

ПРОЕКТУВАННЯ ВІДМОВОСТІЙКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

*Волочій Б.Ю., д.т.н. професор; Кузнєцов Д.С., аспірант
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна*

Постановка задачі

Проблемі надійності джерел безперебійного електроживлення (ДБЕЖ) радіоелектронної систем (РЕС) відповідального призначення проєктантами приділяється велика увага [1-5]. В ряді інформаційних джерел визначені вимоги до надійності ДБЕЖ [2, 3] та способи її забезпечення шляхом використання відмовостійких систем з відповідною конфігурацією [1, 4, 5, 7, 9]. У відмовостійких системах, що знайшли застосування в практиці проєктування ДБЕЖ, часто використовується комбіноване структурне резервування [4, 7]. Але у відомих інформаційних джерелах моделі таких ВС не виявлено.

Часто в каталогах по ДБЕЖ відзначається висока надійність ДБЕЖ, хоча конкретні значення показників надійності не наводяться [6]. Це, на нашу думку, пов'язано з відсутністю відповідних надійнісних моделей ДБЕЖ, а експериментально визначені показники надійності отримуються лише після тривалої експлуатації.

Отже, проблема розробки надійнісних моделей ДБЕЖ з комбінованим структурним резервуванням є актуальною і потребує свого вирішення.

Конфігурації відмовостійких систем для джерел безперебійного електроживлення

Типова конфігурація відмовостійкої системи для ДБЕЖ [7] подана на рис. 1, де Мрк – модуль робочої конфігурації блоку живлення (БЖ), Мкр – модуль ковзного резерву БЖ, А – акумулятор, ЗПА – зарядний пристрій акумулятора. У доповіді представлено надійнісні моделі для наступних модифікацій конфігурації відмовостійкої системи для ДБЕЖ (табл.1).

1) Блок живлення ДБЕЖ з модульною структурою, з використанням навантаженого постійного резерву модулів з перерозподілом навантаження при відмові модуля, та загальним резервуванням БЖ за допомогою одного акумулятора.

2) Блок живлення ДБЕЖ з модульною структурою, з використанням ненавантаженого ковзного резерву модулів робочої конфігурації БЖ, та загальним резервуванням БЖ за допомогою одного або двох акумуляторів.

3) Блок живлення ДБЕЖ з модульною структурою, з використанням ненавантаженого ковзного резерву модулів робочої конфігурації БЖ, загальним резервуванням БЖ за допомогою двох акумуляторів, а також застосоване резервування модуля контролю з розподілом функцій між основним

та резервним модулями (ЕЖУ И 14000 [6]).

Таблиця 1. Модифікації конфігурації відмовостійкої системи для ДБЕЖ

№ п/п	Тип резерву модулів робочої конфігурації	Загальне резервування БЖ	Резервування засобів контролю	Резервування електромережі
1	навантажений постійний резерв з перерозподілом навантаження	1 акумулятор	відсутнє	відсутнє
2	ненавантажений ковзний резерв	1 акумулятор	відсутнє	відсутнє
3	ненавантажений ковзний резерв	2 акумулятори	відсутнє	відсутнє
4	ненавантажений ковзний резерв	2 акумулятори	однократне загальне резервування	відсутнє
5	ненавантажений ковзний резерв	2 акумулятори	відсутнє	однократне загальне резервування

