

самого обладнання. Це досягається мінімізацією довжини провідників живлення після фільтра та відстані між ними. За великих значень індуктивності згладжувального фільтра необхідно в обладнанні вмикати паралельно в коло живлення конденсатори безпосередньо біля основних елементів (транзисторів, мікросхем), які створюють основне навантаження блока живлення.

1. Кобзев А.В., Михальченко Г.Я., Музыченко Н.М. Модуляционные источники питания РЭА. – Томск: Радио и связь, 1990. – 336 с. 2. Бобало Ю.Я., Грицьків Р.Д. Ряд Фур'є і перетворення Фур'є в основах теорії кіл і сигналів. – Львів, 1999. – 106 с. 3. Хусаинов Ч.И. Высокочастотные импульсные стабилизаторы постоянного напряжения. – М.: Энергия, 1980, 88 с. 4. Эраносян С.А. Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 176 с. 5. Четти П. Проектирование ключевых источников электропитания. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 240 с.

УДК 621.311.68

Б.Ю. Волочій, Д.С. Кузнєцов

Національний університет “Львівська політехніка”

ПРОЕКТУВАННЯ ВІДМОВОСТІЙКИХ СИСТЕМ З КОНФІГУРАЦІЯМИ $N+M$ ТА $2 \times (N+M)$ ДЛЯ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

© Волочій Б.Ю., Кузнєцов Д.С., 2012

Запропоновано моделі відмовостійких систем для джерел безперебійного електроживлення з конфігураціями $N+M$ та $2 \times (N+M)$, призначені для їх надійнісного проектування. Можливості моделей у розв'язанні задач надійнісного проектування продемонстровано на прикладі визначення параметрів технічного обслуговування джерела безперебійного електроживлення для забезпечення заданих вимог до надійності та вибору з двох конфігурацій відмовостійких систем кращої за критерієм мінімуму економічних затрат за однакових значень показника надійності.

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

In this paper models of fault-tolerant systems with $N+M$ and $2 \times (N+M)$ redundant configurations for an uninterruptible power supply with intention for their design for reliability are given. The opportunities of the models in solving problems of a design for reliability by the example of determination of the parameters of a repair service for uninterruptible power supply to meet the dependability requirements and the problem of determination of the better configuration of a fault-tolerant system between two ones on the criterion of the minimum economic cost with the same dependability parameter values are demonstrated.

Key words: uninterruptible power supply, combined structure redundancy, fault-tolerant system, design for reliability.

1. Постановка задачі. Одним з важливих показників, на який звертають увагу, вибираючи джерела безперебійного електроживлення (ДБЕЖ) для радіоелектронної апаратури, є показник їх надійності. Проблеми надійності ДБЕЖ проєктанти приділяють велику увагу, про що свідчать публікації [1–4]. Причиною цього є необхідність забезпечити безперебійне довготривале живлення радіоелектронної апаратури. Оскільки безперебійне живлення є необхідною умовою ефективного

функціонування апаратури, до надійності подавання живлення ставлять високі вимоги (для різних потреб коефіцієнти готовності коливаються в межах від 99.9 % до 99.99999 %). У інформаційних джерелах подано вимоги до надійності ДБЕЖ [5] та способи її забезпечення шляхом використання відмовостійких систем (ВС) з відповідною конфігурацією [1–4]. Відмовостійкі системи для ДБЕЖ, що знайшли застосування в практиці, часто проєктуються з використанням конфігурацій $(N+M)$ або $2 \times (N+M)$, тобто застосовується комбіноване структурне резервування [1–4]. Для надійнісного проєктування таких відмовостійких систем (наприклад, визначення конфігурації ВС та її параметрів) необхідно мати у розпорядженні відповідні надійнісні моделі. Таких надійнісних моделей, які відповідають ВС для ДБЕЖ з конфігураціями $(N+M)$ або $2 \times (N+M)$, у відомих авторах інформаційних джерелах не виявлено. В роботі [8] наведено підхід до створення моделей для аналізу надійності ДБЕЖ для центрів обробки даних, але закінчених моделей, придатних до використання, не подано.

Отже, задача розроблення надійнісних моделей ДБЕЖ з комбінованим структурним резервуванням є актуальною і потребує розв'язання.

2. Конфігурації відмовостійких систем для джерел безперебійного електроживлення.

