

Підвищення надійності ЕОА

1. Підвищення надійності на етапі конструкторського проектування
2. Компонентне резервування
3. Схемне резервування

Забезпечення необхідного рівня надійності ЕОА що розробляється виконується комплексом робіт. Ці роботи проводяться при *проектуванні, конструюванні, виробництві та експлуатації*.

Згідно алгоритму конструювання (*згадайте його*) розробка ЕОА потребує зусиль декількох конструкторських груп, груп схемотехніків, кожна з яких компетентна в своїй предметній області та в своїх задачах.

При *схемо-технічному* проектуванні з урахуванням підвищеної надійності розробники

- аналізують умови роботи ЕОА та виконують вибір високонадійної елементної бази (з урахуванням цих умов)
- встановлюють розумний запас по електричним, температурним та механічним навантаженням (K_H, a_t, a_b, \dots)
- оптимізують електричні режими роботи, температурні режими як найбільш небезпечні
- виконують наближений розрахунок надійності
- розробляють структурну схему з урахуванням з'єднання елементів, що забезпечує заданий рівень надійності ЕОА
- вирівнюють (розподіляють) показники надійності між ФВ

При *технічному проектуванні*:

- конструкторськими методами (прийомами) локалізують всі види впливів, забезпечуючи при цьому мінімальні габарити та вагу (температура, вологість, механічні впливи)
- підвищують ефективність відводу тепла (методи відводу тепла)
- підвищують стійкість роботи ЕОА при впливі завад - електро-магнітних, індуктивних (екрани розв'язки), розробляється технологічний процес

При *виготовленні* ЕОА:

- розробляється технологічний процес, що необхідно суворо дотримуватися та безумовно - виконувати всі роботи й відповідності з ТД що розробляється
- виконувати комплекс випробовувань окремих вузлів, блоків, ..., та в цілому ЕОА при самих несприятливих впливах

Випробовування, яке виконується після виготовлення є пробним етапом експлуатації ЕОА. Тому з точки зору надійності для всіх розробників випробовування є засобом перевірки відповідності кількісних показників надійності до заданих та вибір раціональних мір, що направлені на збереження (підвищення надійності - збереження результатів).

Випробовування дозволяють визначити причини виникнення відмов (схемні, конструкторські, технологічні, ...) та достовірні показники надійності, що отримані при розробці.

При *експлуатації* необхідно (набудь-який виріб є інструкція по експлуатації):

- суворо дотримуватися інструкції по експлуатації
- регулярно проводити технічну діагностику, профілактичні роботи та інші попереджувальні роботи, що направлені на зберіання високих показників надійності

Таким чином проблема надійності в кінцевому рахунку потребує системного підходу, який важко прмінити, якщо ЕОА розробляється декількома розробниками спеціалізованими групами. Відсутність зв'язків при вирішенні проблеми надійності на всіх етапах може

призвести до невдачі всі зусилля вуликого колективу розробників по створенню нового зразка ЕОА..

Перший основний етап, на якому закладається необхідний рівень надійності ЕОА - **проектування**. Цей етап охоплює період часу від складання ТЗ до передачі документації на підприємство-виробник для виробництва. Закладена надійність на цьому етапі (проектування) не може компенсуватися на наступних етапах.

Крім того підвищення надійності ЕОА на етапі проектування, конструювання, виготовлення, експлуатації досягається:

- підвищенням надійності всіх елементів, що використовуються
- розробкою ефективної технології виробництва та методів контролю, щоб виробляти та відбирати високоякісні вузли та блоки
- шляхом введення компонентної надмірності
- шляхом введення схемної надмірності (резервування)
- шляхом введення інформаційної надмірності
- використання автоматичної діагностики
- удосконалення технології виготовлення елементної бази, методів контролю її параметрів та створення високонадійних елементів нового типу

Резервування

Резервування є надмірність, що не працює, що не примає участі в роботі, але яка у відповідний момент може бути ввімкнена в роботу. Тобто, якщо елемент системи має резерв, то при відмові будь-якого елемента його функції починає виконувати резервний елемент. Тому резервована система має більшу надійність, чим нерезервована.

