

УДК 621.39

І.М.Яремко, В.В.Турупалов, І.О.Молоковський

ІМОВІРНІСНІ ХАРАКТЕРІСТИКИ ЦЕНТРІВ ОБРОБКИ ДАНИХ І РЕЗЕРВУВАННЯ

Анотація

У статті досліджені характеристики рівнів надійності центрів обробки даних в телекомунікаційних системах. Зроблені висновки про рівень резервування обладнання центрів обробки даних.

Ключові слова: центр обробки даних, рівень надійності, резервування устаткування

Abstract

Probabilistic characteristics of data centers and backup. Article characteristics were investigated levels of reliability data centers in telecommunication systems. Conclusions about the level of backup data center equipment.

Keywords: data center, level of reliability, backup equipment.

Вступ. Одним з найважливіших аспектів проєктування й експлуатації центрів обробки даних (ЦОД) є забезпечення їх надійності. Практичний досвід показує, що в більшості випадків доцільніше витратити додаткові кошти на забезпечення необхідної надійності створеної системи, ніж зазнавати втрат від низької надійності в процесі експлуатації.

Розвиток сучасних інформаційних технологій, заснованих на спільному використанні засобів обчислювальної техніки й телекомунікацій, зробило життєво необхідними для функціонування багатьох сфер діяльності (державне керування, оборона, фінанси, промисловість, транспорт, медицина) тощо. Це обумовлює необхідність забезпечення високої надійності інформаційно-керуючих систем і мереж. По оцінках ряду фахівців збитки від відмов у них можуть досягати декількох мільйонів доларів у годину. У разі випадків низька надійність може привести до катастрофічних наслідків.

Надійність, узята окремо, ще не означає технічної досконалості, однак якщо система не має необхідну надійність, то всі інші показники якості втрачають своє значення, оскільки за низької надійності система не може повною мірою виконувати свої функції [1].

Щоб підтримувати надійність роботи центрів обробки даних, у стандартах ТІА/EIA-942 специфікуються рівні експлуатаційної готовності, і перелічуються заходи, що забезпечують функціонування встаткування ЦОД з урахуванням характеристик того або іншого рівня [2].

Відомо, що кожне устаткування має такі характеристики, як ресурс, час безвідмовної роботи й середня тривалість простою за рік використання. Іншого боку, рівні надійності ЦОД (Tier), будучи однією з основних характеристик ЦОД, залежать від часу простою за рік. Саме від тривалості простою залежить успішність бізнесу компанії і її непередбачені збитки.

При побудові ЦОД вкладають кошти для реалізації тієї або іншої схеми резервування з метою скоротити час простою й, отже, скоротити й збитки від простоїв.

Схема резервування відсутня: N. У цьому випадку жодна система не резервується (Tier 1) і простій кожної одиниці устаткування означає простій усього ЦОД. Загальний простій ЦОД за рік становить 28.8год (Коефіцієнт відмовостійкості - 99,671%). Ця схема була характерна для ЦОД 60-70х років минулого століття й повністю зжила себе на цей момент через граничну збитковість.

Схема резервування N+1. Схема резервування N+1 найпоширеніша на сьогоднішній день. Згідно з нею, до N робочих одиниць додається одна резервна. Тут завжди важливо правильно визначити значення N. Розглянемо цей аспект, умовно прийнявши, що штатний простій однієї одиниці устаткування становить S0 годин у рік ймовірність відмови рівна:

$$P0 = \frac{S}{24 \cdot 365 \cdot 24} = \frac{S}{8760}$$

Очевидно, якщо N=0, то час простою в рік S(N=0)=S0, а ймовірність відмови P(N=0)=S/8760=P0. Якщо N=1, то ймовірність відмови відповідно до випадку, коли одночасно не працюють обидві одиниці устаткування P(N=1)=P1=P0·P0, S(N=1)=S1=P0·P0·8760.