Типова конфігурація відмовостійкої системи для ДБЕЖ, подана в [6], містить блок живлення (БЖ) з модульною структурою, який складається з однотипних модулів робочої конфігурації (N модулів) і таких самих модулів постійного навантаженого резерву (M модулів), два акумулятори, засоби моніторингу стану ДБЕЖ та його окремих складових. У статті представлено надійнісні моделі для таких модифікацій конфігурації відмовостійкої системи для ДБЕЖ:

1) з використанням навантаженого постійного резерву модулів робочої конфігурації БЖ з перерозподілом навантаження при відмові модуля та загальним резервуванням БЖ за допомогою двох акумуляторів (конфігурація ВС $N+M$);

2) дві паралельні схеми, кожна з яких використовує навантажений постійний резерв модулів БЖ з перерозподілом навантаження при відмові модуля та загальним резервуванням БЖ за допомогою двох акумуляторів (конфігурація ВС $2 \times (N+M)$).

3. Короткий опис надійнісної поведінки джерел безперебійного електроживлення та факторів його ненадійності. Ненадійність електроживлення радіоелектронної апаратури зумовлена двома факторами [7]: ненадійністю електромережі та ненадійністю самого ДБЕЖ. Після відмови модуля в блоці живлення радіоелектронна система переходить на автономну роботу від акумуляторів. Ефективність акумулятора визначають його параметри (див. п. 5). Два акумулятори здійснюють двократне загальне резервування блока живлення; засоби моніторингу здійснюють контроль працездатності блока живлення і локалізацію несправного модуля в ньому, а також контроль стану акумуляторів. Акумулятор завжди підтримується у зарядженому стані за рахунок контролю стану його розряду засобами моніторингу та автоматичною підзарядкою до зарядженого стану. Акумулятори працюють у буферному режимі разом із модулями БЖ. Тому, в разі відмови БЖ, перемикаць акумулятора на навантаження не відбувається, що усуває проблеми, зумовлені ненадійністю комутаторів. Для таких ДБЕЖ передбачено технічне обслуговування з використанням стратегії аварійного, профілактичного або комбінованого відновлення. Аварійний виклик ремонтника передбачено у разі відмови одного модуля блока живлення або акумулятора.

4. Короткий опис розроблених моделей відмовостійких систем для джерел безперебійного електроживлення. Моделі ВС розроблено з використанням удосконаленої технології моделювання відмовостійких систем [6], в якій побудова графу станів і переходів автоматизована, що важливо в разі великої кількості варіантів їх побудови, які підлягають аналізу. Ця технологія реалізована в програмному модулі ASNA-1. Згідно з цією технологією необхідно здійснити розроблення формалізованого представлення об'єкта дослідження (ВС для ДБЕЖ) у вигляді структурно-автоматної моделі.

Ступінь адекватності розроблених структурно-автоматних моделей вищезазначених ВС для ДБЕЖ визначається тим, що в моделях враховано:

– відмови модулів робочої конфігурації БЖ, параметри акумуляторів, а також можливості ремонтного органу;

– ненадійність електромережі (враховуються середні значення тривалості безперервної подачі напруги з електромережі та тривалості відсутності подачі номінальної напруги).

Розроблення структурно-автоматних моделей проходить ряд етапів. Серед них формування вербальної моделі, в якій описується вся необхідна інформація про ВС. Потім вибирають параметри, які потрібно подати у моделі, а також визначають компоненти вектора стану, який однозначно представлятиме стан ВС. Після цього формується дерево правил модифікації компонент вектора стану, що включає визначення множини базових подій, які відбуватимуться при експлуатації ДБЕЖ, компонування формул розрахунку їх інтенсивностей (ФРІБП) і альтернативних переходів (ФРІАП) (у випадку, коли та сама подія за тих самих обставин може привести до різних наслідків) та формування правил модифікації компонент вектора стану (ПМКВС) (що показує, як змінюється стан ВС після настання певної події) і критерію катастрофічної відмови.

