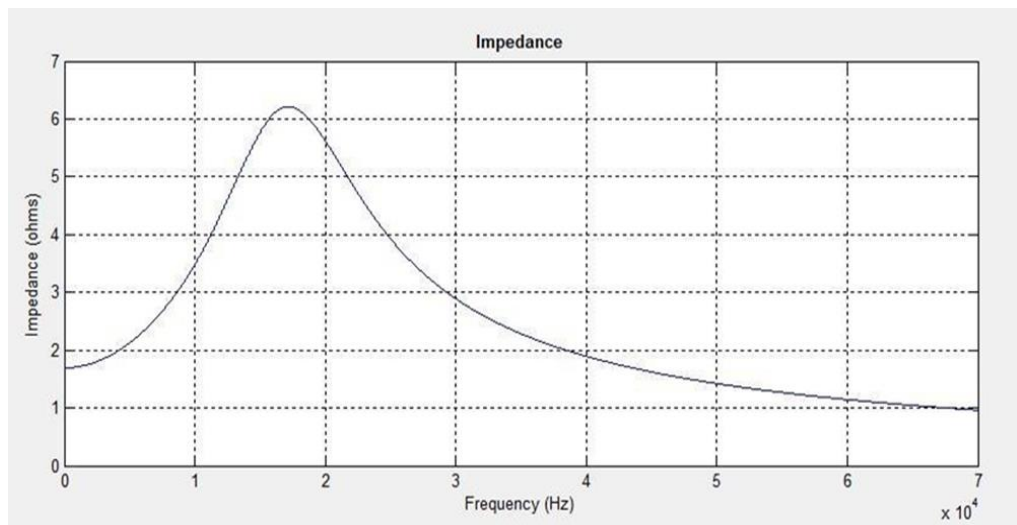


Рис. 2.30. Залежність імпедансу Z блока IPOWER-LVYUAN від частоти при короткому замиканні C4

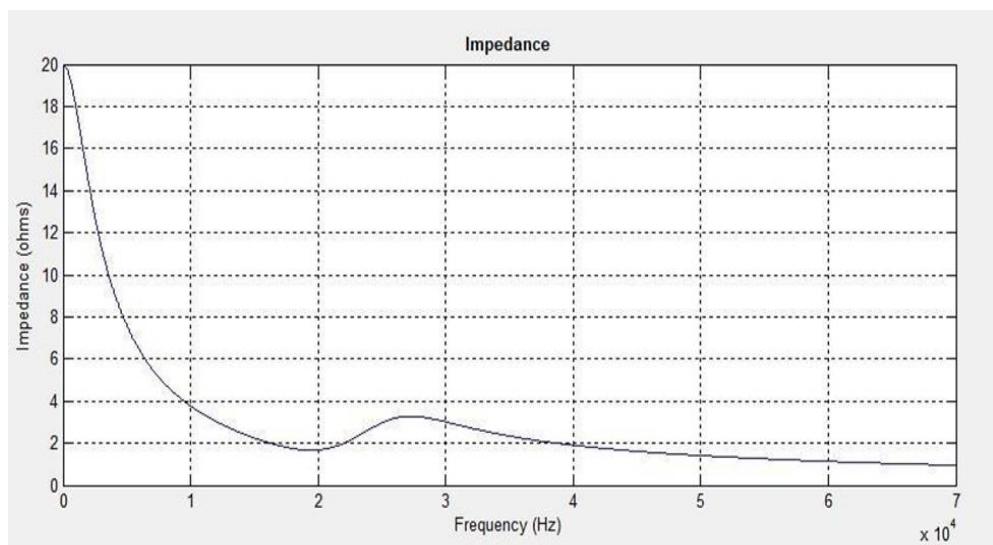


Рисунок 2.31. Залежність імпедансу Z блока IPOWER-LVYUAN від частоти при обриві C4

Результати моделювання показали, що існує характерна залежність вхідного імпедансу ВІП від частоти вхідного сигналу, який у режимі діагностування може подаватися з локальних центрів управління навантаженнями на його вхід. Маючи отриману АЧХ і порівнюючи її з еталонною, можна регулярно відстежувати зміни стану ВІП, зокрема плавні (від старіння і зносу елементів) і стрибкоподібні (у разі відмов типу "коротке замикання" і "обрив").

Для підтвердження достовірності отриманих під час моделювання результатів проведено фізичне моделювання відмов і процесів старіння елементів ВІП.

На рисунках 2.32 - 2.41 показано АЧХ блока IPOWER-LVYUAN у разі введення відмов і відхилення параметрів від своїх номінальних значень. Номінали вказані для схеми на рисунку 2.23. По осі ординат відкладено напруги на Rш, по осі абсцис – частота генератора G.

Із графіка (рис. 2.32) видно, що обрив конденсаторів C1 і C2 призводить до зміни резонансних частот на АЧХ. У тому разі, якщо ємності конденсаторів істотно зменшилися (рис. 2.33), наприклад, унаслідок старіння, то характер АЧХ загалом не зміниться, а значення резонансних частот змінюються.

Аналогічні експериментальні дослідження (рис. 2.34 – 2.39) під час обривів, коротких замикань і зміни параметрів конденсаторів C4 і C7, показують, що всі стани, пов'язані зі змінами параметрів цих елементів, також безпосередньо впливають на форму АЧХ, зокрема на значення резонансних частот і амплітуди.

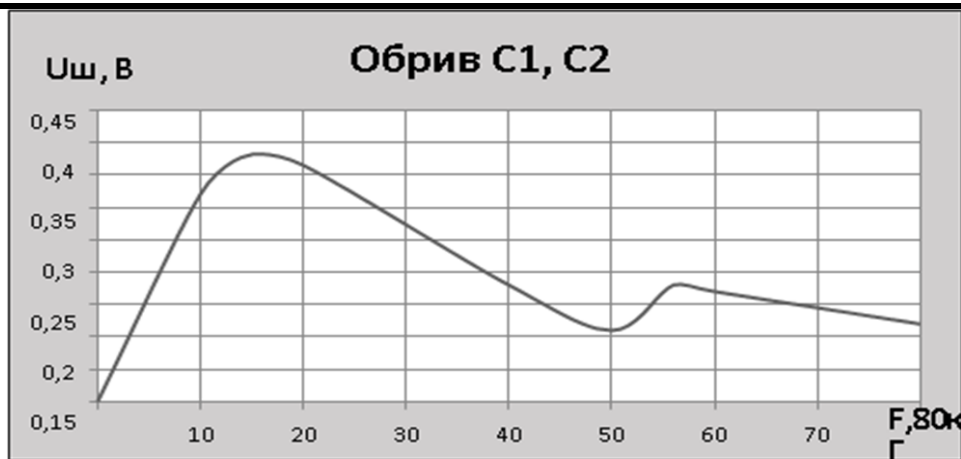


Рис. 2.32. АЧХ блока IPOWER-LVYUAN за одночасного обриву конденсаторів C1 і C2

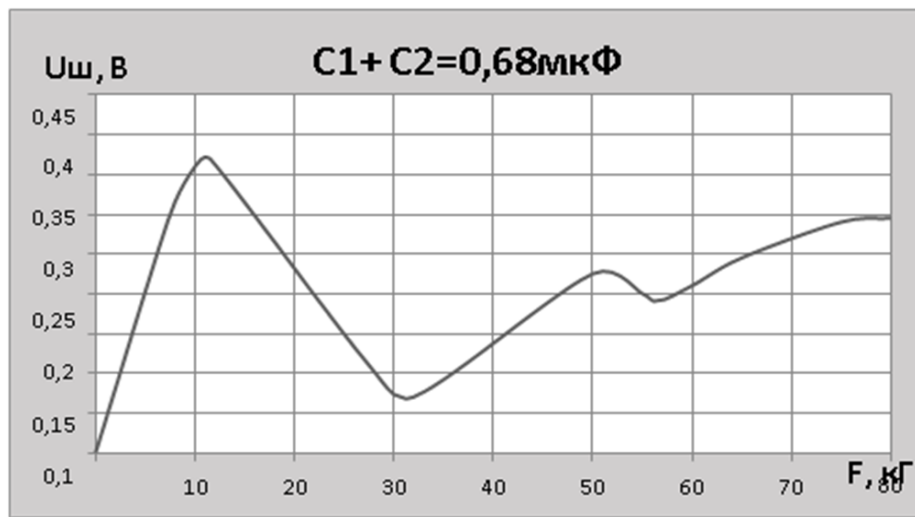


Рис.2.33. АЧХ блока IPOWER-LVYUAN у разі зменшення ємності конденсаторів C1, C2 у 4 рази