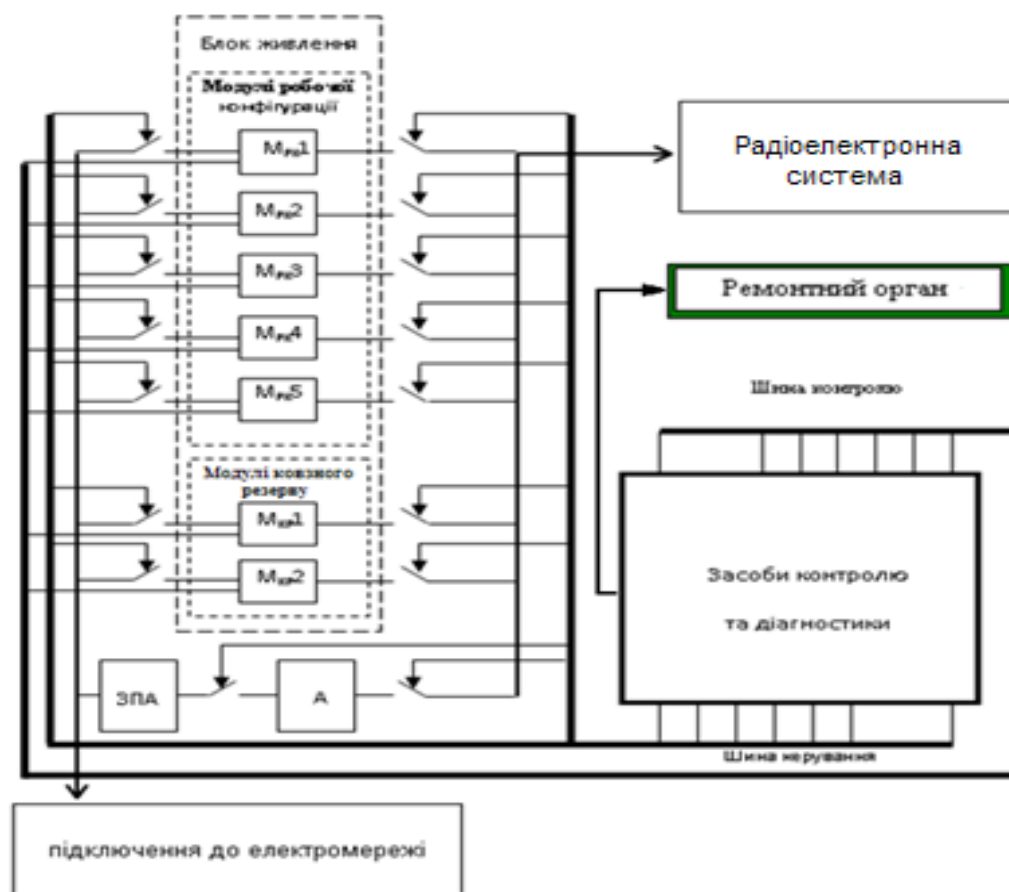


Рис. 1. Структурно-функціональна схема ДБЕЖ

4) Блок живлення ДБЕЖ з модульною структурою, з використанням ненавантаженого ковзного резерву модулів робочої конфігурації БЖ, загальне резервування засобів контролю та діагностики.

льним резервуванням БЖ за допомогою двох акумуляторів, генератором, який забезпечує загальне резервування ненадійної електромережі, і автоматичний перемикач, що виконує переключення джерела від електромережі на генератор і навпаки.

Для ДБЕЖ передбачено технічне обслуговування з використанням стратегії аварійного або профілактичного відновлення.

Фактори ненадійності джерел безперебійного електроживлення

Ненадійність електроживлення РЕС обумовлена двома факторами [8]: ненадійністю електромережі та ненадійністю самого ДБЕЖ. Після відмови модуля в блоці живлення РЕС переходить на автономну роботу від акумулятора. Відновлення працездатності БЖ можливе завдяки наявності ковзного резерву та ремонтного органу. Ефективність акумулятора визначають його параметри: середні значення тривалостей: розрядження, заряджання, саморозряджання і безвідмовної роботи. Останню, в моделі можна представити кількістю циклів заряд/розряд. У випадку з двома акумуляторами, якщо один з них працював на навантаження і розрядився або відмовив, а БЖ не відновлено, то передбачено переключення засобами комутації на другий акумулятор, якщо він працездатний і заряджений. Якщо другий акумулятор перебуває на заряджанні або є несправним, то ДБЕЖ втрачає працездатність. Наявність в структурі ДБЕЖ двох акумуляторів дозволяє при надійній електромережі знизити вимоги до ремонтного органу. При відмові засобу комутації ДБЕЖ втрачає працездатність в момент, коли до нього надходить команда від засобу контролю. Ефективність контролю та діагностики визначають вибрані методи та надійність засобів (апаратних і програмних), якими реалізовано їх функції. При не виявленні засобом контролю порушення працездатності БЖ або акумулятора (в момент переключення на нього навантаження) ДБЕЖ втрачає працездатність. При неуспішній локалізації несправного модуля із робочої конфігурації БЖ вилучається справний модуль.