5. Перелік параметрів відмовостійкої системи, які мають бути представлені в структурно-автоматній моделі. Множину формальних параметрів моделі утворюють:

- параметри блока живлення: N – початкова кількість модулів у робочій конфігурації блока живлення; M – початкова кількість модулів резерву; λ_{BM} – інтенсивність відмов одного модуля в блоці живлення; K_H – поправковий коефіцієнт для інтенсивності відмов, який враховує вплив навантаження;

- параметри акумулятора: $S_{Ц}$ – максимальна кількість циклів заряд-розряд акумулятора; $T_{ЗА}$ – середнє значення інтервалу часу, необхідного для заряджання акумулятора; $\lambda_{РПА}$ – інтенсивність розряду акумулятора, що працює; λ_A – інтенсивність відмов акумулятора;

- параметри ремонтного органу: S_p – максимальна кількість ремонтів несправних модулів блока живлення; T_{PM} – середнє значення інтервалу часу, необхідного на ремонт одного модуля блока живлення; S_A – максимальна кількість відновлень несправних акумуляторів; T_A – середнє значення інтервалу часу, необхідного на заміну одного акумулятора;

- параметри електромережі: $T_{П}$ – середнє значення тривалості безперервної подачі напруги з електромережі; $T_{НП}$ – середнє значення тривалості відсутності подачі напруги з електромережі.

6. Визначення структури вектора станів системи. Технологією моделювання передбачено визначення компонент вектора станів, якими визначатиметься той чи інший стан. Вектор станів певної відмовостійкої підсистеми електроживлення слід представляти такими компонентами:

V1 – відображає поточну кількість працездатних модулів у блоці живлення (початкове значення компоненти **V1** дорівнює сумарній початковій кількості модулів у робочій конфігурації блока живлення і в резерві $(N+M)$); **V2** – відображає поточну кількість працездатних модулів у другому блоці живлення (для ВС з конфігурацією $2 \times (N+M)$) (початкове значення компоненти **V2** те саме, що і для **V1**; для структурно-автоматної моделі ВС з конфігурацією $(N+M)$ ця компонента не використовується); **V3** – відображає поточну кількість працездатних заряджених акумуляторів (початкове значення дорівнює початковій кількості акумуляторів); **V4** – відображає поточну кількість розряджених акумуляторів, що перебувають на заряджанні (початкове значення – 0); **V5** – відображає стан електромережі (1 – номінальна напруга в електромережі присутня, 0 – номінальна напруга в електромережі відсутня (початкове значення дорівнює 1)); **V6** – можливість заміни модуля; (1 – заміна можлива, 0 – усі заплановані заміни виконані, тобто наступна заміна неможлива (початкове значення становить 1)); **V7** – можливість заміни акумуляторів; (1 – заміна можлива, 0 – усі заплановані заміни виконані, тобто наступна заміна неможлива (початкове значення дорівнює 1)).

Структурно-автоматні моделі ВС для ДБЕЖ з конфігураціями $N+M$ та $2 \times (N+M)$ подано у табл. 1 та табл. 2 відповідно.

Структурно-автоматна модель відмовостійкої системи з конфігурацією N+M

Базові події	Умови і обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПМКВС
Подія 1.0 – «Відмова модуля блока живлення»	$(V1 \geq N) \text{ AND } (V5=1)$	$V1 \times \lambda_{\text{ВМ}} \times K_{\text{Н}}$	1	$V1 := V1 - 1$
Подія 2.0 – «Завершення розряджання акумуляторів»	$(V3 > 0) \text{ AND } ((V5 = 0) \text{ OR } (V1 < N))$	$\lambda_{\text{РПА}} / V3$	$((S_{\text{Ц}} - 1) / S_{\text{Ц}})$	$V4 := V4 + V3; V3 := 0$
			$(1 / S_{\text{Ц}})$	$V3 := 0$
Подія 3.0 – «Відмова акумулятора»	$V3 > 0$	$V3 \times \lambda_{\text{А}}$	1	$V3 := V3 - 1$
	$V4 > 0$	$V4 \times \lambda_{\text{А}}$	1	$V4 := V4 - 1$
Подія 4.0 – «Завершення заряджання акумуляторів»	$(V4 > 0) \text{ AND } (V5=1)$	$1 / T_{\text{ЗА}}$	1	$V3 := V3 + V4; V4 := 0$
Подія 5.0 – «Відновлення несправного модуля блока живлення»	$(V1 < (N+M)) \text{ AND } (V6=1)$	$1 / T_{\text{РМ}}$	$((S_{\text{Р}} - 1) / S_{\text{Р}})$	$V1 := V1 + 1$
			$(1 / S_{\text{Р}})$	$V1 := V1 + 1; V6 := 0$
Подія 6.0 – «Заміна несправного акумулятора»	$((V3 + V4) < K_{\text{А}}) \text{ AND } (V5=1)$	$1 / T_{\text{А}}$	$((S_{\text{А}} - 1) / S_{\text{А}})$	$V4 := V4 + 1$
			$(1 / S_{\text{А}})$	$V4 := V4 + 1; V7 := 0$
Подія 7.0 – «Зникнення напруги в електромережі»	$V5=1$	$1 / T_{\text{П}}$	1	$V5 := 0$
Подія 8.0 – «Поява напруги в електромережі»	$V5=0$	$1 / T_{\text{НП}}$	1	$V5 := 1$