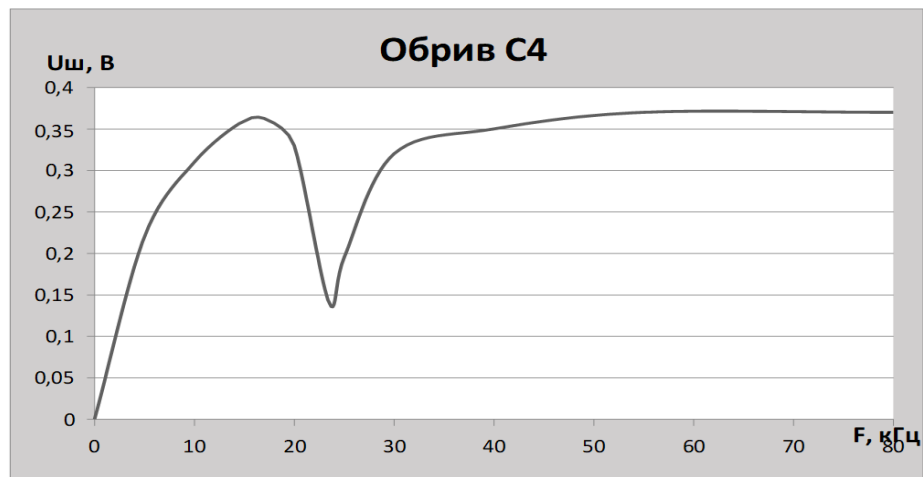


Рис. 2.34. АЧХ блока IPOWER-LVYUAN у разі обриву конденсатора C4

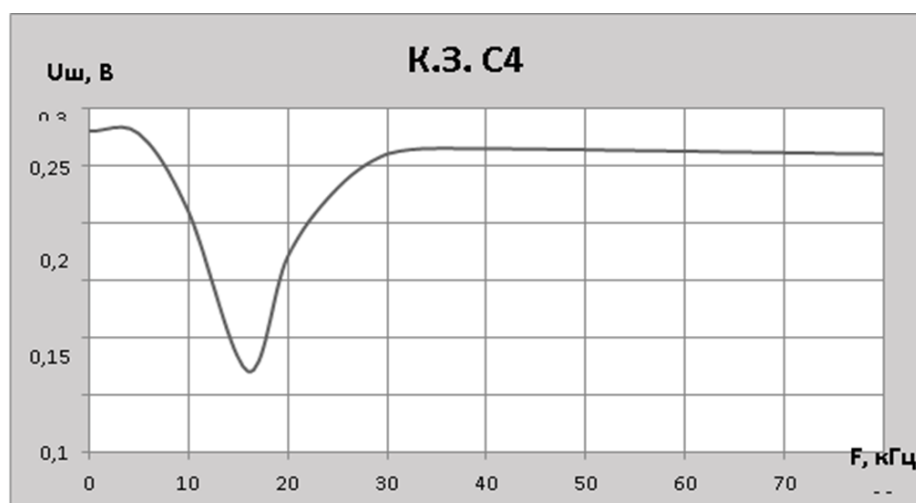


Рис. 2.35. АЧХ блока IPOWER-LVYUAN при короткому замиканні конденсатора C4

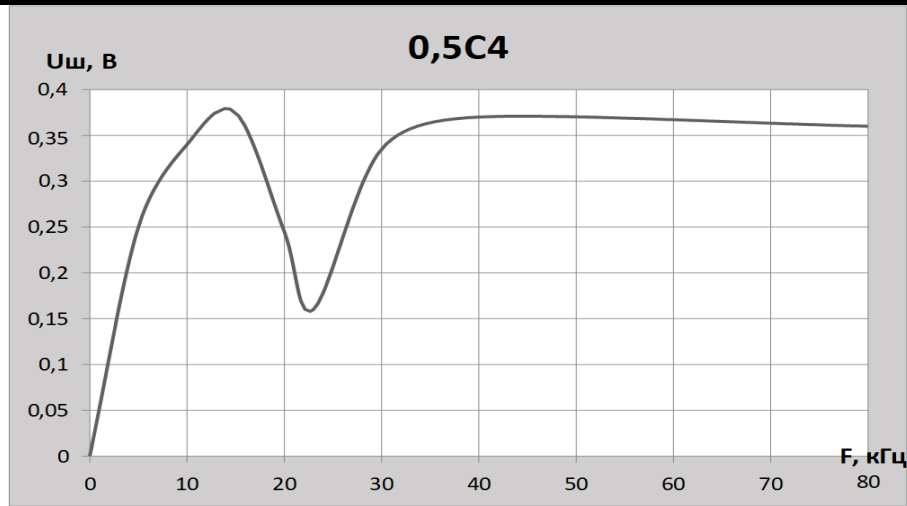


Рис.2.36. АЧХ блока IPOWER-LVYUAN у разі зменшення ємності конденсатора С4 удвічі

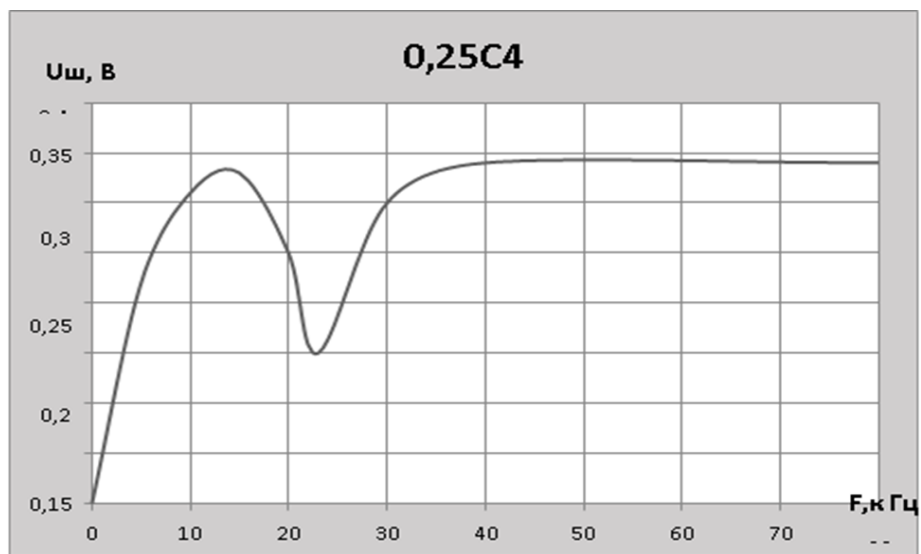


Рис.2.37. АЧХ блока IPOWER-LVYUAN у разі зменшення ємності конденсатора С4 у 4 рази