Короткий опис розроблених моделей відмовостійких систем для джерел безперебійного електроживлення

При створенні аналітичних моделей відмовостійких систем для ДБЕЖ використана технологія моделювання, яка передбачає розробку моделі-посередника у вигляді у вигляді графа станів і переходів. Розробка і аналіз графа для складних систем є затратною по часу задачею. Надійнісні моделі ДБЕЖ розроблені з використанням удосконаленої технології моделювання відмовостійких систем [7], в якій побудова графу станів і переходів є автоматизована, що важливо при великій кількості варіантів їх побудови, які підлягають аналізу. Ця технологія реалізована в програмному модулі ASNA-1. Згідно цієї технології розроблені структурно-автоматні моделі відмовостійких систем для ДБЕЖ, які включені в бібліотеку надійнісних моделей для проектування ДБЕЖ.

Ступінь адекватності розроблених моделей визначається тим, що:

- у моделях враховано відмови модулів робочої конфігурації БЖ, ненадійність переключень (навантаження з БЖ на акумулятор і навпаки, підключення модуля ковзного резерву у робочу конфігурацію, підключення акумулятора до зарядного пристрою), ненадійність засобів контролю та діагностики, параметри акумуляторів, а також ефективність ремонтного органу;
- у випадку необхідності врахування ненадійності модуля контролю враховується інтенсивність його відмов;
- у випадку необхідності врахування ненадійності мережі, враховуються інтенсивності її відключення та включення, а також переключення навантаження на генераторну установку і навпаки.

Для прикладу розглянемо структурно-автоматну модель ВС для ДБЕЖ № 3 табл.1. Структурно-автоматна модель для цієї модифікації має вигляд (табл. 2), де ФРІБП – формула розрахунку інтенсивності базової події, ФРІАП – формула розрахунку імовірності альтернативного переходу, ПМКВС – правило модифікації компонент вектора стану, ККВ – критерій катастрофічної відмови.

Таблиця 2. Структурно-автоматна модель ВС для ДБЕЖ

Базові події	Умови і обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПМКВС
1. Відмова модуля блоку живлення	1. (V1=Mrk) AND (V2>0) AND ((V4=2) OR (V5=2))	$V1 \times \lambda_M$	$P_{111} = P_{PM} \times P_{PM} \times P_D$	$V2 := V2 - 1;$
			$P_{112} = 1 - P_{PM}$	$V1 := V1 - 1;$ $V2 := V2 - 1$
	2. (V1=Mrk) AND (V2=0) AND (V4=2)	$V1 \times \lambda_M$	$P_{121} = P_{PM}$	$V1 := V1 - 1;$ $V4 := 1$
			$P_{122} = 1 - P_{PM}$	$V1 := V1 - 1$
	3. (V1=Mrk) AND (V2=0) AND ((V4=3) OR (V4=4)) AND (V5=2)	$V1 \times \lambda_M$	$P_{121} = P_{PM}$	$V1 := V1 - 1;$ $V5 := 1$
$P_{122} = 1 - P_{PM}$			$V1 := V1 - 1$	
4. (V1=Mrk) AND ((V4=3) OR (V4=4)) AND ((V5=3) OR (V5=4))	$V1 \times \lambda_M$	1	$V1 := V1 - 1$	
2. Завершення розрядження 1-го акумулятора	1. (V4=1) AND (V5=2)	$\lambda_{РПА}$	$P_{211} = P_{Ц} \times P_{PM}$	$V4 := 3; V5 := 1$
			$P_{212} = P_{Ц} \times (1 - P_{PM})$	$V4 := 3$
			$P_{213} = (1 - P_{Ц}) \times P_{PM}$	$V4 := 4; V5 := 1$
			$P_{214} = (1 - P_{Ц}) \times (1 - P_{PM})$	$V4 := 4$
	2. (V4=1) AND ((V5=3) OR (V5=4))	$\lambda_{РПА}$	$P_{221} = P_{Ц}$	$V4 := 3$
			$P_{222} = 1 - P_{221}$	$V4 := 4$
3. (V4=2)	$\lambda_{РНА}$	$P_{231} = P_{Ц}$	$V4 := 3$	
		$P_{232} = 1 - P_{231}$	$V4 := 4$	

Таблиця 2 (продовження)