Таблиця 2

Структурно-автоматна модель відмовостійкої системи з конфігурацією 2×(N+M)

Базові події	Умови і обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПМКВС
1	2	3	4	5
Подія 1.0 – «Відмова модуля блока живлення»	$(V1 \geq N) \text{ AND } (V5=1)$	$V1 \times \lambda_{\text{ВМ}} \times K_{\text{Н}}$	1	$V1 := V1 - 1$
	$(V2 \geq N) \text{ AND } (V5=1)$	$V2 \times \lambda_{\text{ВМ}} \times K_{\text{Н}}$	1	$V2 := V2 - 1$
Подія 2.0 – «Завершення розряджання акумуляторів»	$(V3 > 0) \text{ AND } ((V5 = 0) \text{ OR } ((V1 < N) \text{ AND } (V2 < N)))$	$\lambda_{\text{РПА}} / V3$	$((S_{\text{Ц}} - 1) / S_{\text{Ц}})$	$V4 := V4 + V3; V3 := 0$
			$(1 / S_{\text{Ц}})$	$V3 := 0$
Подія 3.0 – «Відмова акумулятора»	$V3 > 0$	$V3 \times \lambda_{\text{А}}$	1	$V3 := V3 - 1$
	$V4 > 0$	$V4 \times \lambda_{\text{А}}$	1	$V4 := V4 - 1$
Подія 4.0 – «Завершення заряджання акумуляторів»	$(V4 > 0) \text{ AND } (V5=1)$	$1 / T_{\text{ЗА}}$	1	$V3 := V3 + V4; V4 := 0$
Подія 5.0 – «Відновлення несправного модуля блока живлення»	$(V1 < (N+M)) \text{ AND } (V6=1)$	$1 / T_{\text{РМ}}$	$((S_{\text{Р}} - 1) / S_{\text{Р}})$	$V1 := V1 + 1$
			$(1 / S_{\text{Р}})$	$V1 := V1 + 1; V6 := 0$

1	2	3	4	5
	$((V2 < (N+M))$ AND $(V1=(N+M)))$ AND $(V6=1)$	$1 / T_{PM}$	$((S_p - 1) / S_p)$ $(1 / S_p)$	$V2:=V2+1$ $V2:=V2+1; V6:=0$
Подія 6.0 – «Заміна несправного акумулятора»	$((V3+V4) < K_a)$ AND $(V5=1)$	$1 / T_A$	$((S_A - 1) / S_A)$ $(1 / S_A)$	$V4:=V4+1$ $V4:=V4+1; V7:=0$
Подія 7.0 – «Зникнення напруги в електромережі»	$V5=1$	$1 / T_{П}$	1	$V5:=0$
Подія 8.0 – «Поява напруги в електромережі»	$V5=0$	$1 / T_{НП}$	1	$V5:=1$

7. Розв'язання задачі надійнісного проектування з використанням розроблених моделей.

Під час надійнісного проектування ВС для ДБЕЖ потрібно розв'язати ряд задач, серед яких, насамперед, виділяються такі:

- визначення параметрів вибраної (заданої) конфігурації відмовостійкої системи за заданого значення показника надійності (наприклад, тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ);
- обґрунтування вибору конфігурації відмовостійкої системи для ДБЕЖ;
- визначення стратегії технічного обслуговування та її параметрів при заданих конфігурації ВС і значенні показника надійності ДБЕЖ (наприклад, тривалості безвідмовної роботи).

Подані вище моделі можуть бути корисними для розв'язання перелічених задач на різних етапах «життя» радіоапаратури:

- при проектуванні, як інструмент для визначення і оптимізації параметрів (наприклад, за критерієм мінімуму затрат) конфігурації ВС для забезпечення заданих вимог до надійності;
- на виробництві, як інструмент для оцінки відхилення показника надійності при зміні комплектації ДБЕЖ (параметрів комплектуючих елементів);
- в експлуатації, як інструмент для оцінки відхилення показника надійності при зміні стратегії та параметрів технічного обслуговування ДБЕЖ.