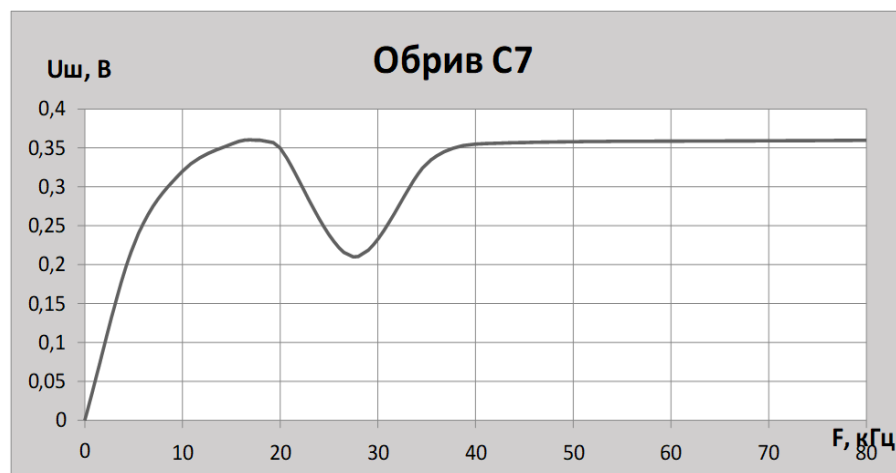


Рисунок 2.38. АЧХ блока IPOWER-LVYUAN у разі обриву конденсатора С7

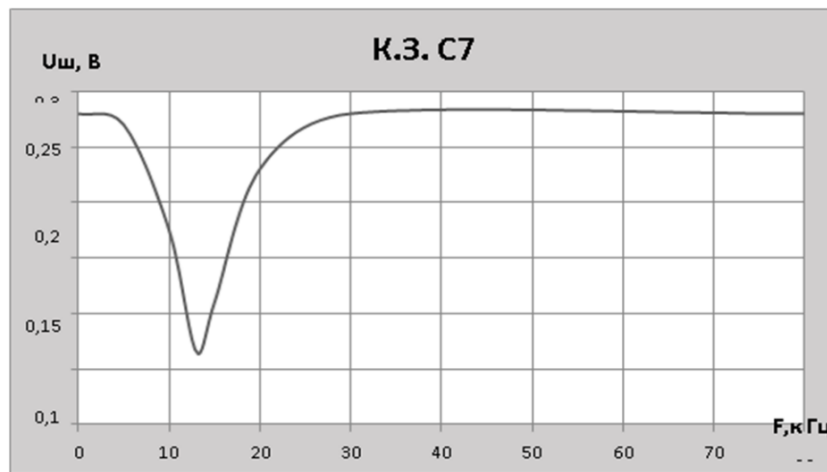


Рис. 2.39. АЧХ блока IPOWER-LVYUAN при короткому замиканні конденсатора C7

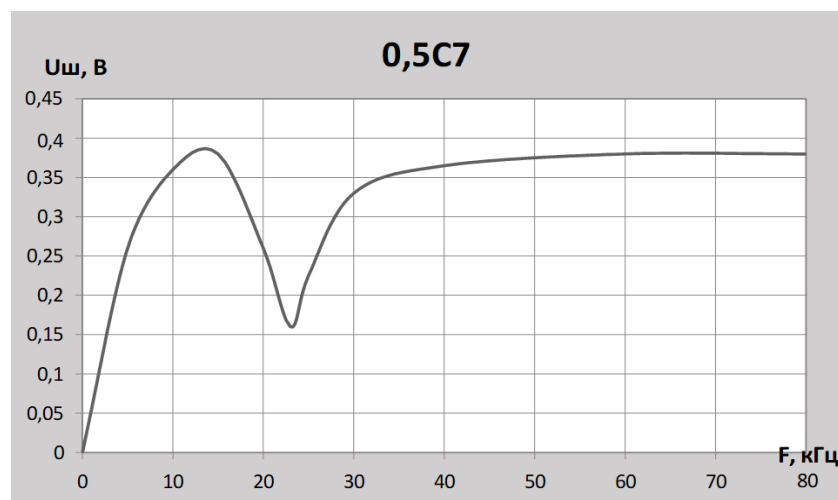


Рис.2.40. АЧХ блока IPOWER-LVYUAN у разі зменшення ємності конденсатора C7 у 2 рази

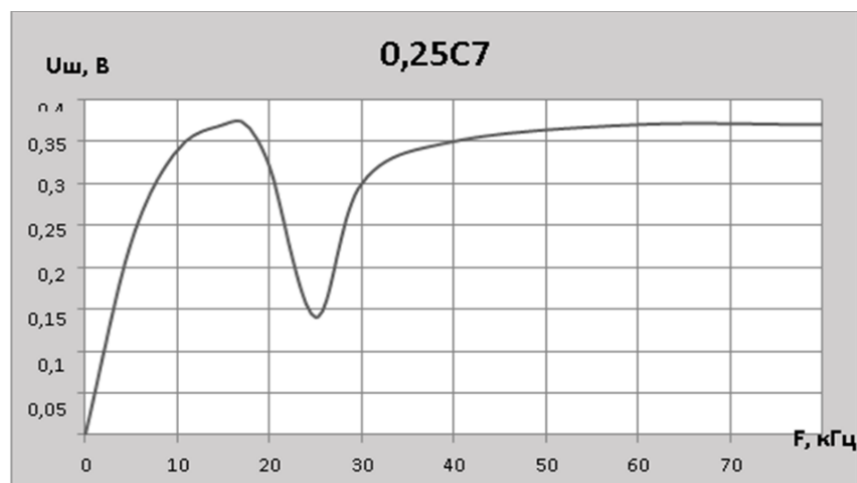


Рис.2.41. АЧХ блока IPOWER-LVYUAN у разі зниження ємності конденсатора C7 у 4 рази

Слід зазначити, що глибина контролю цього методу обмежена випрямним мостом . Аналогічні висновки можна зробити і на основі експериментальних досліджень при обривах індуктивних елементів вхідних каскадів приймачів електроенергії (рис. 2.42, 2.43). Підвищення рівня частот перетворення електроенергії у зв'язку з поліпшенням магнітних і електричних властивостей магнітопроводів дроселів і трансформаторів посилює вимоги до стабільності характеристик цих елементів. Тому оцінка їхнього стану не менш важлива, ніж оцінка стану ємнісних фільтрів.

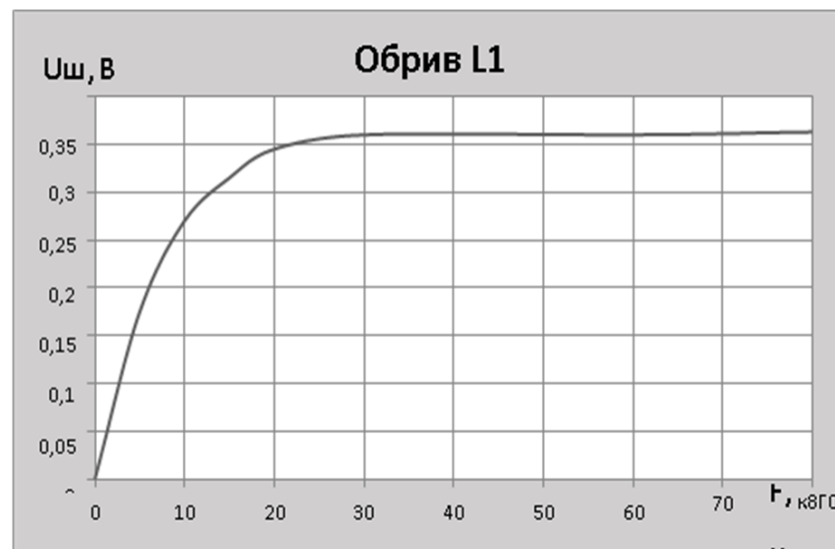


Рисунок 2.43. АЧХ блока IPOWER-LVYUAN у разі обриву верхньої індуктивності L1

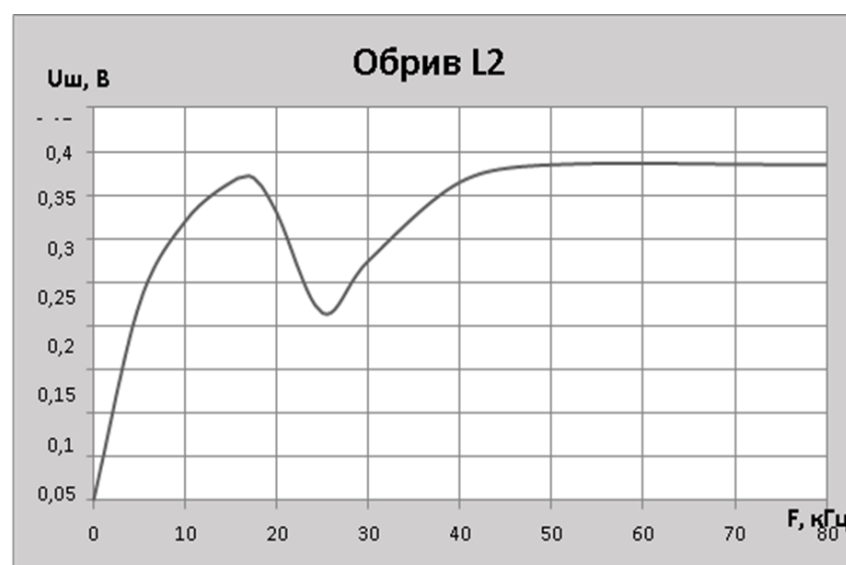


Рисунок 2.44. АЧХ блока IPOWER-LVYUAN у разі обриву індуктивності L2

ВИСНОВКИ ДО 2 РОЗДІЛУ:

1. Вимірювання амплітудно-частотних характеристик дає змогу діагностувати з певним ступенем точності поступові відмови, що характеризуються поступовою зміною параметрів технічного стану та зумовлені зношуванням або старінням матеріалу деталей чи вузлів електрообладнання. Відстежуваними параметрами діагностування є зміни полюсів характеристичного рядка об'єкта в процесі періодичного контролю.

