

С.В. Щербовських, В.Я. Білас, Т.О. Стефанович
Національний університет «Львівська політехніка»

ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОВІДНОГО КЕРУЮЧОГО КАНАЛУ ІЗ ТРИКРАТНИМ РЕЗЕРВУВАННЯМ ДЛЯ СПІЛЬНОЇ, РОЗДІЛЬНОЇ ТА КОМБІНОВАНОЇ КАБЕЛЬНИХ ОБОЛОНОК

О Щербовських С.В., В.Я. Білас, Стефанович Т.О., 2021

Мета. Розробити підхід для кількісного оцінювання показників надійності провідного керуючого каналу із трикратним резервуванням для спільної, комбінованої та роздільної кабельних оболонок. **Методика.** Надійність формалізовано за допомогою блок-схем та динамічних дерев відмов. Для обчислення показників надійності провідного керуючого каналу із трикратним резервуванням розроблено статичні та динамічні моделі. Основою для отримання цих моделей є діаграма станів та переходів. Статичні моделі сформовано на основі логіко-ймовірнісних виразів. Динамічні моделі ґрунтуються на принципах марковського аналізу. **Результати.** Для інтенсивності руйнування жил, яка вища за інтенсивність руйнування кабельної оболонки, показано, що роздільна кабельна оболонка забезпечує найвищу надійність, а спільна кабельна оболонка – найнижчу. Відповідно, комбінована кабельна оболонка за надійністю посідає проміжну позицію із незначним наближенням до показників роздільної. Показники надійності, які обчислено за статичними моделями, в усіх трьох випадках занижені у порівнянні із показниками, обчисленими за динамічними моделями. Хоча статичні моделі дають меншу точність, однак вони не вимагають побудови громіздких марковських моделей. **Наукова новизна.** Удосконалено підхід для моделювання надійності керуючих каналів із трикратним резервуванням жили для випадків роздільної, комбінованої та спільної оболонок. **Практична значущість.** Запропонований підхід рекомендується використовувати для оцінювання надійності під час проектування технологічного обладнання, функціонування якого може становити небезпеку для життя та здоров'я обслуговуючого персоналу. Отримані результати є математичною основою для дослідження надійності провідного кабельного каналу із трьома жилами, які захищено армуванням та кабельною оболонкою у різних комбінаціях.

Ключові слова: модель надійності, кабельна оболонка, резервування, блок-схема надійності, динамічне дерево відмов.

Вступ. Постановка проблеми

Дана публікація є продовження циклу праць [1, 2], присвячених проблемам кількісного оцінювання надійності провідних резервованих каналів керування у складі технологічного обладнання. Було розглянуто випадки дублювання і показано, що для захисту жил існує два базових способи застосування кабельних оболонок, а саме роздільна та спільна кабельні оболонки.

У випадку трикратного резервування для створення керуючого каналу використовується три жили, якими передається однаковий сигнал. Для захисту такого каналу за допомогою кабельної оболонки кількість варіантів її розміщення зростає. Крім роздільної та спільної оболонок з'являється новий тип — комбінована оболонка, в якій поєднано властивості попередніх двох. Для роздільної та спільної кабельних оболонок утворюються симетричні структури відносно жил, в той час як для комбінованої — несиметрична.

У результаті постає проблема оцінювання показників надійності керуючого каналу із трикратним резервуванням та визначення місця і впливу комбінованої оболонки серед інших типів оболонок. Дана проблема є актуальною для технічних систем, де дублювання сигналу недостатньо для забезпечення надійності.

Аналіз літературних джерел

Як показав аналіз літературних джерел, для оцінювання надійності кабельних систем використовують декілька підходів. У [3] запропоновано методику тривимірного вимірювання положення оптичного волокна. Положення кожної жили волокна визначають на основі обробки зображення поперечного перерізу, отриманого засобами комп'ютерної томографії. Показники надійності обчислюють за вимірними значеннями механічних деформацій. Подібно до попереднього підходу у [4] запропоновано метод діагностики багатожильних кабелів на основі рефлектометрії. Аналіз проводиться для найслабших ділянок кабельної системи. Відбиті сигнали, отримані засобами рефлектометрії, перетворюються на зображення та аналізуються за допомогою штучних нейронних мереж. Недолік даного підходу полягає у тому, що для таких досліджень необхідно залучати дороговартісне обладнання. Крім того, даний підхід є спеціалізованим та не може бути застосований на етапі проектування. У [5] запропоновано модель надійності старіння кабелю, а також методологію моделювання для визначення пріоритетності його заміни. Запропонована модель надійності поєднує в собі теплову модель, модель старіння Арреніуса та використання розподілу Вейбулла. Після підготовчих обчислень визначення показників надійності виконується із використанням процедури моделювання методом Монте-Карло. Недолік даного підходу полягає у необхідності встановлення для кожної кабельної лінії параметрів теплової моделі та параметрів моделей старіння Арреніуса, а також параметрів розподілу Вейбулла. У [6] запропоновано модель надійності для k -із- n системи із локальним розподілом навантаження. Така модель враховує динамічні процеси, які протікають у кабельній системі на основі використання марковського аналізу. Недоліком даного підходу є відсутність формалізації поставленої проблеми, що ускладнює побудову діаграми станів та переходів системи.