Резервні елементи до ввімкнення можуть знаходитися в:

- на вантаженому стані
- ненавантаженому стані
- в полегшеному режимі

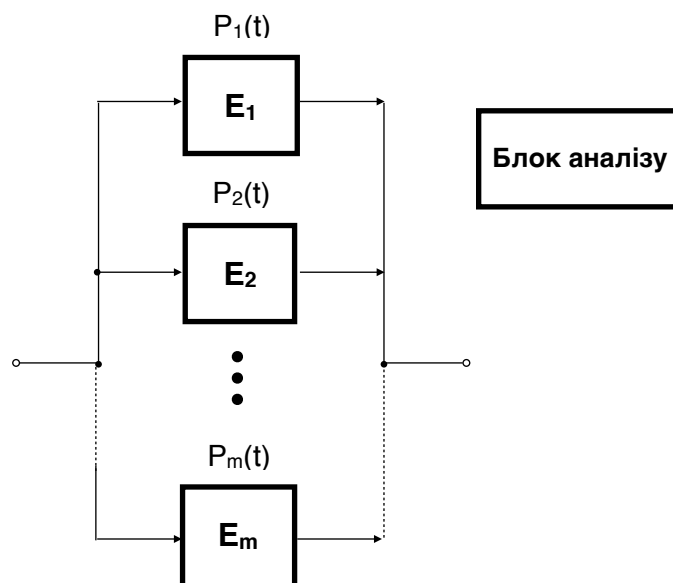
Навантажений резерв характеризується тим, що резервні елементи знаходяться (у відношенні надійності) в тому ж режимі, що й основний елемент. Практично степінь зменшення надійності основних на резервних елементах ві часу в даному випадку однакова.

Ненавантажений резерв визначається тим, що резервні елементи не мають навантаження, що могло б вплинути на зниження їх надійності в часі. В момент їх включення замість відмовлених, вони зазвичай володіють початковою надійністю (що дорівнює надійності основних елементів до ввімкнення їх в роботу).

Полегшений резерв характерний тим, що резервні елементи знаходяться в полегшеному, слабо навантаженому режимі, що забезпечує суттєво зменшене зниження їх надійності в часі. Тобто до моменту включення надійність у них суттєво вище чим у ненових елементів.

Надійність з навантаженим резервуванням.

Нехай елемент має $(m-1)$ резервних елементів. Елементи мають відповідну надійність $P_1(t)$,



$P_2(t), \dots, P_m(t)$ та $q_1(t), q_2(t), \dots, q_m(t)$. Вважаємо, що час заміни елемента що відмовив дорівнює нулю, а пристрій що виконує заміну відмовивших елементів, володіє ідеальною надійністю. Надійність елементів не залежить від інших елементів що відмовили, розглядаються відмови типу "обрив".

Для цього випадку (надійність з навантаженим резервом) вираз в надійності визначається зі співвідношення

$$n_{(Q)} = \frac{q_i}{Q_m} \approx \frac{\lambda_i t}{(\lambda_i t)^m} \approx \frac{1}{(\lambda_i \cdot t)^{m-1}}$$

При умові $\lambda t \ll 1$. $q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \approx \lambda t$. Для великих значень λt цього вирашц немає.

Надійність з *ненавантаженим резервуванням*

Допущення, що були озвучені вище, залишилися. Крім того, умови роботи такі: після відмови основного елементу на його місце включається резервний. Повна відмова буде тоді, коли відмовить останній резервний елемент.

$$T_{cp} = \frac{m}{\lambda}$$

Надійність з *полегшеним резервуванням*.

В даному випадку надійність вище чим з навантаженим резервуванням та менше, ніж з ненавантаженим.