Отже, розглянемо приклад розв'язання задачі, сформульованої нижче.

Вибір конфігурації ВС, що передбачає використання надлишковості, а також параметрів ТО, характеризується економічними витратами. Тому актуальною є задача визначення параметра ТО (тривалості ремонту) для різних конфігурацій ВС за однакових значень показника надійності ДБЕЖ (тривалості безвідмовної роботи). Це дасть можливість кількісно відповісти на питання про те, що економічно вигідніше при експлуатації ДБЕЖ: вибір конфігурації ВС з більшою надлишковістю і нижчими вимогами до ТО чи, навпаки, – вибір конфігурації ВС з меншою надлишковістю, але з вищими вимогами до ТО.

На першому етапі знайдемо значення показників надійності ВС ДБЕЖ з конфігураціями $N+1$ та $2 \times (N+1)$ за різних значень тривалості ремонту. Значення інших параметрів моделі подано у табл. 3, де K_A – початкова кількість акумуляторів. Результати дослідження подані у табл. 4 та на рис. 1 (де T_{PM} – середнє значення тривалості ремонту модуля; T_{N+1} – середнє значення тривалості безвідмовної роботи для ВС з конфігурацією $N+1$; $T_{2(N+1)}$ – середнє значення тривалості безвідмовної роботи для ВС з конфігурацією $2 \times (N+1)$).

На наступному етапі для ВС з конфігурацією $N+1$ визначимо нові значення тривалості ремонту модуля, за яких показники надійності цієї ВС наближаються до показників надійності ДБЕЖ з конфігурацією $2 \times (N+1)$. Результати цього дослідження наведено в табл. 5, де $T_{2(N+1)}$ – значення тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ з конфігурацією $2 \times (N+1)$ з табл. 4; $T_{(N+1)}^*$ – значення тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ з конфігурацією $(N+1)$, при нових значеннях тривалості ремонту модуля; T_{PM}^* – нові значення тривалості ремонту модуля.

Таблиця 3

Параметри моделі відмовостійкої системи

N	M	$\lambda_{BM}, 1/\text{год.}$	S_{Π}	$T_{3A}, \text{год.}$	$I_{PFA}, 1/\text{год.}$	$\lambda_A, 1/\text{год.}$	S_P	S_A	K_A
2	1	$2e-4$	300	5	0.33	$5e-4$	20	10	2

Таблиця 4

Значення тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ за різних значень тривалості ремонту модуля

$T_{PM}, \text{год.}$	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
$T_{N+1}, \text{год.}$	13635	11767	10564	8853	7950	7390	7000
$T_{2(N+1)}, \text{год.}$	55655	52120	48100	38446	31327	26506	23220
$T_{PM}, \text{год.}$	4000	5000	6000	7000	8000	9000	$1,00E+05$
$T_{N+1}, \text{год.}$	6524	6229	6030	5886	5770	5686	5618
$T_{2(N+1)}, \text{год.}$	19222	16975	15563	14610	13926	13416	13020

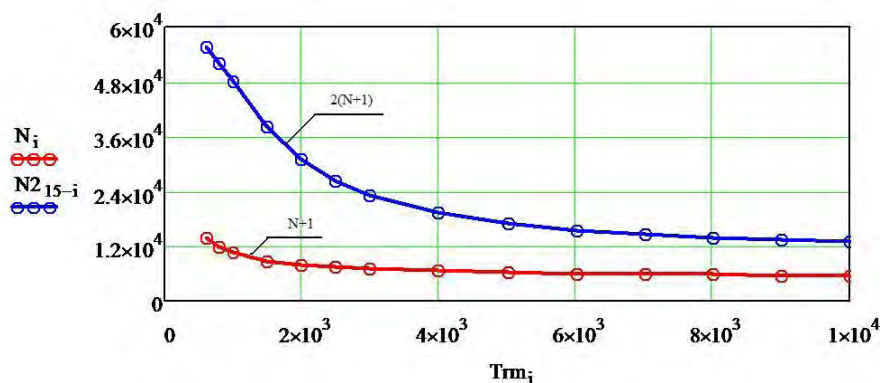


Рис. 1. Залежність тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ від тривалості ремонту для двох конфігурацій відмовостійкої системи