2. Проведені експериментальні дослідження підтверджують висунуту гіпотезу про можливість діагностування стану вхідних каскадів споживачів з боку системи розподілу електроенергії.

3. Отримані експериментально результати корелюються з результатами математичного моделювання, що підтверджує адекватність обраних у роботі моделей.

4. Реалізація алгоритмів контролю та діагностики технічного стану на основі частотного підходу пов'язана з необхідністю впливу синусоїдального сигналу в заданому діапазоні частот і може бути реалізовано шляхом введення в ЛЦВПН додаткового апаратного та програмного забезпечення, тобто повного перероблення схемотехнічних і функціональних рішень.

РОЗДІЛ 3. МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАРАМЕТРІВ КІЛ ЖИВЛЕННЯ ВТОРИННИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

3.1 Синтез електричних схем заміщення авіаційного обладнання, побудованих на основі амплітудно-частотних характеристик

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

Тому в роботі 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 є можливим.

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. 3.1).

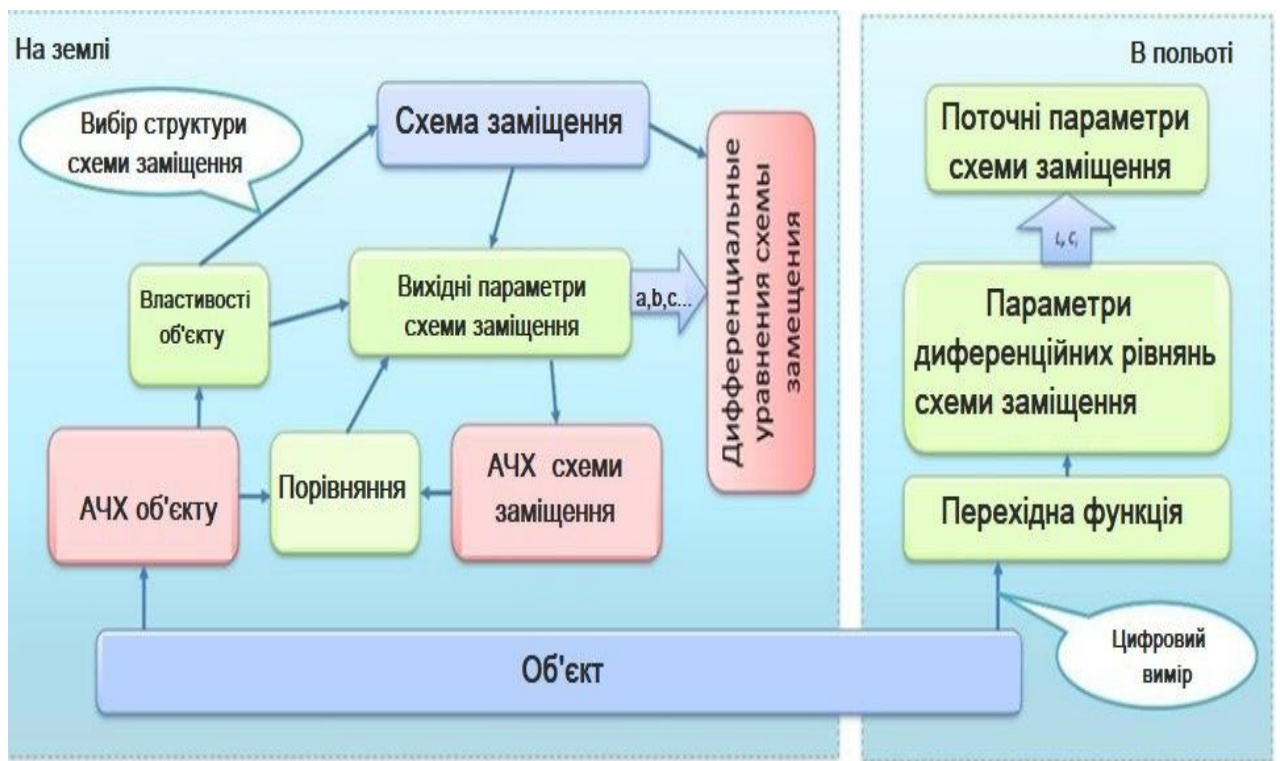


Рис. 3.1. Методика визначення параметрів еквівалентних електричних схем заміщення

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 безліч 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.

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 тимчасовій 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 [11].

Реальна АЧХ визначається номінальними (розрахунковими) значеннями параметрів досліджуваного об'єкта, допустимими (технологічними) відхиленнями параметрів, вимірювальними та обчислювальними помилками, 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 [22]. За формою АЧХ (наявності, 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 малюнку 3.2.

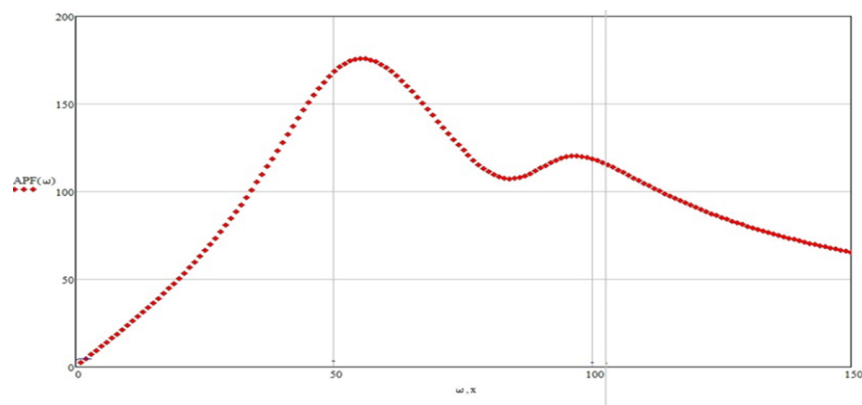


Рис. 3.2. АЧХ частотного фільтра

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 двополюсника у функції частоти.

Розглядаючи характеристику, зазначену на рисунку 3.2, 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. 3.3), використовуючи I канонічну схему Кауера, у якій у поздовжніх плечах розташовуються індуктивні елементи, а в поперечних плечах розташовуються ємнісні елементи [22].

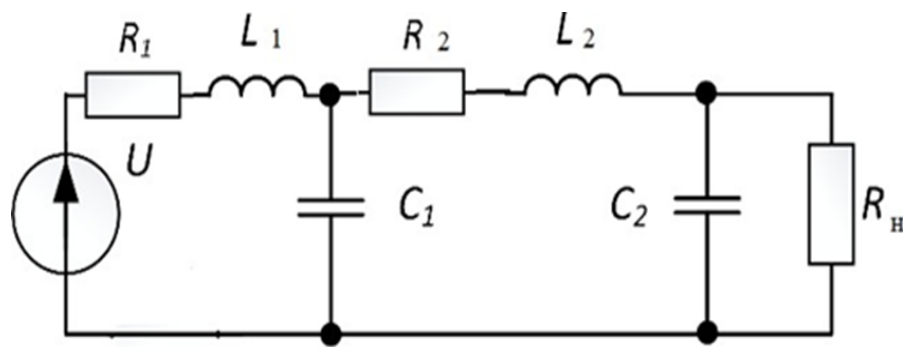


Рис. 3.3. Електрична схема заміщення

Варто зазначити, що в схемі з безліччю реактивних елементів не буде АЧХ за амплітудою з великою кількістю екстремумів.