При N>2 система непрацездатна, якщо одночасно відключилося менше двох будь-яких одиниць устаткування. Таким чином, у випадку N

повинні відключитися (1 і 2), (2 і 3), (1 і 3) одиниці устаткування (ймовірність кожної події рівна P1=P0·P0, за умови працездатності третьої одиниці (ймовірність 1-P0) або всі три (1, 2 і 3) разом (ймовірність рівна P0·P0·P0). Одержуємо наступну ймовірність відмови системи:

$$P = 3 \cdot P0 \cdot P0 \cdot (1 - P0) + P0 \cdot P0 \cdot P0$$

Для N=3 маємо три випадки відмови:

- вийшли з ладу будь-які дві одиниці устаткування (шість варіантів з ймовірністю P1=P0·P0 кожний) за умови працездатності, що залишилися двох одиниць (ймовірність (1-P0)·(1-P0)),

- вийшли з ладу будь-які три одиниці встаткування (чотири варіанти ймовірністю P0·P0·P0 кожний) за умови працездатності, що залишився одиниці (ймовірність 1-P0),

- вийшли з ладу всі чотири одиниці встаткування (ймовірність P0·P0·P0·P0).

Таким чином, підсумкова ймовірність

$$P3 = 6 \cdot P0 \cdot P0 \cdot (1 - P0) + 4 \cdot P0 \cdot P0 \cdot P0 \cdot (1 - P0) + P0 \cdot P0 \cdot P0 \cdot P0$$

Тобто існує й загальна формула для будь-якого N, що складається з N доданків. Однак, можна відзначити, що, через малість P0, перший доданок найбільш великий, а інші практично не дають внеску в підсумкову ймовірність. Таким чином, небагато втративши в точності можна скоротити число доданків до одного - першого. Тоді:

$$P1 = P0 \cdot P0$$

$$P2 \approx 3 \cdot P0 \cdot P0 \cdot (1 - P0)$$

$$P3 \approx 6 \cdot P0 \cdot P0 \cdot (1 - P0) \cdot (1 - P0)$$

.....

$$PN \approx C(N + 1, 2) \cdot P0^2 \cdot (1 - P0)^{N-1}$$

де C(2,N+1) - кількість варіантів вибірки 2 елементів із N+1,

$$C(N + 1, 2) = \frac{(N + 1)!}{2! \cdot (N - 1)!} = \frac{(N + 1)!}{2 \cdot (N - 1)!} = N \cdot \frac{(N + 1)}{2}$$

Отже,

$$P(N) \approx N \cdot (N + 1) \cdot P0^2 \cdot \frac{(1 - P0)^{N-1}}{2}$$

$$S(N) = P(N) \cdot 8760$$

Розглянемо приклад. Штатний простій устаткування в рік становить 20 годин. Який буде простій устаткування без резервування й при схемі резервування N+1 з різними N? У цьому випадку S0=20, P0=20/8760=0.0023=0.23%. Використовуючи формулу для P(N) заповнюємо табл. 1.

Висновок. Ймовірність відмови й час простою на порядок нижче при використанні схеми резервування N+1, ніж при відсутності резерву зовсім.

Однак, ймовірність відмови й час простою росте з ростом N, тобто з ростом загального числа елементів у системі, причому далі - швидше. Тим виконується принцип "чим складніше система, тим вона менш надійна".

При $N \leq 7$ (а саме це найпоширеніший варіант) можна прийняти збільшення числа робочих одиниць устаткування на одну збільшує час простою на 10 хвилин у рік.

Таблиця 3

Залежність характеристик надійності системи від конфігурації

Конфігурація, N	Ймовірність відмови, %	Час простою за рік, год
1	0.23%	20
1+1	0.0005%	0.046
2+1	0.0016%	0.137
3+1	0.0031%	0.273
4+1	0.0052%	0.454
5+1	0.0077%	0.679

Схема резервування 2N. Згідно зі схемою резервування 2N кожний елемент системи дублюється аналогічним. Передбачається, що час устаткування входить до складу однієї.

Система вважається непрацездатною у випадку виходу з ладу (N+1) одиниць устаткування. Для ймовірності відмови можна одержати наступні формули:

$$P1 = P0 \cdot P0,$$

$$P2 \approx 4 \cdot P0^2 \cdot (1 - P0),$$

$$P3 \approx 15 \cdot P0^3 \cdot (1 - P0)^2,$$

.....

$$P(N) \approx C(2N, N+1) \cdot P0^N \cdot (1 - P0)^{N-1},$$

де $C(2N, N+1)$ - кількість варіантів вибірки N+1 елементів з 2N (комбінація з 2N по N+1),

$$C(2N, N+1) = \frac{(2N)!}{(N+1)! \cdot (N-1)!}$$

Таким чином,

$$P(N) \approx 2N! \cdot P0^N \cdot \frac{(1 - P0)^{N-1}}{(N+1)! \cdot (N-1)!}$$

$$S(N) = P(N) \cdot 8760.$$

Розглянемо приклад. Який буде простій устаткування без резервування при схемі резервування 2N при $S0=20$ год? Використовуючи формулу для $P(N)$ заповнюємо табл.3.