Таблиця 5

Умови рівноцінної надійності ДБЕЖ з конфігураціями N+1 та $2 \times (N+1)$

$T_{PM}^*, \text{год.}$	0.167	7	20	60	115	170	220
$T_{(N+1)}, \text{год.}$	54570	52136	48025	38823	31092	26228	23151
$T_{2(N+1)}, \text{год.}$	55655	52120	48100	38446	31327	26506	23220
$T_{PM}^*, \text{год.}$	315	400	470	520	580	610	650
$T_{(N+1)}, \text{год.}$	19231	16926	15522	14707	13881	13518	13079
$T_{2(N+1)}, \text{год.}$	19222	16975	15563	14610	13926	13416	13020

У табл. 6 подано частки нових значень параметра ТО, які вони становлять від попередніх значень (з табл. 3), у відсотках.

Таблиця 6

Частки нових значень тривалості ремонту від первинних

T_{PM}^*	0.167	7	20	60	115	170	220	315	400	470	520	580	610	650
$\frac{T_{PM}^*}{T_{PM}}$ 100%	0.02778	0.88	2	4	5.75	6.8	7.3	7.875	8	7.83	7.42857	7.25	6.8	6.5

За результатами розв'язаної задачі роблять висновок про те, що зміною вимог до ремонтного органу для ДБЕЖ з конфігурацією (N+1), що має менше надлишковості, в деяких випадках можна

досягти рівноцінного значення показника надійності (тривалості безвідмовної роботи), як у джерела, що має більше надлишковості ($2 \times (N+1)$) (при заданих в табл. 3 параметрах відмовостійкої системи). Після цього, знаючи економічні параметри для блока живлення і ремонтної служби, варто провести аналіз на предмет визначення кращої конфігурації відмовостійкої системи за критерієм мінімальних затрат із забезпеченням вимог до надійності. В такому випадку задача зводиться до вибору з двох варіантів реалізації ВС того, який характеризується нижчими економічними затратами, за однакових значень показника їх надійності.

Для отримання розрахункових формул оцінки витрат скористаємося підходом, описаним у монографії [9]. В розрахункових формулах використаємо такі параметри: N – кількість модулів у основній конфігурації ДБЕЖ; C_1 – ціна одного модуля; c_A – загальні питомі витрати на акумулятори та їх обслуговування; T – середнє значення тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ; c_B – питомі витрати на ТО одного модуля ДБЕЖ (на одиницю робочого часу) за нижчих вимог до ТО (тобто для ДБЕЖ з більшою надлишковістю); c_B^* – питомі витрати на ТО одного модуля ДБЕЖ (на одиницю робочого часу) за посилених вимог до ТО (тобто для ДБЕЖ з меншою надлишковістю). Питомі витрати для ДБЕЖ з конфігурацією $N+1$ з новими значеннями тривалості ремонту визначаються за формулою:

$$c_{N+1} = (N + 1) \times \left(\frac{C_1}{T} + c_B^* \right) + c_A. \quad (1)$$

Питомі витрати для ДБЕЖ з конфігурацією $2 \times (N+1)$ з первинними значеннями тривалості ремонту модуля знайдемо за формулою:

$$c_{2(N+1)} = 2 \times (N + 1) \times \left(\frac{C_1}{T} + c_B \right) + c_A. \quad (2)$$

Отже, питомий вигреш (або витрати) можна розрахувати за такою формулою:

$$\begin{aligned} c_p \approx c_{2(N+1)} - c_{(N+1)} &= 2 \times (N + 1) \times \left(\frac{C_1}{T} + c_B \right) + c_A - \left((N + 1) \times \left(\frac{C_1}{T} + c_B^* \right) + c_A \right) = \\ &= (N + 1) \times \left(\frac{C_1}{T} + 2 \times c_B - c_B^* \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Загальний вигреш або витрати визначаються за такою формулою:

$$C_p = c_p \times T. \quad (4)$$

8. Висновок. Розроблені надійнісні моделі відмовостійких систем для джерел безперебійного електроживлення дають змогу розв'язувати задачі, які є актуальними під час їх проектування. Моделі є для проєктанта 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 джерела безперебійного електроживлення для заданого значення показника його надійності. Моделі дають змогу на підставі економічних показників витрат оптимізувати конфігурацію ВС за критерієм максимуму надійності за мінімуму затрат або виконати аналіз для вибору найкращого варіанта із множини заданих.