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.

3.2 Визначення чутливості зміни контрольованих параметрів від виміряних

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. Для оцінки впливу змін характеристик пристроїв на зміну параметрів елементів вводиться поняття чутливості [12]. Детально про це написано в підрозділі 2.2 цієї роботи.

Під час розв'язання цієї задачі використовували ПЗ Scilab 6.1.1. Під час дослідження було отримано такі графіки: рис. 3.4 і рис. 3.5.

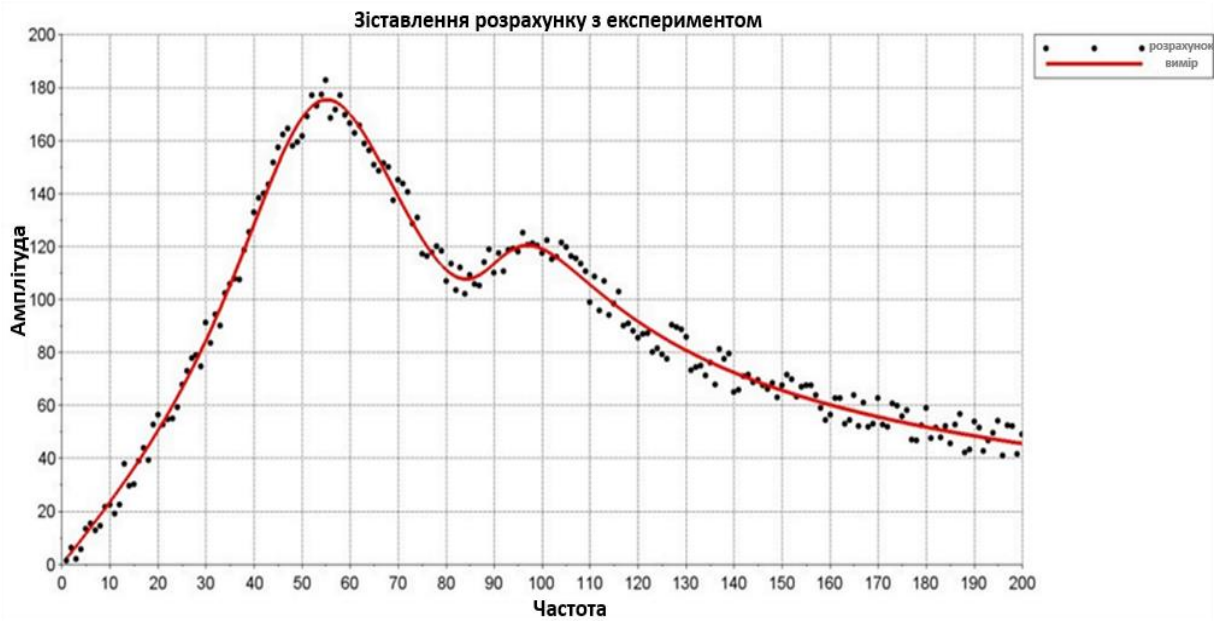


Рисунок 3.4. Графік апроксимації АЧХ

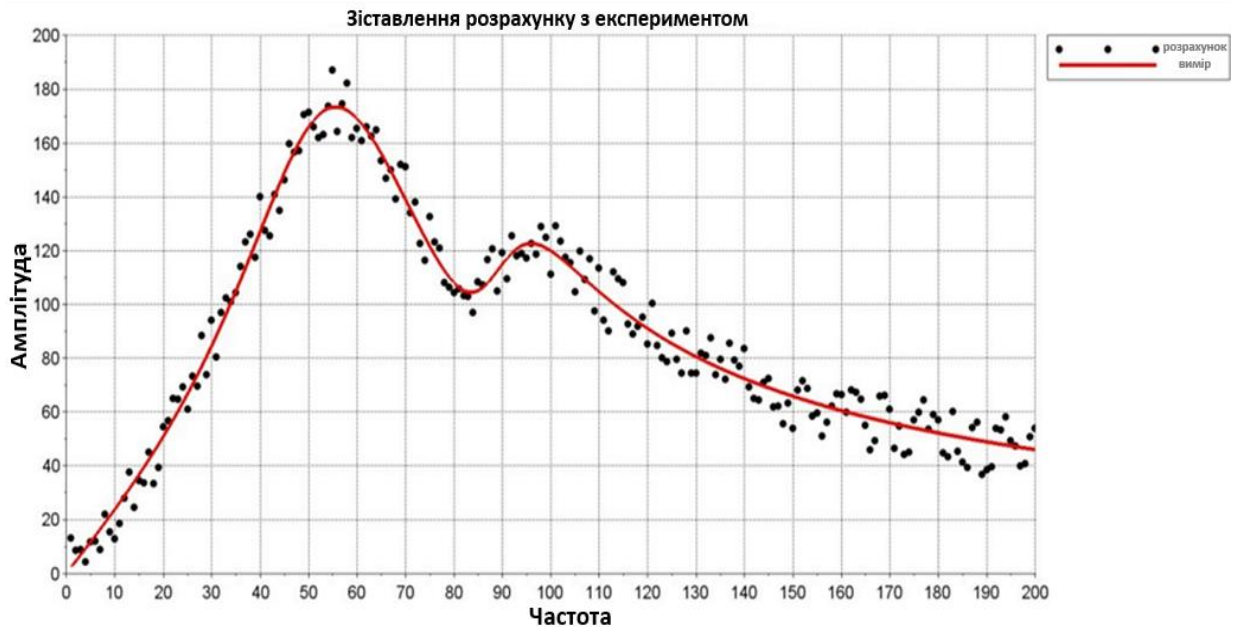


Рисунок 3.5. Графік апроксимації з похибкою 7,5

Під час імітації зміни параметрів в експериментально знятій АЧХ (рис. 3.5) усі коефіцієнти змінять свої значення, оскільки вони повністю визначаються вихідними даними.

У середовищі Scilab 6.1.1 було отримано шукані параметри за різних похибок вимірювання. Змінюючи похибки, отримують різні відхилення, на підставі чого можна побачити, як змінюються параметри (R, L, C) залежно від точності вимірювань (рис. 3.6) [22].