Мета

Розробити підхід для кількісного оцінювання показників надійності провідного керуючого каналу із трикратним резервуванням для спільної, роздільної та комбінованої кабельних оболонок.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі.

1. Формалізувати надійність провідного керуючого каналу із трикратним резервуванням.
2. Побудувати математичні моделі для динамічного та статичного аналізу надійності провідного керуючого каналу із трикратним резервуванням.

Методика проведення досліджень

Розглянемо для трьох випадків структури кабельної оболонки будову перерізу каналу та виокремимо складові, пов'язані із його надійністю. Ґрунтуючись на перерізах каналу, сформуємо для кожного випадку блок-схеми надійності та динамічні дерева відмов. Під надійністю тут розуміємо здатність провідного керуючого каналу зберігати механічну цілісність та забезпечувати можливість передавання сигналів від пульта керування I до технологічного обладнання II під дією зовнішніх руйнівних факторів.

Переріз каналу зі спільною кабельною оболонкою (рис 1а) поділяємо на чотири складові: кабельна оболонка 4 та три однакових жили 1, 2 і 3. Вважаємо, що зовнішні руйнівні фактори не впливають на цілісність усіх жил, поки спільна кабельна оболонка неушкоджена. Після пошкодження спільної кабельної оболонки зовнішні руйнівні фактори впливають на усі три жили каналу одночасно та однаково.

На блок-схемі надійності (рис. 1б) кабельна оболонка 4 позначена основним елементом, а жили 1, 2 і 3 – трьома паралельно з'єднаними елементами, які перебувають у *холодному* резерві.

Як показано на динамічному дереві відмов (рис. 1в) непрацездатність каналу (блок «Top Event») настає після пошкодження усіх трьох жил (блоки «Basic Event 1», «Basic Event 2» та «Basic Event 3») та пошкодження кабельної оболонки (блок «Basic Event 4»). Припущення, що зовнішні руйнівні фактори не впливають на цілісність жил, поки кабельна оболонка неушкоджена, враховано у повторювачі із логічною умовою (блок «Buffer»).

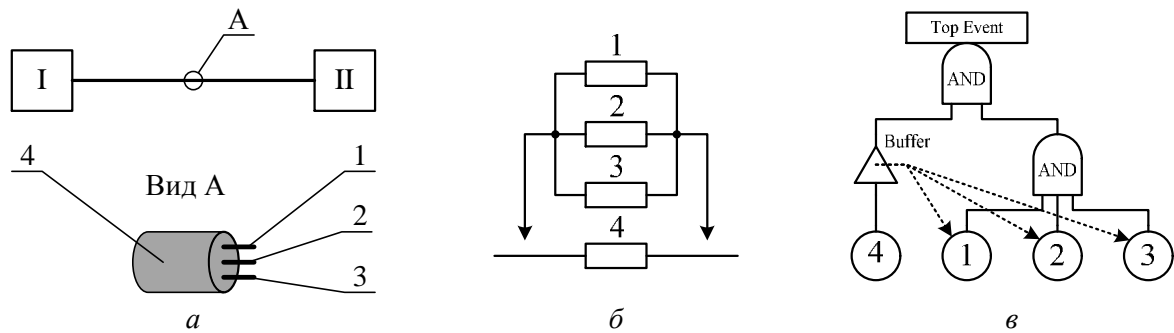


Рис. 1. Модель надійності провідного керуючого каналу із трикратним резервуванням для спільної кабельної оболонки: а) переріз каналу; б) блок-схема надійності; в) динамічне дерево відмов
Fig. 1. Reliability model for wired tripled control channel with common cable jacket: а) channel cross-section; б) reliability block diagram; в) dynamic fault tree

Переріз каналу із комбінованими кабельними оболонками (рис 2а), у порівнянні із попереднім випадком, містить на одну складову більше: 1, 2 – перша та друга жили, 4 – спільна для цих жил кабельна оболонка, 3 – третя жила; 5 – кабельна оболонка третьої жили.