Для $\lambda t \ll 1$ вираш в надійності визначається

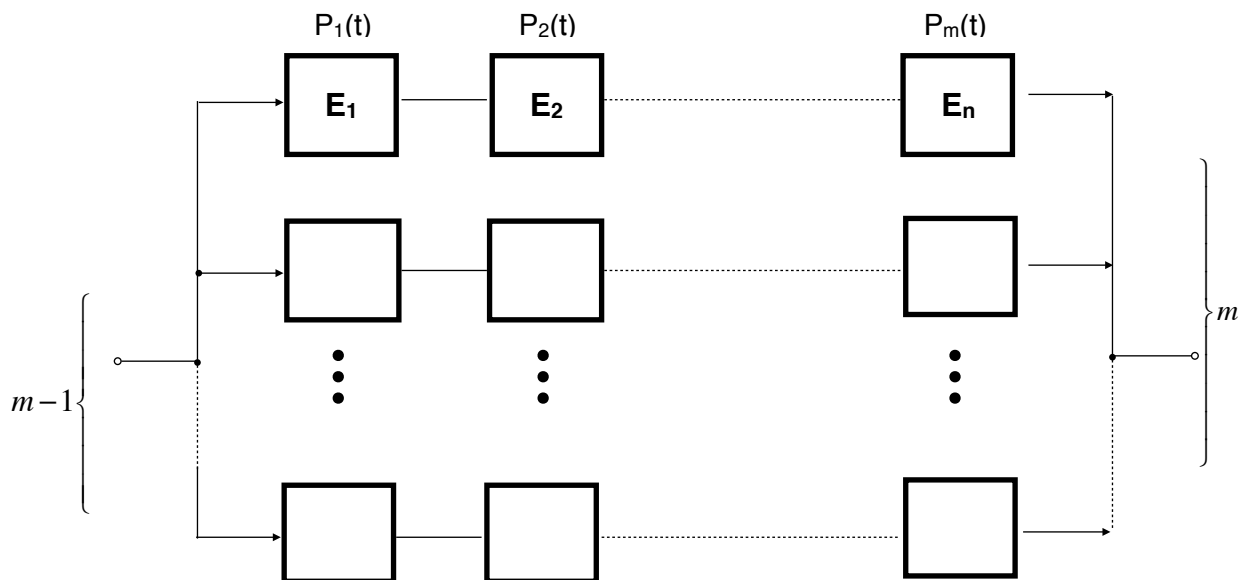
$$n_{(Q)} = \frac{m! \lambda^m}{[\lambda + (m-1) \lambda_{пол}]}$$

λ - інтенсивність відмов елементу в *робочому* режимі

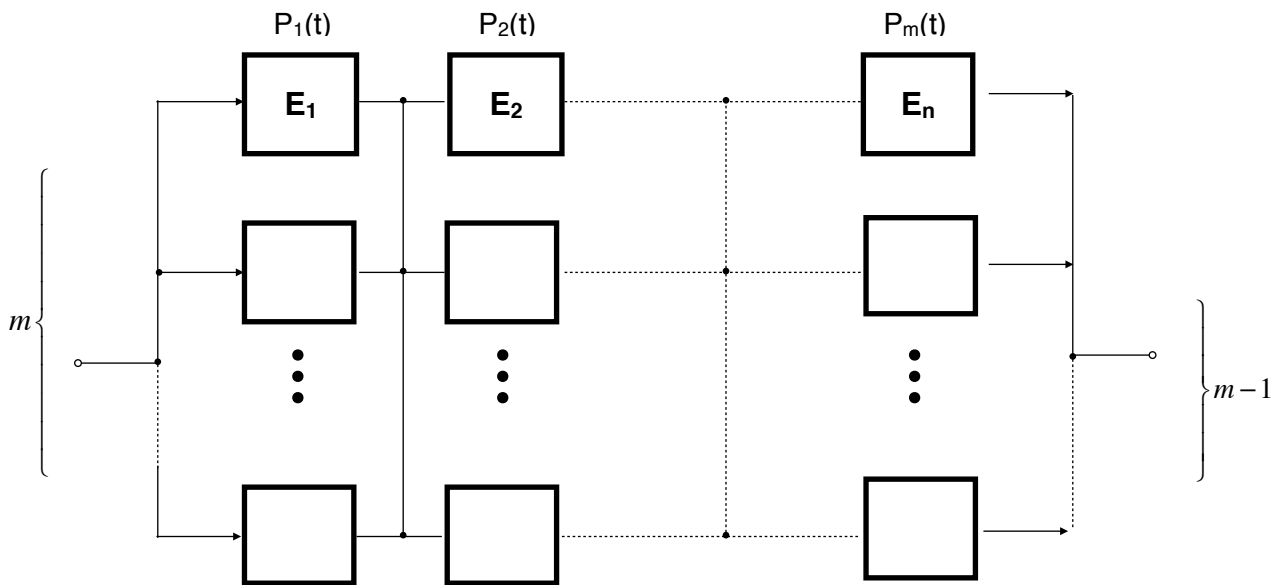
$\lambda_{пол}$ - інтенсивність відмов елементу в *полегшеному* режимі