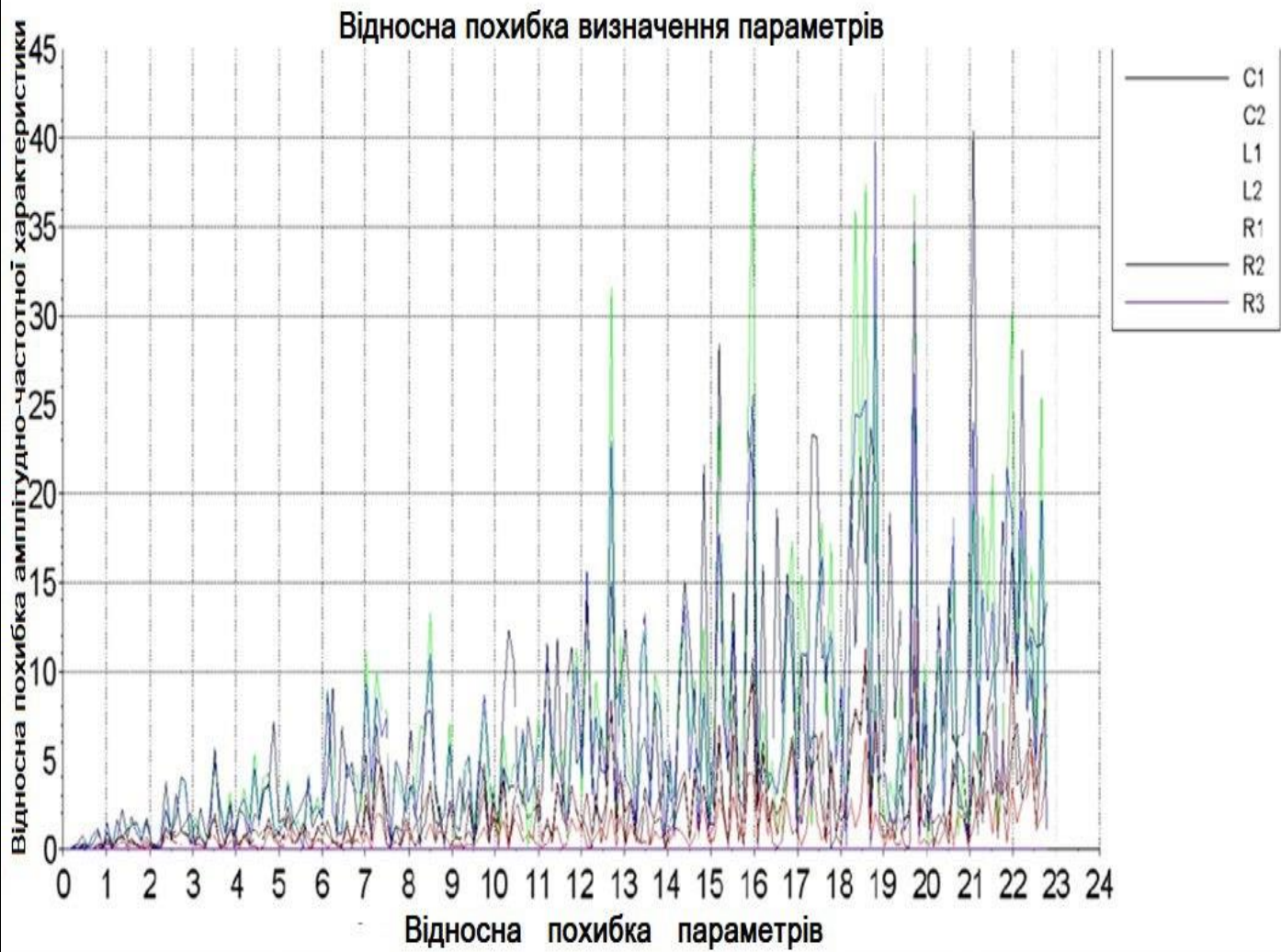


Рис. 3.6. Відносна похибка визначення параметрів R, L, C

На рис. 3.6 можна побачити великий розкид. Наприклад, у разі збільшення відносної похибки параметрів різко зростає відносна похибка амплітудно-частотної характеристики. Найбільш схильні до цих змін параметри реактивних елементів, такі як: C1, C2 і L1, L2. Це пояснюється тим, що похибки варіювалися на інтервалі від 0,5 до 17,5. Під час імітації процесу вимірювання за яким будувалася вихідна АЧХ, візьмемо за приклад параметр C2 за його максимальної відносної похибки 16%, його відносна похибка АЧХ дорівнюватиме 32,5%. Такі висновки щодо визначення чутливості зміни параметрів можна зробити за кожним шуканим параметром схеми заміщення. Тим самим на підставі цього графіка можна простежити чутливість зміни параметрів R, L, C залежно від точності вимірювань [22]

3.3 Формування аналітичної залежності споживаного струму і напруги від параметрів об'єкта досліджень на основі методу граничних станів

У підрозділах 2.3 і 2.4 докладно розглядався частотний метод для діагностування параметрів вторинних джерел живлення системи розподілу електроенергії на ПС. Однак зазначений метод вимагає тестових впливів і використання додаткового обладнання.

Розглянемо підхід, який не потребує зміни апаратної конфігурації наявного обладнання та не потребує використання стимулювальних сигналів, тому належить до класу пасивних методів, що не знижують надійність системи. Подальше дослідження проводять, виходячи з гіпотези про те, що відносне відхилення параметрів реактивних елементів вихідної схеми спричиняє таку саму відносну зміну параметрів реактивних елементів електричною схемою заміщення, отриманою за умови виконання умови ідентичності АЧХ і їхніх вхідних імпедансів.

Аналітичне розв'язання диференціальних рівнянь необхідне для отримання залежності контрольованих параметрів схеми від вимірюваних. Вважаємо, що схема заміщення задана у вигляді простого частотного фільтра (рис. 3.7), його параметри визначено. Для цієї схеми можна розглянути 2 способи визначення значень реактивних параметрів – за синусоїдальної вхідної напруги та за постійної напруги. Перший варіант – використання рівнянь схеми заміщення в складній формі, при цьому визначення реактивних елементів можливе за рахунок зміни частоти вхідної напруги.

Розглянемо другий варіант, за якого вхідною напругою є постійна напруга бортової мережі, яка може змінюватися залежно від режимів роботи системи електропостачання. Розглянутий споживач електроенергії, електрична схема вхідних ланцюгів підключається до мережі і відключається відповідно до заданої програми її роботи. Підключення моделюється шляхом замикання перемикача в схемі заміщення, і починається перехідний процес, який математично описується

диференціальним рівнянням, порядок якого визначається кількістю реактивних елементів у ланцюзі заміщення (рис. 3.7).

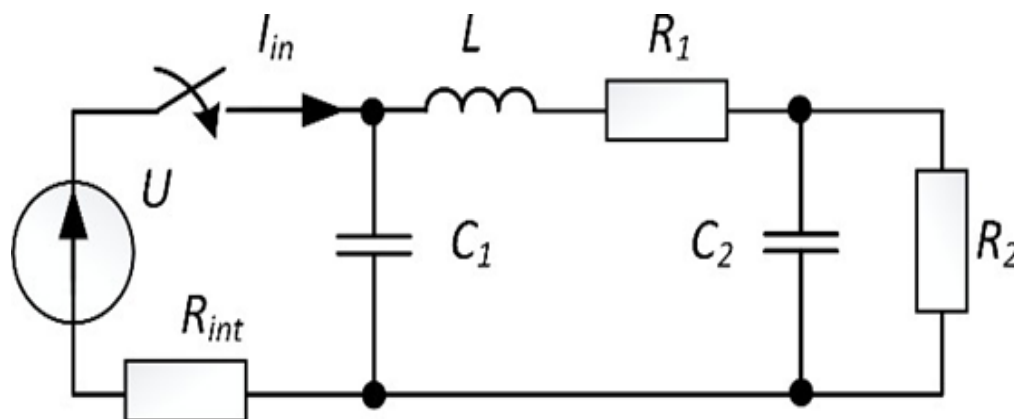


Рис. 3.7. Електрична схема заміщення вхідних кіл вбудованого блока живлення

Припускаючи, що значення параметрів схеми заміщення і напруги живлення не змінюються під час перемикання, система диференціальних рівнянь, що описують перехідний процес, являє собою лінійне неоднорідне диференціальне рівняння, у якому права частина є константою.

Для отримання аналітичної залежності між вхідним струмом, необхідною кількістю вищих похідних і значеннями параметрів реактивних елементів у схемі заміщення використовували метод граничних станів [14].

Перевага методу граничних станів полягає в тому, що можна отримати аналітичні вирази для струму і напруги у будь-якій частині лінійного електричного кола, використовуючи процедури розмикання та замикання будь-якого елемента електричного кола.

3.4 Застосування цифрових портретів для діагностування авіаційного електрообладнання

Рівень розвитку науки і техніки дає змогу створювати математичні моделі, що описують із високим ступенем адекватності поведінку виробів промисловості на всіх стадіях життєвого циклу [5].

Розроблювані математичні моделі можуть відображати різні характеристики та властивості виробів. Об'єднуючи різні математичні та комп'ютерні моделі в єдину систему, можна отримати нову сутність – цифровий двійник, що дає змогу всебічно описати виріб і системно підійти до розроблення, виробництва та експлуатації виробів [5].