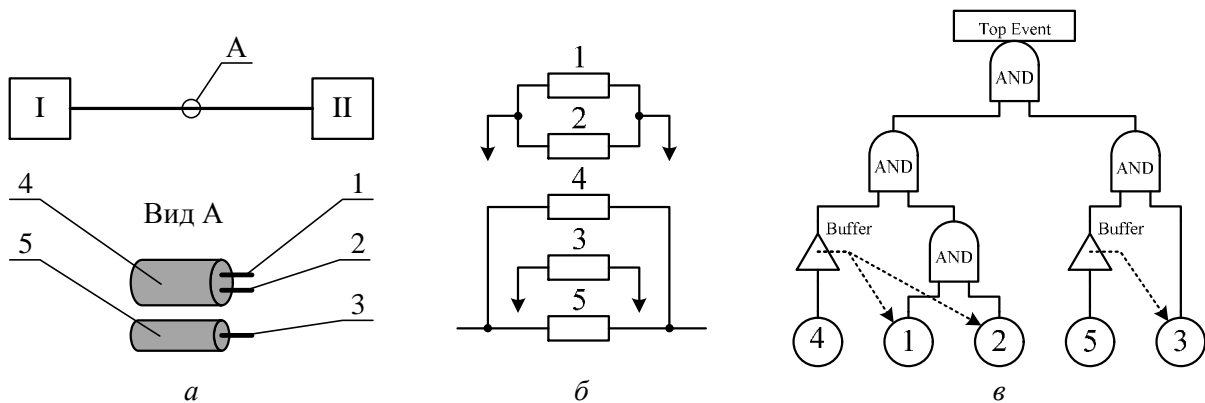


Рис. 2. Модель надійності провідного керуючого каналу із трикратним резервуванням для комбінованої кабельної оболонки:
а) переріз каналу; б) блок-схема надійності; в) динамічне дерево відмов
Fig. 2. Reliability model for tripled control channel with mixed cable jacket: а) channel cross-section; б) reliability block diagram; в) dynamic fault tree

Вважаємо, що зовнішні руйнівні фактори на початку діють одночасно та рівнозначно на обидві кабельні оболонки 4 та 5, однак не впливають на цілісність усіх жил 1, 2, 3. Після пошкодження кабельної оболонки 4 зовнішні руйнівні фактори впливають лише на жили 1 та 2, а після пошкодження кабельної оболонки 5 – лише на жилу 3.

На блок-схемі надійності (рис. 2б) кабельні оболонки 4 та 5 позначено паралельно з'єднаними основними елементами. Паралельно з'єднані жили 1 та 2 перебувають у *холодному* резерві до спільної кабельної оболонки 4, а жила 3 — у *холодному* резерві до кабельної оболонки 5. Пара жил 1 і 2 разом із жилою 3 утворюють *роздільний* несиметричний резерв.

Як показано на динамічному дереві відмов (рис. 2в) непрацездатність каналу (блок «Top Event») настає внаслідок пошкодження обох кабелів. Пошкодження першого кабелю настає внаслідок пошкодження кабельної оболонки 4 (блок «Basic Event 4») та жил 1 і 2 (блоки «Basic Event 1», «Basic Event 2»). Пошкодження другого кабелю настає внаслідок пошкодження кабельної

оболонки 5 (блок «Basic Event 5») та жили 3 (блок «Basic Event 3»). Припущення, що зовнішні руйнівні фактори не впливають на цілісність жил 1, 2, 3, поки кабельні оболонки 4 і 5 неущожені, враховано у повторювачах із відповідними логічними умовами (блоки «Buffer»).

Переріз каналу із розділними кабельними оболонками (рис 3а), у порівнянні із попереднім випадком, містить ще на один елемент більше: 1, 2, 3 – жили каналу; 4, 5, 6 – індивідуальні кабельні оболонки для кожної жили.

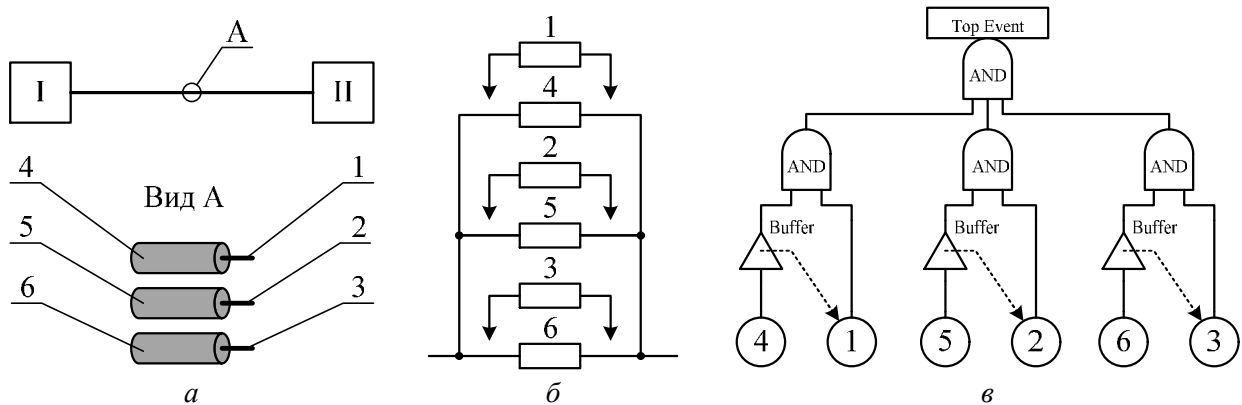


Рис. 3. Модель надійності провідного керуючого каналу із трикратним резервуванням для роздільної кабельної оболонки:

а) переріз каналу; б) блок-схема надійності; в) динамічне дерево відмов

Fig. 3. Reliability model for wired tripled control channel with separate cable jacket:

a) channel cross-section; b) reliability block diagram; c) dynamic fault tree

Вважаємо, що зовнішні руйнівні фактори на початку діють одночасно та рівнозначно на усі три кабельні оболонки 4, 5, 6 і не впливають на цілісність жил 1, 2, 3. Після пошкодження однієї із кабельних оболонок зовнішні руйнівні фактори впливають лише на ту жилу, яку захищала ця кабельна оболонка.

На блок-схемі надійності (рис. 3б) кабельні оболонки 4, 5 та 6 позначено паралельно з'єднаними основними елементами. Жили 1, 2 та 3 перебувають у роздільному *холодному* резерві до відповідних їм кабельних оболонок 4, 5 та 6.

Як показано на динамічному дереві відмов (рис. 3в) непрацездатність каналу, (блок «Top Event»), настає внаслідок пошкодження усіх трьох кабелів. Пошкодження першого кабеля настає внаслідок пошкодження кабельної оболонки 4 (блок «Basic Event 4») та жили 1 (блок «Basic Event 1»), пошкодження другого кабеля – внаслідок пошкодження кабельної оболонки 5 (блок «Basic Event 5») та жили 2 («Basic Event 2»), а пошкодження третього кабеля – внаслідок пошкодження кабельної оболонки 6 («Basic Event 6») та жили 3 (блок «Basic Event 3»). Припущення, що зовнішні руйнівні фактори не впливають на цілісність жил 1, 2, 3, поки кабельні оболонки 4, 5, 6 неущожені, враховано у повторювачах із відповідними логічними умовами (блоки «Buffer»).

Діаграми станів та переходів керуючого каналу побудовано на підставі розроблених блок-схем надійності та динамічних дерев відмов. Стани каналу, які відповідають працездатності, зафарбовано білим, а стани, які відповідають непрацездатності, – сірим. Діаграма станів та переходів може бути використана як для статичного, так і динамічного аналізу. Для проведення статичного аналізу сформуємо логіко-ймовірнісні вирази для кожного стану діаграми. Вважаємо, що ймовірність працездатності кабельної оболонки становить p_2 , а ймовірність працездатності жили p_1 . Ймовірність пошкодження кабельної оболонки та жили означуємо як $q_2 = 1 - p_2$ і $q_1 = 1 - p_1$. Для проведення динамічного аналізу сформуємо переходи між станами та визначимо параметри цих переходів. Вважаємо, що інтенсивність пошкодження кабельної оболонки становить λ_2 , а інтенсивність пошкодження шини – λ_1 .

Діаграму станів та переходів для каналу зі спільною кабельною оболонкою подано на рис. 4а та табл. 1, для каналу зі комбінованою кабельною оболонкою – на рис. 4б та табл. 2, а для каналу зі роздільною кабельною оболонкою – на рис. 4в та табл. 3. Методику побудови діаграм докладно подано у [1].