Базові події	Умови і обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПМКВС
3. Завершення розряджання 2-го акумулятора	1. (V5=1) AND (V4=2)	$\lambda_{РПА}$	$P_{311} = P_{ц} \times P_{пм}$	V5:=3; V4:=1
			$P_{312} = P_{ц} \times (1 - P_{пм})$	V5:=3
			$P_{313} = (1 - P_{ц}) \times P_{пм}$	V5:=4; V4:=1
			$P_{314} = (1 - P_{ц}) \times (1 - P_{пм})$	V5:=4
	2. (V5=1) AND ((V4=3) OR (V4=4))	$\lambda_{РПА}$	$P_{321} = P_{ц}$	V5:=3
			$P_{322} = 1 - P_{321}$	V5:=4
3. (V5=2)	$\lambda_{РНА}$	$P_{321} = P_{ц}$	V5:=3	
		$P_{322} = 1 - P_{321}$	V5:=4	
4. Відмова 1-го акумулятора	1. (V4=1) AND (V5=2)	λ_a	$P_{41} = P_{пм}$ $P_{42} = 1 - P_{пм}$	V4:= 4; V5:=1 V4:= 4
	2. (V4=1) AND ((V5=3) OR (V5=4))	λ_a	1	V4:= 4
	3. (V4=2) OR (V4=3)	λ_a	1	V4:= 4
5. Відмова 2-го акумулятора	1. (V5=1) AND (V4=2)	λ_a	$P_{51} = P_{пм}$ $P_{52} = 1 - P_{пм}$	V5:=4; V4:=1 V5:=4
	2. (V5=1) AND ((V4=3) OR (V4=4))	λ_a	1	V5:= 4
	3. (V5=2) OR (V5=3)	λ_a	1	V5:= 4
7. Завершення заряджання 1-го акумулятора	(V4=3)	$1/T_{3A}$	1	V4:=2
8. Завершення заряджання 2-го акумулятора	(V5=3)	$1/T_{3A}$	1	V5:=2
9. Відновлення несправного модуля блоку живлення	(((Mrk+Mkr) - (V1+V2)) > 0) AND (V3=1) AND (V1 < Mrk)	$1/T_{PM}$	$P_{81} = (S_p - 1)/S_p$	V1:=V1+1; V4:=2; V5:=2;
			$P_{82} = 1/S_p$	V1:=V1+1; V3:=0; V4:=2; V5:=2;
	(((Mrk+Mkr) - (V1+V2)) > 0) AND (V3=1) AND (V1 = Mrk)	$1/T_{PM}$	$P_{81} = (S_p - 1)/S_p$	V2:=V2+1
			$P_{82} = 1/S_p$	V2:=V2+1; V3:=0
ККВ: (V1 < Mrk) AND ((V4=2) OR (V4=3) OR (V4=4)) AND ((V5=2) OR (V5=3) OR (V5=4))				

Технологією моделювання передбачено визначення компонент вектора станів, якими буде визначатися той чи інший стан. В даній структурно-автоматній моделі вектор стану представляють такі компоненти:

V1 - відображає поточну кількість працездатних модулів в робочій конфігурації БЖ (початкове значення компоненти V1 дорівнює кількості модулів в робочій конфігурації БЖ M_{PK}); **V2** - відображає поточну кількість працездатних модулів ковзного резерву БЖ (початкове значення компоненти V2 дорівнює кількості модулів ковзного резерву M_{KR}); **V3** - представ-

ляє можливість ремонту модуля: (1- ремонт можливий, 0 – усі заплановані ремонти виконані, тобто наступний ремонт не можливий (початкове значення рівне 1)); **V4** - вказує, в якому стані перебуває перший акумулятор (1 – акумулятор працює на навантаження; 2 – акумулятор заряджений але не підключений до навантаження; 3 – акумулятор перебуває на заряджанні; 4 – акумулятор непрацездатний: незаряджений і несправний); **V5** - вказує, в якому стані перебуває другий акумулятор (1 – акумулятор працює на навантаження; 2 – акумулятор заряджений але не підключений до навантаження; 3 – акумулятор перебуває на заряджанні; 4 – акумулятор непрацездатний: незаряджений і несправний).