Застосування цифрових двійників дає змогу обґрунтовувати ухвалені рішення завдяки швидкій перевірці змін, що вносяться в конструкцію виробу та його складових частин під час цифрових випробувань, і аналізувати вплив змін показників одних складових частин на інші. Крім того, за допомогою цифрового двійника можливо визначити критичні зони та оптимальну кількість датчиків, яку необхідно розмістити на виробі для збору даних для подальшого використання з метою забезпечення технічної експлуатації та модернізації виробу.

Впровадження технології цифрових двійників на стадії розроблення виробу дасть змогу поліпшити якість проектування виробу, забезпечити виконання технічних і тактико-технічних вимог, скоротити кількість і підвищити результативність випробувань досліду зразка, які проводять, і опрацювання конструкторської документації виробу на технологічність [5].

Сучасний рівень розвитку науки і техніки дає змогу створювати математичні та комп'ютерні моделі, що описують з високим ступенем адекватності поведінку виробів на всіх стадіях життєвого циклу. Об'єднавши різні математичні та комп'ютерні моделі в єдину систему, можна отримати цифровий двійник, який дає змогу всебічно описати виріб і системно здійснити його розробку, виробництво та експлуатацію [6].

В основі цифрового двійника лежить його цифровий портрет - система математичних та/або комп'ютерних моделей, що описує структуру, функціональність і поведінку обладнання, яке знову розробляють або експлуатують, на різних стадіях життєвого циклу.

Математична модель цифрового портрета, як і будь-яка математична модель, є системою диференціальних рівнянь, що пов'язують параметри та структуру електричних схем заміщення з вимірюваними параметрами [19].

Використання аналітичних залежностей для визначення контрольованих параметрів, на відміну від чисельних рішень, дає змогу значно знизити вимоги до обчислювальної потужності використовуваних мікропроцесорів системи розподілу живлення, а також підвищити швидкодію алгоритмів діагностики. Для отримання аналітичних рішень зазвичай використовують методи символного аналізу, який також використовують для проектування аналогових схем, як засіб отримання інформації про поведінку схеми тощо.

3.5 Розроблення методу діагностування стану споживачів електроенергії в системах розподілу ЛА

Виконані дослідження з оцінки можливості діагностування приймачів електроенергії частотним методом, а також дослідження, спрямовані на визначення параметрів еквівалентних електричних схем заміщення та методику формування цифрових двійників кіл живлення ПЕЕ, які в процесі функціонування постійно верифікуються на основі цифрових вимірювань параметрів перехідних процесів, дали змогу отримати методику їх діагностування (рис. 3.12).

Методика діагностування споживачів електроенергії полягає в послідовності виконання низки завдань, частина з яких є підготовчими (зняття АЧХ діагностованого пристрою, синтез і визначення параметрів схеми заміщення, завантаження цих параметрів у бортовий мікропроцесор цифрового комутаційного пристрою системи розподілу - у цифровий двійник), а решту завдань виконують під час польоту кожного разу під час увімкнення діагностованого пристрою (розрахунок параметрів еквівалентної схеми заміщення, порівняння з еталонними параметрами схеми, порівняння з еталонними параметрами схеми заміщення).

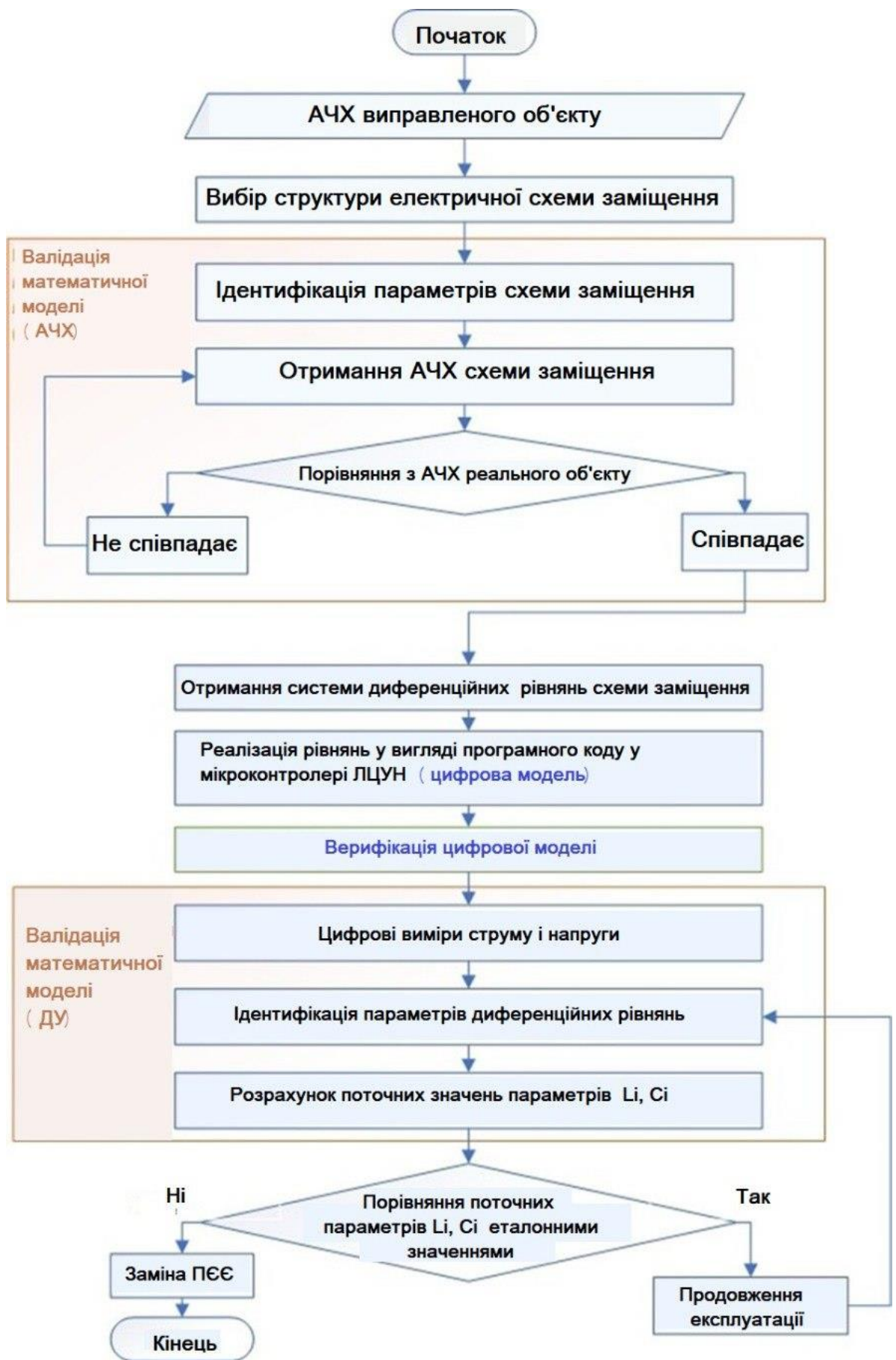


Рис. 3.12. Метод діагностування стану вхідних каскадів споживачів електроенергії

Послідовність реалізації така.

1. Перед початком експлуатації проводять зняття АЧХ справного об'єкта силами розробника або експлуатуючої організації.

2. Вибір структури еквівалентної електричної схеми заміщення за формою експериментально знятої АЧХ імпедансу об'єкта.

3. Валідація математичної моделі АЧХ об'єкта, яка полягає в:

- Ідентифікації параметрів схеми заміщення

- Отримання АЧХ схеми заміщення.

- Порівнянні вихідної АЧХ об'єкта дослідження з АЧХ схеми заміщення.

- Уточнення параметрів схеми заміщення до моменту збігу її АЧХ з АЧХ вихідного об'єкта з урахуванням заданої точності.

4. Отримання системи диференціальних рівнянь еквівалентної схеми заміщення – математичної моделі динаміки.

5. Реалізація рівнянь в вигляді програмного кодуу мікроконтролері ЛЦУН (отримання цифрової моделі).

6. Верифікація цифрової модель на множині тестових експериментальних даних.

7. Валідація динамічної математичної моделі (уточнення параметрів диференціальних рівнянь), зокрема:

- Цифрові вимірювання струму і напруги в перехідному процесі після увімкнення споживача ЕЕ.