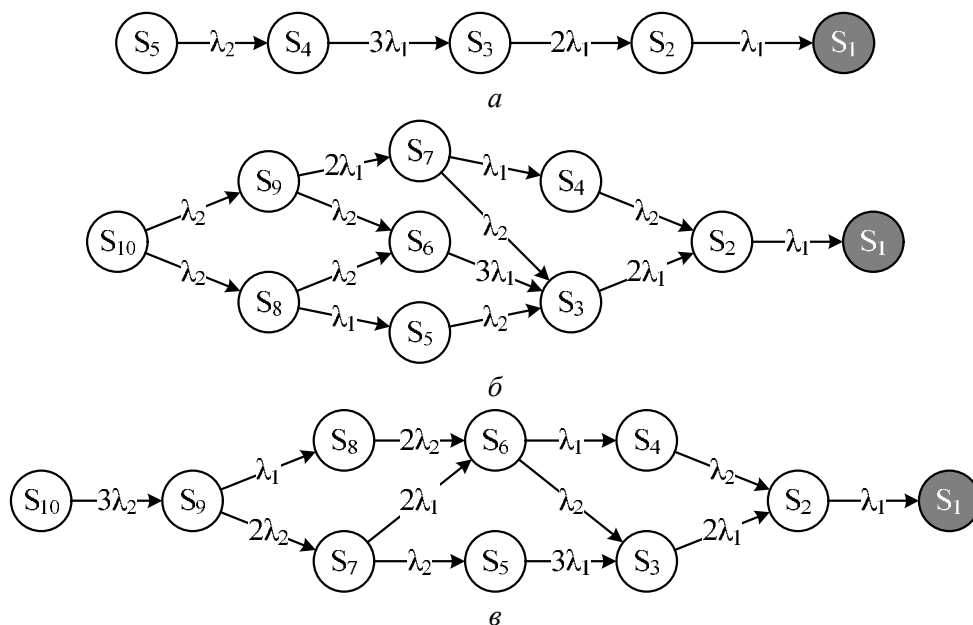


Рис. 4. Діаграма станів та переходів провідного керуючого каналу із трикратним резервуванням: а) для спільної кабельної оболонки; б) для комбінованої кабельної оболонки; в) для роздільної кабельної оболонки

Fig. 4. State and transition diagram for wired tripled control channel: a) with common cable jacket; b) with mixed cable jacket; c) with separate cable jacket

Таблиця 1

Опис станів та переходів керуючого каналу із трикратним резервуванням для спільної кабельної оболонки

Table 1

Description of states and transitions for wired tripled control channel with common cable jacket

Назва/ Номер	Блок-схема	Стани						Переходи	
		Блок «Basic Event»				Блок «Top Event»	Статична ймовірність	Інтенсивність переходу	Назва кінц. стану
		1	2	3	4				
S ₅		1	1	1	1	True	p_2	λ_2	S ₄
S ₄		1	1	1	0	True	$q_2 p_1^3$	$3\lambda_1$	S ₃
S ₃		0	1	1	0	True	$3q_2 q_1 p_1^2$	$2\lambda_1$	S ₂
		1	0	1	0				
		1	1	0	0				
S ₂		1	0	0	0	True	$3q_2 q_1^2 p_1$	λ_1	S ₁
		0	1	0	0				
		0	0	1	0				
S ₁		0	0	0	0	False	$q_2 q_1^3$	–	–

Таблиця 2

**Опис станів та переходів керуючого каналу із трикратним резервуванням
для комбінованої кабельної оболонки**

Table 2

**Description of states and transitions for wired tripled control channel
with mixed cable jacket**


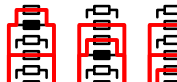

Стани									Переходи	
Назва / Номер	Блок-схема	Блок «Basic Event»					Блок «Top Event»	Статична ймовірність	Інтенсивність переходу	Назва кінц. стану
		1	2	3	4	5				
S ₁₀		1	1	1	1	1	True	p ₂ ²	λ ₂	S ₉
									λ ₂	S ₈
S ₉		1	1	1	0	1	True	p ₂ q ₂ p ₁ ²	2λ ₁	S ₇
									λ ₂	S ₆
S ₈		1	1	1	1	0	True	p ₂ q ₂ p ₁	λ ₂	S ₆
									λ ₁	S ₅
S ₇		1	0	1	0	1	True	2p ₂ q ₂ p ₁ q ₁	λ ₁	S ₄
		0	1	1	0	1			λ ₂	S ₃
S ₆		1	1	1	0	0	True	q ₂ ² p ₁ ³	3λ ₁	S ₃
S ₅		1	1	0	1	0	True	p ₂ q ₂ q ₁	λ ₂	S ₃
S ₄		0	0	1	0	1	True	p ₂ q ₂ q ₁ ²	λ ₂	S ₂
S ₃		1	1	0	0	0	True	3q ₂ ² p ₁ ² q ₁	2λ ₁	S ₂
		1	0	1	0	0				
		0	1	1	0	0				
S ₂		1	0	0	0	0	True	3q ₂ ² p ₁ q ₁ ²	λ ₁	S ₁
		0	1	0	0	0				
		0	0	1	0	0				
S ₁		0	0	0	0	0	False	q ₂ ² q ₁ ³	—	—

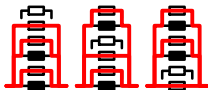
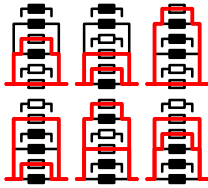


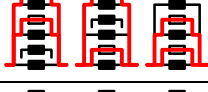
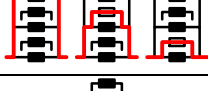

Таблиця 3

**Опис станів та переходів керуючого каналу із трикратним резервуванням
для роздільної кабельної оболонки**

Table 3

**Description of states and transitions for wired tripled control channel
with separate cable jacket**

Стани										Переходи	
Назва / Номер	Блок-схема	Блок «Basic Event»						Блок «Top Event»	Статична ймовірність	Інтенсивність переходу	Назва кінц. стану
		1	2	3	4	5	6				
S ₁₀		1	1	1	1	1	1	True	p_2^3	$3\lambda_2$	S ₉
S ₉		1	1	1	0	1	1	True	$3p_2^2q_2p_1$	λ_1	S ₈
		1	1	1	1	0	1			$2\lambda_2$	S ₇
		1	1	1	1	1	0				
S ₈		0	1	1	0	1	1	True	$3p_2^2q_2q_1$	$2\lambda_2$	S ₆
		1	0	1	1	0	1				