1. Орлов С. ИБП в инфраструктуре ЦОД // Журнал сетевых решений / LAN. – 2007. – № 12. – Режим доступу: <http://www.osp.ru/lan/2007/12/4659671>. 2. Электроснабжение центра обработки данных (ЦОД) // Режим доступу: http://www.policom.ru/solution/engineering/power.php?sphrase_id=2533479. 3. Теория вероятностей: резервирование и время безотказной работы ЦОД. – Режим доступу: <http://telecomblogger.ru/5204>. 4. Neil Rasmussen “Effect of UPS on System Availability” – APC–2004. – Режим доступу: http://www.apcmedia.com/salestools/SADE-5TNQYY_R3_EN.pdf. 5. Tier datacenter — уровни надежности дата-центра // Режим доступу: <http://dcnt.ru/?p=22>. 6. Волочий Б.Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2004. – 220 с. 7. Неплохов И., Басов И. Электроснабжение первой

категории надежности и новая нормативная база по пожарной безопасности, 2009. – Режим доступа: <http://articles.security-bridge.com/articles/101/12681/> 8. Маккарти К. Сравнение различных схематических конфигураций систем ИБП – APC. – 2004. – Режим доступа: http://www.apcmedia.com/salestools/SADE-5TPL8X_R0_RU.pdf 9. Креденцер Б.П., Ленков С.В., Міночкін А.І., Могилевич Д.І., Резніков М.І. Технічне обслуговування систем з почасовою надмірністю. – К.: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2009. – 172 с.

УДК 621.396.6.019.3+519.87

Б.Ю. Волочій, Л.Д. Озірковський, М.М. Змисний, О.В. Муляк
Національний університет “Львівська політехніка”

МОДЕЛІ ВІДМОВОСТІЙКОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРЬОХ МАЖОРИТАРНИХ СТРУКТУР, ВКЛАДЕНИХ У МАЖОРИТАРНУ СТРУКТУРУ, ДЛЯ РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАДАЧ НАДІЙНІСНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

© Волочій Б.Ю., Озірковський Л.Д., Змисний М.М., Муляк О.В., 2012

Розглянуто відмовостійку систему з використанням трьох мажоритарних структур, вкладених у мажоритарну структуру, граничну працездатність яких визначають два правила: в першому випадку відмовостійка система зберігає працездатність, якщо залишились справними 2 ядра з 3; в другому випадку відмовостійка система зберігає працездатність, коли залишилось справним 1 ядро з 3. Така відмовостійка система використовується в практиці проектування необслуговуваних програмно-апаратних радіоелектронних засобів відповідального призначення. Продемонстровано можливості використання розроблених моделей відмовостійкої системи для розв’язання задач надійнісного проектування.

Ключові слова: надійність, відмовостійка система, мажоритарна структура, програмно-апаратні засоби.

This paper is considered the fault-tolerant system with using three majority structures nested in the majority structure, the limiting efficiency of which define two rules: the first case a fault-tolerant system have efficiency when the two cores of 3 are operable; in the second case a fault-tolerant system has efficiency when one core of 3 is operable. This fault-tolerant system is using in the practice of designing of without maintenance hardware and software radioelectronic systems of responsible appointment. The possibilities of using the developed models of fault tolerant systems for solving problems of reliability designing are demonstrated.

Key words: reliability, fault-tolerant system, majority structure, hardware and software systems.

Постановка задачі. Сьогодні питання надійності сучасних необслуговуваних програмно-апаратних радіоелектронних засобів (РЕЗ) стоїть дуже гостро. Висока відповідальність виконуваних ними функцій, розширення умов експлуатації, їх ускладнення зумовлюють підвищені вимоги до надійності таких РЕЗ. Найважливішим в забезпеченні надійності РЕЗ є підвищення їх безвідмовності під час експлуатації. Тому на етапі системотехнічного проектування важливим є вибір відмовостійкої системи (ВС), яка б забезпечила необхідну надійність РЕЗ.

Для забезпечення високого рівня надійності програмно-апаратних РЕЗ відповідального призначення в роботах [1, 2] показано структурну схему ВС з використанням мажоритарних структур, вкладених у мажоритарну структуру, яку в цих публікаціях називають "ВС з паралельно-