Виграш в надійності систмеми з n послідовно з'єднаних елементів визначається як

$$n_Q = \frac{1}{(n \lambda t)^{m-1}}$$



При поелементному резервуванні



Для рівно надійних елементів для резервованої групи елементів

$$[P_m(t)]_n = \left\{ 1 - [1 - P(t)]^m \right\}^n$$

Можна зробити наступні важливі висновки:

- поелементне резервування більш ефективне, чим при резервуванні системі вцілому
- при навантаженому резерві система вцілому T_{cp} системи зі збільшенням кратності резервування зростає повільно. Так при кратності $m = 10$ (кратність резервування дорівнює 10) T_{cp} зростає всього в 3 рази.

- Ефективність резервування суттєво замітна при малих значеннях λt . Наприклад при $\lambda t = 0.1$ та кратності резервування 1 ($m = 2$), ймовірність відмови зменшується в 10 разів, а при наявності трьох резервних систем - в 1000 разів.

Отже, з точки зору T_{cp} , кратність резервування збільшувати недоречно. Якщо ж оцінювати ефективність резервування по ймовірності безвідмовної роботи, то отримаємо прямопротилежний результат.

- Поелементне резервування хоч і дає більшу ефективність при малих значеннях λ_e , тобто для порівняно простих систем - для складних систем таке резервування реалізувати складно.

Схемне резервування

Підвищенням надійності елементів в наш час не вдається повністю вирішити проблему побудови надійних ЕОМ. Це визвано значним випередженням росту складності нових озброєних ЕОМ, а також існуванням елементів, надійність яких достатньо низька та важко піддається підвищенню. Тому один зі шляхів підвищення надійності — введення **схемної надмірності**.

Схемна надмірність - схемне резервування припускає включення в схему пристрою додаткових елементів, які дозволяють компенсувати відмови окремих частин пристрою та забезпечити його надійну роботу. Але резервування ефективно тільки в тому випадку, коли несправності є статистично незалежними.

По способу включення резервних елементів функціональних пристроїв розрізняють наступні види резервування без відновлення:

- постійне
- із заміщенням
- ковзне ("скользящее")

При *постійному* резервуванні передбачається, що будь-який вузол що відмовив не впливає на нормально роботу всього пристрою. Тому пошук елемента що відмовив не виконується. Це вид резервування використовується там, де недопустимо даже короткочасна перерва в роботі пристрою.

При резервуванні з *заміщенням* виконується автоматичне виявлення несправного елемента, його відключення та підключення працездатного елемента. Заміна блоку що відмовив може бути автоматичною чи вручну.

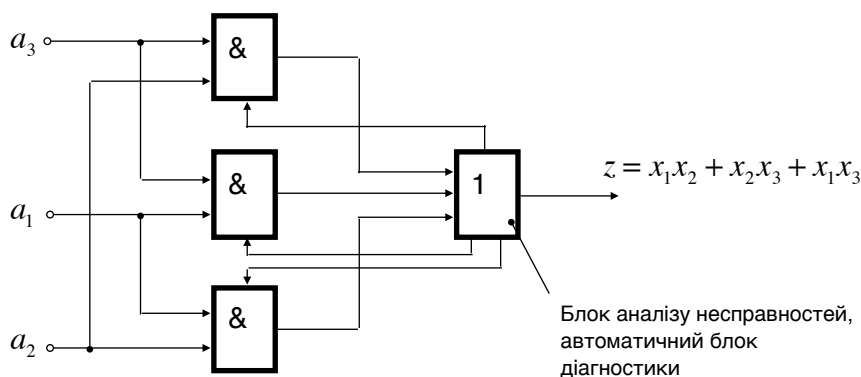
Резервування з *заміщенням* має наступні переваги:

- не потребує регулювання вихідних параметрів
- резервна апаратура до підключення знеживлення, що підвищує загальну надійність системи
- є можливість використання одного резервного елемента на декілька працюючих

При *ковзкому* резервуванні є декілька основних елементів та один резервний. Резервний елемент може замішувати будь-який з основних елементів.