Стани								Переходи			
Назва / Номер	Блок-схема	Блок «Basic Event»						Блок «Top Event»	Статична ймовірність	Інтенсивність переходу	Назва кінц. стану
		1	2	3	4	5	6				
S ₇		1	1	0	1	1	0	True	$3p_2q_2^2p_1^2$	$2\lambda_1$	S ₆
		1	1	1	0	1	0			λ_2	S ₅
		1	1	1	0	0	1				
		1	1	1	0	0	1				
S ₆		0	1	1	0	0	1	True	$6p_2q_2^2q_1p_1$	λ_1	S ₄
		0	1	1	0	1	0				
		1	0	1	0	0	1				
		1	0	1	1	0	0				
		1	1	0	0	1	0			λ_2	S ₃
		1	1	0	1	0	0				
S ₅		1	1	1	0	0	0	True	$q_2^3p_1^3$	$3\lambda_1$	S ₃
S ₄		1	0	0	1	0	0	True	$3p_2q_2^2q_1^2$	λ_2	S ₂
		0	1	0	0	1	0				
		0	0	1	0	0	1				
S ₃		1	1	0	0	0	0	True	$3q_2^3q_1p_1^2$	$2\lambda_1$	S ₂
		1	0	1	0	0	0				
		0	1	1	0	0	0				
S ₂		1	0	0	0	0	0	True	$3q_2^3q_1^2p_1$	λ_1	S ₁
		0	1	0	0	0	0				
		0	0	1	0	0	0				
S ₁		0	0	0	0	0	0	False	$q_2^3q_1^3$	—	—

Результати досліджень та їх обговорення

Статичні та динамічні моделі надійності провідного керуючого каналу із трикратним резервуванням для спільної, комбінованої та роздільної кабельної оболонки сформовано на основі аналізу діаграм станів та переходів. Статичні моделі надійності одержано шляхом додавання ймовірностей (див. табл. 1, 2, 3, стовпчик «Статична ймовірність»), які відповідають працездатним станам. Нижче наведено вирази ймовірності безвідмовної роботи каналу:

- для спільної кабельної оболонки:

$$P_1 = p_2 + q_2p_1^3 + 3q_2q_1p_1^2 + 3q_2q_1^2p_1$$

- для комбінованої кабельної оболонки:

$$P_2 = p_2^2 + p_2q_2p_1^2 + p_2q_2p_1 + 2p_2q_2p_1q_1 + q_2^2p_1^3 + p_2q_2q_1 + p_2q_2q_1^2 + 3q_2^2p_1^2q_1 + 3q_2^2p_1q_1^2$$

- для роздільної кабельної оболонки:

$$P_3 = p_2^3 + 3p_2^2q_2p_1 + 3p_2^2q_2q_1 + 3p_2q_2^2p_1^2 + 6p_2q_2^2q_1p_1 + q_2^3p_1^3 + 3p_2q_2^2q_1^2 + 3q_2^3q_1p_1^2 + 3q_2^3q_1^2p_1$$

Показники надійності обчислено у відносних одиницях. Інтенсивність пошкодження жили обрано за базове значення $\lambda_1 = 1$, тоді інтенсивність пошкодження кабельної оболонки беремо як одну десяту від базового значення $\lambda_2 = 0,1$. Статичні ймовірності відмови на момент часу T визначаємо для жили $p_1 = \exp(-\lambda_1 T)$ та для кабельної оболонки $p_2 = \exp(-\lambda_2 T)$. Графіки ймовірнісних характеристик працездатності каналу подано на рис. 5, де сині лінії відповідають ймовірнісним характеристикам каналу із спільною оболонкою, зелені лінії – каналу із комбінованою оболонкою, а червоні – каналу із роздільною оболонкою. Суцільні лінії відповідають ймовірнісним характеристикам, які обчислено за марковськими моделями, а штрихові лінії – характеристикам, які обчислено за статичними моделями.

Із графіка (рис. 5) видно, що за умови $\lambda_1 < \lambda_2$, яка найбільш наближена до практики, роздільна кабельна оболонка забезпечує найвищу надійність, а спільна кабельна оболонка – найнижчу. Як і очікувалось, комбінована кабельна оболонка за надійністю посідає проміжну позицію із незначним наближенням до показників роздільної. В усіх трьох випадках надійність, обчислена за статичними моделями, виявляється заниженою у порівнянні із надійністю, яку обчислено за динамічними моделями.