Таблиця 3

Залежність характеристик надійності системи від конфігурації

Конфігурація	Ймовірність відмови, %	Час простою за рік
1	0.23%	20 год
1+1	0.0005%	0.046 год = 164с
2+2	$4.7 \cdot 10^{-6}$ %	1.5с
3+3	$4.0 \cdot 10^{-8}$ %	0.013с
4+4	$3.5 \cdot 10^{-10}$ %	0.0001с
5+5	$2.9 \cdot 10^{-12}$ %	0.000001с

Висновок. Ймовірність відмови й час простою на порядок нижче при використанні схеми резервування N+1, ніж при відсутності резерву зовсім. Причому з підвищенням N відмовостійкість зростає, а тривалість простою падає в середньому в 100 раз при збільшенні N на одиницю. Цією властивістю схема резервування 2N принципово відрізняється від N+1.

Схема резервування 2(N+1). Дана схема відповідає Tier IV. Тут передбачається, що є система зі схемою N+1, повністю зарезервована. Саме такий підхід декларує Tier IV.

Таблиця 4

Залежність характеристик надійності системи від конфігурації

Конфігурація	Ймовірність відмови, %	Час простою за рік
1	0.23%	20ч
2(1+1)	$2.7 \cdot 10^{-9}$ %	0.0009сек
2(2+1)	$2.4 \cdot 10^{-8}$ %	0.008сек
2(3+1)	$9.7 \cdot 10^{-8}$ %	0.03сек
2(4+1)	$2.7 \cdot 10^{-7}$ %	0.08сек
2(5+1)	$6.0 \cdot 10^{-7}$ %	0.2сек

Система непрацездатна, якщо вийшли з ладу 2 одиниці устаткування в одній системі й 2 - в іншій. Інакше кажучи, система непрацездатна, коли непрацездатні обидві вхідні в неї системи. Отже, ймовірність відмови схеми 2(N+1) дорівнює ймовірності відмови схеми N+1, помноженої на себе ж.

$$P_{2(N+1)}(N) = P_{N+1}(N)^2,$$

$$S_{2(N+1)}(N) = P_{2(N+1)}(N) \cdot 8760.$$

Який буде простій устаткування без резервування і при схемі резервування 2N при $S0=20$ год? Використовуючи формулу для $P(N)$ заповнюємо таблицю 4.

Висновок: Імовірність відмови й час простою на порядок нижче при використанні схеми резервування $2(N+1)$, ніж при $N+1$ і тим більше відсутності резерву зовсім. Час простою при схемі $2(N+1)$ мізерний і зростає зі збільшенням N . Узагальнені результати зведені до табл.5.

Таблиця 5

Загальна таблиця відмовостійкості різних схем резервування

N	Схеми резервування							
	N		N+1		2N		2(N+1)	
	Імовірність відмови	Імовірність відмови	Імовірність відмови	Імовірність відмови	Імовірність відмови	Імовірність відмови	Імовірність відмови	Імовірність відмови
1	0.23%	20 год	0.0005%	0.046 год	0.0005%	0.046 год = 164 с	$2.7 \cdot 10^{-9}$ %	0.0000
2	0.46%	39.9 год	0.0016%	0.137 год	$4.7 \cdot 10^{-6}$ %	1.5 с	$2.4 \cdot 10^{-8}$ %	0.0000
3	0.68%	59.7 год	0.0031%	0.273 год	$4.0 \cdot 10^{-8}$ %	0.013 с	$9.7 \cdot 10^{-8}$ %	0.0000
4	0.90%	79.5 год	0.0052%	0.454 год	$3.5 \cdot 10^{-10}$ %	0.0001 с	$2.7 \cdot 10^{-7}$ %	0.0000
5	1.13%	99.1 год	0.0077%	0.679 год	$2.9 \cdot 10^{-12}$ %	0.000001 с	$6.0 \cdot 10^{-7}$ %	0.0000
6	1.35%	118.6 год	0.0108%	0.948 год	$2.5 \cdot 10^{-14}$ %	$0.8 \cdot 10^{-8}$ с	$1.2 \cdot 10^{-6}$ %	0.0000
7	1.58%	138.1 год	0.0144%	1.261 год	$2.1 \cdot 10^{-16}$ %	$0.7 \cdot 10^{-10}$ с	$2.1 \cdot 10^{-6}$ %	0.0000
8	1.80%	157.5 год	0.0185%	1.618 год	$1.9 \cdot 10^{-18}$ %	$0.6 \cdot 10^{-12}$ с	$3.4 \cdot 10^{-6}$ %	1.0000
9	2.02%	176.7 год	0.0230%	2.018 год	$1.7 \cdot 10^{-20}$ %	$0.5 \cdot 10^{-14}$ с	$5.3 \cdot 10^{-6}$ %	1.6000
10	2.24%	195.9 год	0.0281%	2.460 год	$1.4 \cdot 10^{-22}$ %	$0.5 \cdot 10^{-16}$ с	$7.9 \cdot 10^{-6}$ %	2.4000