- Ідентифікація параметрів диференціальних рівнянь.

- Розрахунок поточних значень параметрів R , L , C еквівалентної схеми заміщення.

8. Визначення працездатності об'єкта дослідження (діагностування) на основі порівняння відхилення поточних значень параметрів еквівалентної схеми заміщення від еталонних (отриманих на етапі синтезу схеми заміщення) з допуском на відносне відхилення цих параметрів (на практиці параметри реактивних елементів у межах працездатності ланцюгів живлення можуть відхилятися до 30%). Конкретні значення допуску визначає розробник об'єкта.

Висновки з 3 розділу:

1. Унаслідок аналізу амплітудно-частотних характеристик вхідних ланцюгів живлення приймачів електроенергії, а також відсутності можливості отримання вихідних електричних схем ухвалено гіпотезу про використання еквівалентних електричних схем заміщення для діагностування зміни параметрів об'єкта діагностування. Еквівалентність забезпечується збігом АЧХ вихідного об'єкта з АЧХ схеми заміщення.

2. Запропоновано методику синтезу еквівалентних електричних схем заміщення на основі канонічних ланцюгових схем, які дають змогу імітувати будь-які АЧХ об'єктів діагностування.

Висновок

Результати дослідження впливу відхилень параметрів реактивних елементів вторинних джерел живлення на функціонування приймачів електроенергії дозволили визначити критичні параметри діагностованих об'єктів (живильних ланцюгів приймачів електроенергії), зокрема:

- дослідження впливу відхилень параметрів реактивних елементів живильних ланцюгів ВІП на працездатність приймачів електроенергії дозволило визначити значення критичних відхилень цих параметрів, які характеризують перехід приймачів електричної енергії в непрацездатний стан;

- показано, що похибка визначення контрольованих параметрів електричних схем заміщення залежно від похибки вимірювання параметрів АЧХ не перевищує 10%.

Методика використання еквівалентних електричних схем заміщення для отримання цифрових двійників вхідних ланцюгів приймачів електроенергії за критерієм мінімальних відхилень амплітудно-частотних характеристик їх вхідного імпедансу від АЧХ вихідного приймача електроенергії дозволила отримати універсальну модель цифрового двійника для живильних ланцюгів приймачів електроенергії в умовах відсутності інформації про їх принципові електричні схеми.

Застосування єдиного алгоритму методу граничних станів для розрахунку реактивних параметрів на основі отриманих частотних функцій і диференціальних рівнянь перехідних процесів в електричних ланцюгах з реактивними елементами підтверджує можливість використання універсального методу дослідження об'єктів діагностики як у частотній, так і у часовій областях.

Метод діагностики споживачів електроенергії на основі інформації про миттєві значення споживаного струму та напруги в цифрових інтелектуальних системах розподілу електроенергії, що базується на застосуванні еквівалентних електричних схем заміщення (з точки зору еквівалентності АЧХ), дозволяє розширити можливості діагностики приймачів електроенергії засобами бортових цифрових інтелектуальних систем розподілу без зміни їх апаратної архітектури

шляхом доробки програмного забезпечення. Застосування запропонованого методу дозволяє доповнити можливості систем вбудованого контролю приймачів електроенергії і, отже, збільшити повноту їх діагностики.

Результати експериментальних досліджень підтвердили принципову можливість реалізації розробленого методу діагностики вхідних ланцюгів приймачів електроенергії в цифрових інтелектуальних системах розподілу електроенергії.

Використання розробленого методу при розробці нових та модернізації існуючих цифрових інтелектуальних систем розподілу електроенергії з метою підвищення повноти діагностики приймачів електроенергії в режимі реального часу дозволить істотно підвищити безпеку польотів та значно знизити експлуатаційні витрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волкова В. М. Теорія систем / В. М. Волкова, А. А. Денисов. М.: Вища школа, 2006 - 511 с.
2. Вбудований контроль цифрових систем [Електронний ресурс]. –
Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9135227/page:14/>
3. Вторинне джерело електроживлення. [Електронний ресурс]. –
Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Вторичный_источник_электропитания.
4. Гализдра В. І. Нейронні мережі та апроксимація даних / В. І. Гализдра, Ш. Б. Бабаєв // Науковий вісник МДТУЦА. – 2011. – № 3. – С. 35.
5. Горбунов В. П. Метод підтримання льотної придатності повітряних суден з бортовим цифровим комплексом в умовах екстремально низьких температур: автореферат дисертації канд. тех. наук: 05.22.14; [Місце захисту: МДТУЦА]. – М., 2018. – 22 с.
6. Иванов Ю. П., Нікітін В. Г., Чернов В. Ю. Контроль і діагностика вимірювально-обчислювальних комплексів. Навч. посібник / СПбДУАП. СПб., 2004. 98 с.
7. Левін А. В., Халютін С. П., Жмуров Б. В. Тенденції та перспективи розвитку авіаційного електрообладнання // Науковий вісник МДТУЦА., Vol. 213 (3), 2015. pp. 50-57.
8. Логвін А. І., Гончаров А. В. Підтримка заданого рівня експлуатаційної надійності авіаційного електрообладнання // Науковий Вісник МДТУЦА. – 2013. – № 189. – С. 48-50.
9. Майська О. Р., Гончаров А. В. Моніторинг поточногорівня експлуатаційної надійності авіаційного електрообладнання // Науковий Вісник МДТУЦА. – 2012. – № 185. – С. 48-55.

10.

Машошин О. Ф. Діагностика авіаційної техніки: навчальний посібник. М.: МГТУГА, 2007. 141 с.

11.

Розробка демонстратора системи контролю, діагностики, прогнозування технічного стану споживачів електроенергії. Звіт про НДР, МДТУГА, 2018. 120 с.

12.

Савелова А. А. Застосування локальних центрів управління навантаженнями для контролю приймачів електроенергії. Електроживлення. 2018. №1. С. 4-13.

13.

Савелова О. О., Давидов О. О. "Експериментальні дослідження локальних блоків керування живленням для моніторингу стану електрообладнання" // Електропостачання. 2019. №2. С. 6-21.

14.

Саїдумаров, І. М. Системи вбудованого контролю для інтегрованого комплексу авіоніки / І. М. Саїдумаров, А. А. Умаров.

15.

Халютін С. П. Електрифікація літальних апаратів - від ПЕ-2 до повністю електричного літака. Напрямита дослідження / С. П. Халютін // Електроживлення. - 2018. - №4. - С. 4.

16. Халютін С. П. Електричні та гібридні літаки: перспективи створення / С. П. Халютін, О. О. Давидов, Б. В. Жмуров // Електрика. - 2017. - №9. - С. 4. 17. 111 Avionics Technology: Diagnostic Tools for

17. Next Generation. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: 17/113 <https://www.aviationpros.com/tools-equipment/inspection-testing/article/10357826/avionics-technology-diagnostic-tools-for-the-next-generation>.

18. Esterline Power Systems. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: www.esterline.com.

19.

Pavlova, V. I., Khalyutin, S. P., "Diagnostic of the State of Secondary Power Supplies Input Circuits Parameters Based on Analytical Expressions". International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM, 2021 - June, pp. 305-309.

20. 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, стр. 318–323.

21. Павлова В.И., Старостин И.Е. Методика определения реактивных параметров авиационных потребителей электрической энергии на основе данных о напряжении и токе в переходных процессах // Научный Вестник МГТУГА. 2023. Т. 26, № 3. С. 78–93. DOI: 10.26467/2079-0619-2023

22.

Pavlova, V.I., Khalyutin, S.P., Khalyutina O.S., Starostin I.E., “Investigation of errors in the presentation of electrical equivalent circuits of aviation equipment, built on the basis of amplitude-frequency characteristics”. 2022 IEEE 23rd INTERNATIONAL CONFERENCE OF YOUNG PROFESSIONALS IN ELECTRONIC DEVICES AND MATERIALS (EDM). С. 416-420.

23. [Электронный ресурс]. <https://greenchip.com.ua/>

24 [Электронный ресурс]. <https://www.yuandean.com/uk/category/CAT-Half-Brick-DC-DC-Converters.html>