SWOT-аналіз. Перевага одержаних математичних моделей полягає у можливості формалізації та кількісній оцінці надійності керуючого каналу із трикратним резервуванням для спільної, комбінованої та роздільної кабельних оболонок.

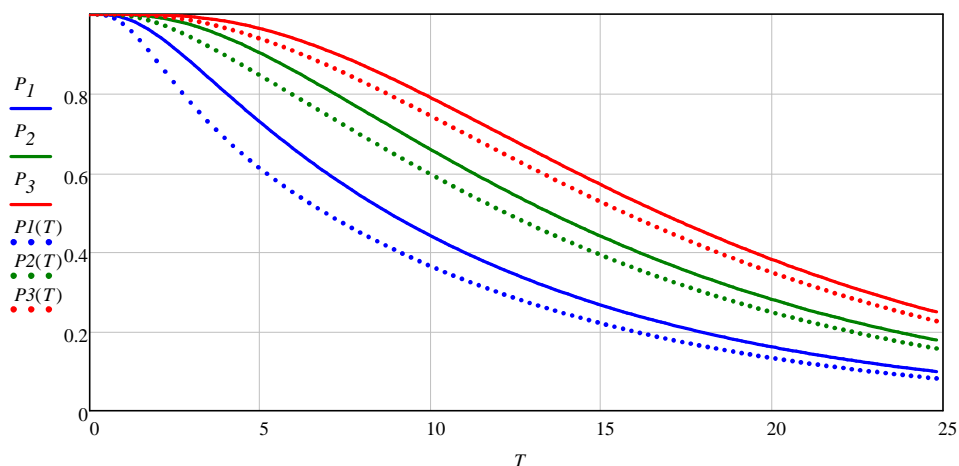


Рис. 5. Характеристики ймовірності працездатності для провідного керуючого каналу із трикратним резервуванням
Fig. 5. Reliability characteristics for wired tripled control channels.

Недоліком є те, що у розроблених математичних моделях не враховано можливість пошкодження жил під дією зовнішніх руйнівних факторів за умови збереження цілісності кабельних оболонок.

Запропонований у статті підхід дає можливість аналізувати надійність каналів із комбінованими кабельними оболонками довільної структури.

Основною загрозою є вибухоподібне зростання розмірності діаграми станів та переходів із збільшенням кількості елементів у структурі провідного керуючого каналу.

Висновки

У статті розроблено математичний підхід для кількісного оцінювання показників надійності провідного керуючого каналу із трикратним резервуванням для спільної, комбінованої та роздільної кабельних оболонок. Надійність керуючого каналу із трикратним резервуванням формалізовано блок-схемами та динамічними деревами відмов. Для трьох випадків структур кабельної оболонки побудовано діаграми станів та переходів. Зокрема, для спільної кабельної оболонки діаграма містить 5 станів та 4 переходи, для комбінованої — 10 станів та 13 переходів, а для роздільної — 10 станів та 12 переходів. Грунтуючись на діаграмах станів та переходів, побудовано статичні та динамічні математичні моделі надійності керуючого каналу. Обчислення виконано у базових одиницях за умови, що інтенсивність руйнування жил є вищою за інтенсивність руйнування кабельної оболонки. Це відповідає практиці експлуатації резервованих керуючих каналів. Показано, що роздільна кабельна оболонка забезпечує найвищу надійність, а спільна кабельна оболонка – найнижчу. Відповідно, комбінована кабельна оболонка за надійністю посідає проміжну позицію із

незначним наближенням до показників роздільної. Показники надійності, які обчислено за статичними моделями, в усіх трьох випадках занижені у порівнянні із показниками, обчисленими за динамічними моделями. Хоча статичні моделі дають меншу точність, однак вони не вимагають побудови громіздких марковських моделей.

У наступному дослідженні планується розробити математичні моделі надійності провідного кабельного каналу із трьома жилами, які захищено армуванням та кабельною оболонкою у різних комбінаціях.

Подяка

Дослідження виконано у межах ДБ/MILITARY (№ держ. реєстрації 0121U107809).