Перелік параметрів відмовостійкої системи, які мають бути представлені в структурно-автоматній моделі є таким:

- параметри блоку живлення:

$M = M_{PK} + M_{KP}$ - загальна початкова кількість модулів БЖ;

M_{PK} – початкова кількість модулів в робочій конфігурації БЖ;

M_{KP} – початкова кількість модулів ковзного резерву;

λ_M - інтенсивність відмов одного модуля в БЖ;

- параметри акумулятора (в загальному резерві передбачено 2 акумулятори):

$S_{\text{ц}}$ – максимальна кількість циклів заряд-розряд акумулятора;

$T_{\text{ЗА}}$ - середнє значення часу, необхідного для заряджання акумулятора;

$\lambda_{\text{РПА}}$ - інтенсивність розряду працюючого акумулятора;

$\lambda_{\text{РНА}}$ - інтенсивність розряду непрацюючого акумулятора,

λ_a - інтенсивність відмов акумулятора;

$P_{\text{ц}}$ – ймовірність того, що поточний цикл заряд-розряд не останній можливий;

- параметр засобів контролю та діагностики:

$P_{\text{д}}$ – ймовірність правильної діагностики і локалізації несправного модуля джерела безперебійного електроживлення;

- параметр пристроїв перемикаччя:

$P_{\text{пм}}$ – ймовірність успішної комутації (переключення);

- параметри ремонтного органу:

S_p – максимальна кількість ремонтів несправних модулів БЖ;

$T_{\text{рм}}$ - середнє значення часу, необхідного на ремонт одного модуля БЖ.

Задачі надійнісного проектування

Надійнісне проектування ДБЕЖ передбачає вирішення задач:

- визначення параметрів вибраної конфігурації відмовостійкої системи при заданому значенні показника надійності, наприклад тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ;

- обґрунтування вибору конфігурації відмовостійкої системи для ДБЕЖ;

- визначення параметрів технічного обслуговування при заданому значенні показника надійності, а саме тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ;

Шляхом аналізу варіантів реалізації конфігурації відмовостійкої системи ДБЕЖ за допомогою розроблених моделей і розв'язання задач надійнісного проектування можна визначити вимоги до: акумуляторів, генераторної установки, ремонтного органу, надійності модулів, резерву, засобів комутації, засобів контролю та діагностики. Для розв'язання таких задач розроблені надійнісні моделі мають необхідний ступінь адекватності.

Приклад розв'язання задачі надійнісного проектування

Забезпечити необхідне значення показника надійності ДБЕЖ можна різними способами: збільшенням кількості резервних модулів, підвищенням надійності модулів робочої конфігурації БЖ, встановленням акумуляторів з кращими параметрами, підвищенням вимог до ремонтного органу. Однак зміна кожного з цих параметрів буде впливати на надійність ДБЕЖ в цілому по різному. Треба врахувати, що певний набір одних параметрів буде визначати наскільки надійність ДБЕЖ буде чутлива до зміни інших. Тому актуальною є задача визначення залежності чутливості показника надійності ДБЕЖ до змін параметрів відмовостійкої системи та технічного обслуговування, при різних наборах значень інших параметрів джерела. Значення інших параметрів може задаватися, в тому числі, для певної ситуації, яка визначається доцільністю (технічною, економічною і т.д.).

Коли в процесі експлуатації ДБЕЖ у ковзному резерві зменшується кількість працездатних модулів, саме засобами ремонтної служби забезпечується поповнення резерву працездатними модулями. Тому варто дослідити узагальнену залежність показника надійності від відношення тривалості ремонту до тривалості безвідмовної роботи модуля в БЖ при необхідності сформулювати вимоги до ремонтної служби. У випадку, коли БЖ втратив працездатність і у ковзному резерві не залишилось працездатних модулів, саме акумулятором забезпечується живлення РЕС на час відновлення працездатності БЖ. Тому варто дослідити узагальнену залежність показника надійності від відношення тривалості розряду акумулятора до тривалості ремонту. Як приклад, приведемо результати цих досліджень у вигляді залежностей показника надійності ДБЕЖ (тривалості безвідмовної роботи) від відношення тривалості ремонту до тривалості безвідмовної роботи модуля в БЖ (рис.2), і від відношення тривалості розряду акумулятора до тривалості ремонту (рис.3). На рисунках проілюстровано по чотири залежності (табл.1, №3) відмовостійкої системи для ДБЕЖ, які побудовані для певних наборів параметрів ВС для ДБЕЖ, поданих у табл.3 і табл.4 для рис.2 і рис.3 відповідно.