Висновки

В результаті аналізу рівнів надійності ЦОД найголовнішою відмінністю між схемою резервування $2N$ і схем $N+1$ і $2(N+1)$ є той факт, що підвищенням числа робочих одиниць устаткування (тобто з підвищенням N), обидві останні схеми погіршують доступність системи в цілому, а $2N$ збільшує її, причому дуже швидкими темпами (знижуючи час простою в 1 раз при росту N на одиницю). Але слід пам'ятати, що схеми $N+1$ і $2N$, на відміну від $2(N+1)$ не резервують систему в цілому, а тому не виключають небезпеку аварії на ділянці між зарезервованими елементами системи.

1. Г. И. Черкесов Надежность аппаратно-програмных комплексов/ Учебное пособие 1-е издание, Санкт-Петербург, 2004г.
2. Телекоммуникационная инфраструктура центров обработки данных, Стандарт ИА-942, редакция 7.0, февраль 2005

Поступила 17.02.201

ПОЛЬОВА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТУРБОГЕНЕРАТОРА З ЕКВІВАЛЕНТОВАНИМИ ЗУБЦЕВИМИ ЗОНАМИ СТАТОРА І РОТОРА

In paper the simplified field mathematical model of the turbogenerator, in which tooth zones of the stator and rotor equivalent by continuous anisotropic medium is proposed.

Вступ

Побудова польових математичних моделей електротехнічних пристроїв, надалі залишається актуальною задачею, оскільки відкриває нові можливості для дослідження електромагнітних процесів, що протікають в них.

Складність і громіздкість алгоритмів, низка нерозв'язаних теоретичних питань, тривалість комп'ютерних розрахунків та проблеми пов'язані зі стійкістю розв'язків, на сьогодні, вже не є непереборною перешкодою для розробки найбільш потужного і досконалого інструменту вивчення фізичних явищ в електротехнічних об'єктах (і не тільки електромагнітних) – польових математичних моделей.

Основною перевагою польових моделей є точність опису електромагнітних процесів у пристроях, що залежить від прийнятих при їх побудові допущень.

Найбільш необхідні на практиці тривимірні польові моделі. Розробити такі моделі без розв'язання теоретичних і алгоритмічних проблем, які виникають при побудові двовимірних моделей, складно. Точність двовимірних моделей визначається не тільки допущеннями, прийнятими для методів теорії поля, але і тих допущень, які привносяться в модель з теорії електромагнітних кіл.

У двовимірних моделях завжди присутні деякі абстрактні коефіцієнти з теорії кіл (індуктивності розсіяння обмоток і т. д.), від значень яких у значній мірі залежить результуюча точність розробленої моделі. Цього недоліку позбавлені тривимірні моделі.

Загальні підходи до побудови польових моделей турбогенератора та деякі результати розрахунків режиму холостого ходу приведено в роботах [1, 2].

Запропонована стаття є логічним продовженням вказаних робіт, у якій більш детально розглядаються особливості побудови польових моделей турбогенератора та складності, які при цьому виникають.

Досвід розробки польових математичних моделей електромеханічних пристроїв, алгоритмів розрахунку та аналіз результатів комп'ютерного симулювання показують, що створення єдиної польової математичної моделі турбогенератора, призначеної для розрахунку всеможливих режимів роботи ре-