Список літератури

- [1] Lobur M. Reliability Audit of the Duplicated Wired Channel with an Accounting of Reinforcement and Cable Jacket / Lobur M., Shcherbovskykh S., Stefanovych T. // The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics (CADSM'2021): Proc. of Int. Conf., 22–26 February 2021. – Lviv, 2021. – P. 19–22. – doi: 10.1109/CADSM52681.2021.9385256.
- [2] Стефанович Т. О. Оцінювання надійності провідного дубльованого керуючого каналу із спільною та роздільними кабельними оболонками / Стефанович Т. О., Щербовських С. В. // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2020. – № 54. – С. 50–58. – doi: 10.23939/istcipa2020.54.050.
- [3] Kikuchi M. 3-D Measurement of Rollable Fiber Ribbons in 1000-Fiber Cable and Calculated Fiber Reliability / M. Kikuchi, Y. Yamada, J. Kawataka, H. Izumita and K. Katayama // IEEE Photonics Technology Letters – Vol. 30, No. 17. – P. 1519–1522. – doi: 10.1109/LPT.2018.2855203.
- [4] Bang S.S. Classification of Faults in Multicore Cable via Time-Frequency Domain Reflectometry / S. S. Bang and Y. Shin // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2020. – Vol. 67, No. 5. – P. 4163–4171. doi: 10.1109/TIE.2019.2920606.
- [5] Buhari M., Levi V., Awadallah S. K. E. Modelling of Ageing Distribution Cable for Replacement Planning / M. Buhari, V. Levi, S. K. E. Awadallah // IEEE Transactions on Power Systems. – 2016. – Vol. 31, No. 5. – P. 3996–4004. doi: 10.1109/TPWRS.2015.2499269.
- [6] Guo J., Liu Z., Che H., Zeng S. Reliability Model of Consecutive (2, k)-Out-of-(2, n) :F Systems With Local Load-Sharing / J. Guo, Z. Liu, H. Che, S. Zeng // IEEE Access. – 2018. – Vol. 6. – P. 8178–8188. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2802319.

S. Shcherbovskykh, V. Bilas, T. Stefanovych
Lviv Polytechnic National University

RELIABILITY EVALUATION OF WIRED TRIPLED CONTROL CHANNEL FOR COMMON, SEPARATE, AND MIXED CABLE JACKETS

Aim. To develop an approach for quantifying the reliability of the wired tripled control channel with common, mixed, and separate cable jackets. **Method.** Reliability is formalized using block diagrams and dynamic fault trees. Static and dynamic models have been developed to evaluate the reliability indicators of the wired control channel with triple redundancy. The basis for obtaining these models is the state and transitions diagram. Static models are formed using logical-probabilistic expressions. Dynamic models are based on the principles of Markov analysis. **Results.** For the core failure intensity, which is higher than the intensity of the cable jacket failure, it is shown that a separate cable jacket provides the highest reliability, and a common cable jacket provides the lowest. Accordingly, the mixed cable jacket in terms of reliability occupies an intermediate position with a slight approximation to the separate. Reliability indicators calculated from static models are understated in all three cases compared to those calculated from dynamic models. Although static models give less accuracy, they do not require the structure of sophisticated Markov models. **Scientific novelty.** The approach for modeling the reliability of control channels with triple core redundancy for cases of separate, mixed and common cable jackets has been improved. **Practical significance.** The proposed approach is recommended to be used to assess the reliability during the equipment design, the operation of which may endanger the life and health of service personnel. The obtained results are a mathematical basis for studying the reliability of a wired cable channel with three cores, which are protected by reinforcement and cable jacket in different combinations.

Key words: reliability model, cable jacket, redundancy, reliability block diagram, dynamic fault tree.

References

- [1] Lobur M., Shcherbovskykh S., Stefanovych T. "Reliability Audit of the Duplicated Wired Channel with an Accounting of Reinforcement and Cable Jacket" in The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics (CADSM'2021): Proc. of Int. Conf., 22–26 February 2021. Lviv, 2021. pp. 19-22. doi: 10.1109/CADSM52681.2021.9385256.
- [2] Stefanovych T., Shcherbovskykh S. "Reliability Evaluation of Wired Duplicated Control Channel with Common and Separate Cable Jackets" in Industrial Process Automation in Engineering and Instrumentation, vol. 54, pp. 50-58, 2020. doi: 10.23939/iscipa2020.54.050.
- [3] M. Kikuchi, Y. Yamada, J. Kawataka, H. Izumita and K. Katayama, "3-D Measurement of Rollable Fiber Ribbons in 1000-Fiber Cable and Calculated Fiber Reliability," in IEEE Photonics Technology Letters, vol. 30, no. 17, pp. 1519-1522, 1 Sept.1, 2018, doi: 10.1109/LPT.2018.2855203.
- [4] S. S. Bang and Y. Shin, "Classification of Faults in Multicore Cable via Time-Frequency Domain Reflectometry," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 67, no. 5, pp. 4163-4171, May 2020, doi: 10.1109/TIE.2019.2920606.
- [5] M. Buhari, V. Levi and S. K. E. Awadallah, "Modelling of Ageing Distribution Cable for Replacement Planning," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 31, no. 5, pp. 3996-4004, Sept. 2016, doi: 10.1109/TPWRS.2015.2499269.
- [6] J. Guo, Z. Liu, H. Che and S. Zeng, "Reliability Model of Consecutive (2, k)-Out-of-(2, n) :F Systems With Local Load-Sharing," in IEEE Access, vol. 6, pp. 8178-8188, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2802319.