Таблиця 3. Набори параметрів відмовостійкої конфігурації для ДБЕЖ

№	M_{pk}	M_{kr}	λ_m	$S_{ц}$	$T_{за}$	$\lambda_{РПА}$	$\lambda_{РНА}$	λ_a	S_p	$P_{пм}$	P_d
1	5	2	1e-4	300	5	0.1	5e-2	5e-6	700	0.999	0.9999
2	5	3	5e-4	200	5	0.1	5e-3	5e-6	35	0.999	0.9999
3	5	1	2e-4	100	7	0.2	5e-3	5e-6	25	0.999	0.9999
4	5	2	3e-4	200	10	0.5	5e-4	5e-6	20	0.99	0.999

Таблиця 4. Набори параметрів відмовостійкої конфігурації для ДБЕЖ

№	M_{PK}	M_{KP}	λ_m	$S_{Ц}$	$T_{ЗА}$	T_{PM}	λ_{PNA}	λ_a	S_p	$P_{ПМ}$	P_d
1	5	2	1e-4	300	5	100	5e-3	5e-6	35	0.999	0.9999
2	5	3	5e-4	200	5	50	5e-3	5e-6	35	0.999	0.9999
3	5	1	2e-4	100	7	200	5e-4	5e-6	25	0.999	0.9999
4	5	2	3e-4	200	10	150	5e-4	5e-6	20	0.99	0.999

Результати, представлені на рис.2 та рис.3, ілюструють можливості надійної моделі у проектуванні відмовостійкої системи ДБЕЖ (в даному випадку, при формуванні вимог до ремонтної служби і параметрів акумуляторів). На рис. 2 видно, що при зазначених наборах параметрів ВС (табл.3) найбільша зміна показника надійності має місце на інтервалі $\{0,01-0,1\}$. Тому знаючи показники надійності модулів БЖ (дослідження проведено для кількості модулів у робочій конфігурації БЖ $M_{PK} = 5$), і формулюючи вимоги до ремонтної служби варто пам'ятати, що для даної конфігурації відмовостійкої системи кращі показники надійності ДБЕЖ досягаються при середній тривалості ремонту несправного модуля БЖ у сто і більше разів меншій за тривалість його безвідмовної роботи.

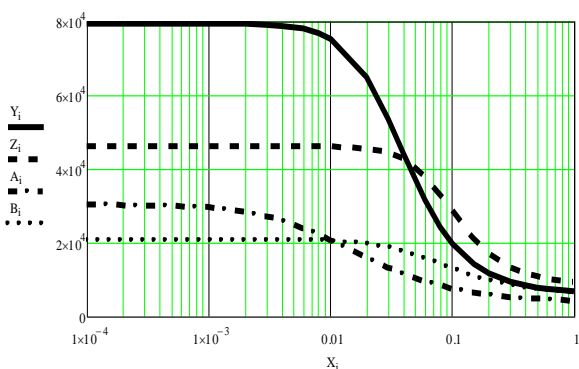


Рис.2

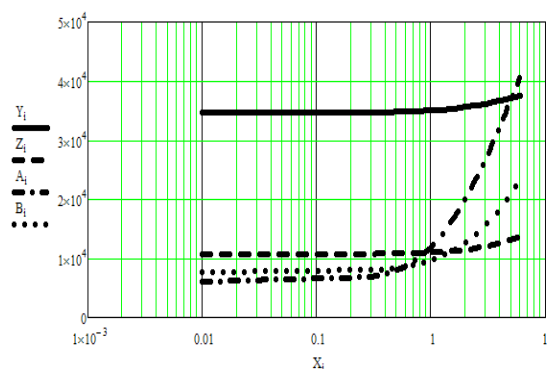


Рис.3

На рис. 3 можна відстежити, що при зазначених наборах параметрів ВС (табл.4) і значеннях відношень тривалості розряду акумулятора до тривалості ремонту ≤ 0.1 надійність ДБЕЖ залишається практично не змінною, і є низькою так як за час розряду акумулятора (дослідження проведено для ДБЕЖ, у складі якого присутній один акумулятор) ремонтна служба не встигає відновити працездатність БЖ (дослідження проведено для стратегії аварійного відновлення, при якій відновлюється працездатність усіх несправних модулів БЖ). Починаючи зі значень >0.1 надійність ДБЕЖ починає зростати. Дослідження даної характеристики є бажаним, у випадку, коли є відомими можливості ремонтної служби, і стоїть задача вибору акумулятора або навпаки.

Висновки

Розроблені надійні моделі відмовостійких систем для джерел без-

перебійного електроживлення дозволяють вирішувати наведений вище перелік задач, які є актуальними при їх проектуванні.

Моделі служать проектанту інструментом, за допомогою якого можна дати відповідь на питання про те, зміна якого з параметрів джерела дасть найбільший приріст надійності, і знайти значення параметрів використаної конфігурації відмовостійкої системи для джерела безперебійного електроживлення при заданому значенні показника його надійності.

Розроблені надійнісні моделі включені в бібліотеку надійнісних моделей для проектування джерел безперебійного електроживлення.

Література

1. Барсков А. Отказоустойчивые источники бесперебойного питания: модульные или моноблочные. – 2009. – Режим доступу: <http://www.iksnavigator.ru/vision/2910564.html>
2. Электроснабжение центра обработки данных (ЦОД) — Режим доступу: http://www.policom.ru/solution/engineering/power.php?sphrase_id=2533479
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. Режим доступу: <http://www.elec.ru/library/direction/pue.html>
4. Решения для повышения надежности систем ИБП – Абитех – Режим доступу: http://www.abitech.ru/solutions/improve_system_reliability_UPS.php
5. E. Spears “Parallel UPS configurations” – Eaton – 2009 - Access mode: http://www.eaton.com/Electrical/USA/WhitePapers/idcplg?IdcService=GET_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&Rendition=Primary&dDocName=WP09-02
6. Каталог продукции ООО Интеграл Режим доступу: <http://integral.pp.ua/downloads1.html>
7. Волочий Б.Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем. – Львів: Вид-во Національного ун-ту "Львівська політехніка", 2004. – 220 с.
8. Неплохов И., Басов И. Электроснабжение первой категории надежности и новая нормативная база по пожарной безопасности – 2009. – Режим доступу: <http://articles.security-bridge.com/articles/101/12681/>
9. Волочий Б.Ю., Озірковський Л.Д., Муляк О.В., Гиля В.Д. Моделі для надійнісного проектування вузла пам'яті сервера та джерела безперебійного електроживлення // Радіоелектроніка та телекомунікації. Вісник нац. ун-ту «Львівська політехніка» № 680, - С. 206-216

Волочий Б.Ю., Кузнєцов Д.С., Проектування відмовостійких систем для джерел безперебійного електроживлення. В доповіді розглянуто задачу надійнісного проектування відмовостійкої системи для джерела безперебійного живлення. Конфігурація відмовостійкої системи визначає склад джерела безперебійного електроживлення: блок живлення сформований з однотипних модулів, ненавантажений ковзний резерв для них, двократне загальне резервування блоку живлення двома акумуляторами, засоби контролю та діагностики. Представлено розроблений засіб для автоматизованого формування аналітичної моделі відмовостійкої системи та проілюстровано його можливості при визначенні вимог до ремонтної служби і акумуляторів.

Ключові слова: джерело безперебійного електроживлення, комбіноване структурне резервування, надійнісне проектування.

Волочий Б.Ю., Кузнецов Д.С., *Проектирование отказоустойчивых систем для источников бесперебойного электропитания.* Рассмотрена задача надежностного проектирования отказоустойчивой системы для источника бесперебойного питания. Конфигурация отказоустойчивой системы определяет состав источника бесперебойного электропитания: блок питания сформированный из однотипных модулей, ненагруженный скользящий резерв для них, двукратное общее резервирование блока питания двумя аккумуляторами, средства контроля и диагностики. Представлены разработанные средства для автоматизированного формирования аналитической модели отказоустойчивой системы и проиллюстрирована их возможность при определении требований к ремонтной службе и аккумуляторам

Ключевые слова: источник бесперебойного электропитания, комбинированное структурное резервирование, надежностное проектирование

Volochiy B., Kuznetsov D. Fault Tolerant System Design for Uninterruptible Power Supplies. The problem of design for reliability of a fault tolerant system for uninterruptible power supplies is considered. Configuration of a fault tolerant system determines the structure of an uninterruptible power supply: power supply built from modules of the same type, stand-by sliding reserve for them, twice total reserve of the power supply with two accumulator batteries, the controls and diagnostics means. The developed tool for automated analytical model of fault tolerant systems generation and illustration of its capabilities in determination of requirements for repair service and accumulator batteries are given.

Keywords: uninterruptible power supply, combined structure redundancy, design for reliability.