Схемне резервування має наступні недоліки:

- резервується складний пристрій, що веде до збільшення ваги, габаритів, споживаної потужності, тобто до ускладнення конструкції
- блок аналізу несправностей є складним пристроєм з кінцевою надійністю



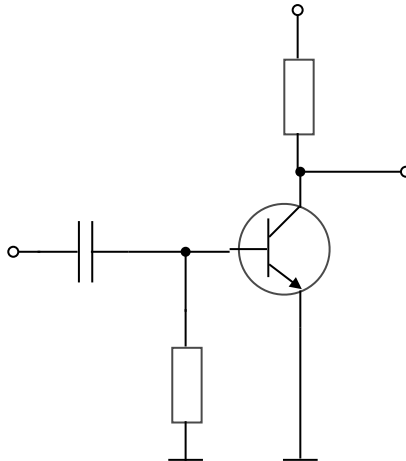
Компонентне резервування

Будь-яке підвищення надійності резервуванням є так чи інакше надлишковим.

Дане резервування розглянемо на прикладі *квадрованого інвертора*.

Надійність роботи дискретних елементів ЕОА, зокрема інвертору, визначається його активним елементом. В процентному відношенні інвертори у виробі складають до 30% від загального числа цийровиз елементів.

Схему інвертора ви знаєте.



Для підвищення надійності інвертора широко використовують принцип *надлишковості компонентів*, тобто для підвищення надійності інвертора надлишковість компонентів є принципово необхідною умовою.

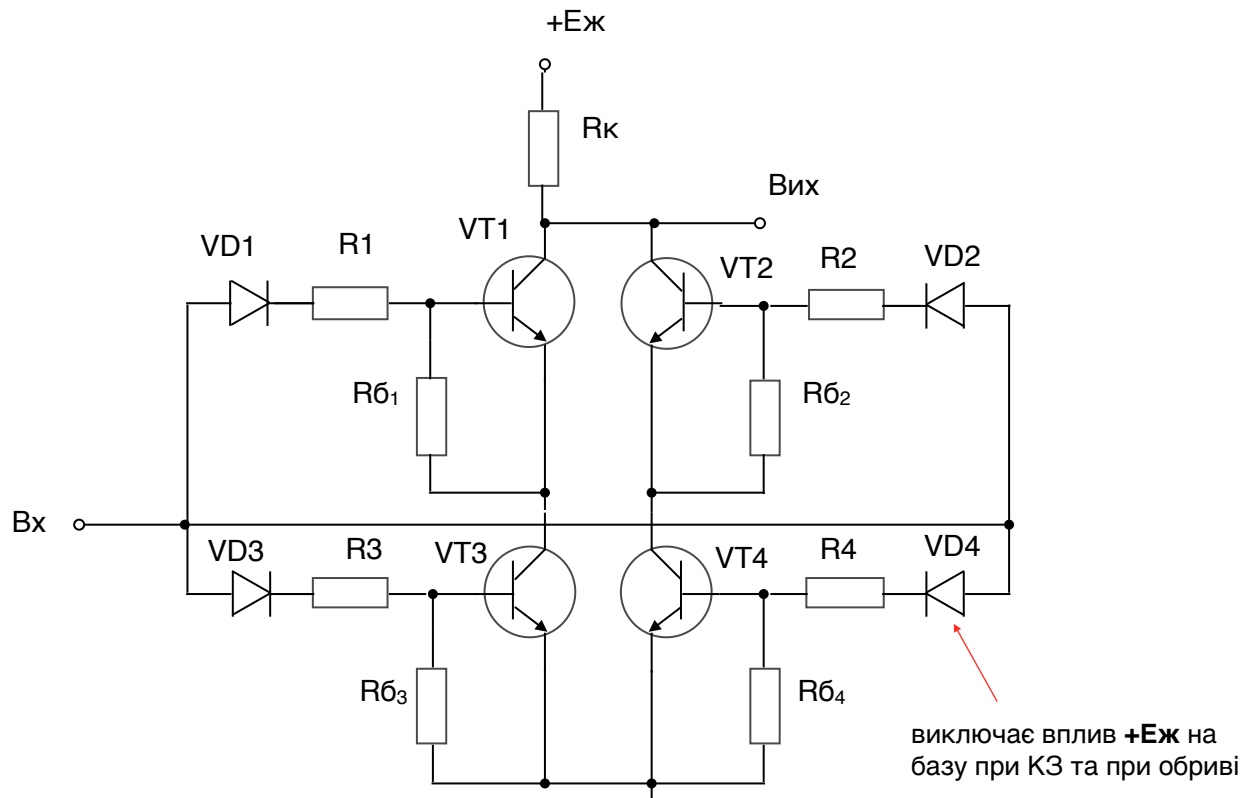
Компонентне резервування дозволяє:

- збільшити в 4-5 разів надійність у порівнянні з методом надлишковості на рівні схеми
- забезпечує нормальну роботу при виникненні двох та більше несправностей в різних ланцюгах
- невелике збільшення обладнання та споживаної потужності
- відсутня складна схема автоматичної діагностики та перемикання на справну схему (*відсутній блок аналізу*), що завжди є при схемному резервуванні

Побудова схеми інвертора з резервуванням на рівні компонентів виконується з урахуванням ймовірних несправностей активних дискретних компонентів - *транзисторів*.

Вихід з ладу тріодів (*транзисторів*) є ймовірним як за рахунок їх короткого замкнення, так і за рахунок обривів (*катастрофічні відмови*). Тому резервування ведеться по схемі їх послідовно-паралельного з'єднання - такі з'єднання (*ми з вами їх розглядали*) дозволяють покращити показники надійності. Особливість резервування транзисторів обумовлена наявністю трьох сигнальних електродів.

Схема квадрованого генератора представлена на малюнку.



На “плечах” з’єднання елементів *послідовно*. “Плечі” з’єднані *паралельно*.

Найбільш ймовірні відмови такого характеру:

- обрив, тобто виводи VT оборвані (внутрішньо - перегоріли)
- К/З - (коротке замкнення) всередині корпусу

Таким чином елементи в інверторі можуть знаходитися в наступному стані: **Р** (робочий), **ОБ** (обрив), **КЗ** (коротке замкнення).

Щоб показати виграш в надійності **квадрованого інвертору** необхідно для 4-х транзисторів скласти карту станів: елементами таблиці є цифри, що вказують кількість несправностей в схемі. Якщо цифра обведена в кружок - схема не працює.

З таблиці слідує:

1. При одній відмові елемента схема працює, тобто “1” в таблиці не обведена кружком
2. При 4-х відмовивших елементах схема не працює, тобто всі “4” обведені кружком
3. Сумарна кількість станів схеми: **81 = 42 + 39**. **42** несправності призводять до втрати працездатності (**42 кружка**) та **39** несправностей не впливають на працездатність.

З таблиці слідує, що якісний виграш надійності є. Це, так сказати, *якісна оцінка*. Оцінемо *кількісно* виграш.

Ймовірність відмови квадрованого інвертора (Q_{KB}) визначається як сума ймовірностей відмов при всіх елементах що працюють; при одному що відмовив; двох, трьох, чотирьох елементах та з урахуванням того, що не всі види відмов елементів (за винятком чотирьох) призводять до відмови схеми в цілому.

Ймовірність відмов квадрованого інвертора:

$$Q_{KB} = \sum_{i=0}^4 n_i Q_i,$$

Q_i - ймовірність відмов i -х елементів схеми

i - кількість несправних елементів $i = 0, 1, 2, 3, 4$ При $i = 0$ всі елементи справні

Таблиця станів транзисторів квадрованого інвертору

		VT1			P			ОБ			КЗ		
VT3	VT2 VT4	P	ОБ	КЗ	P	ОБ	КЗ	P	ОБ	КЗ	P	ОБ	КЗ
		P	0	1	1	1	2	2	1	2	2		
		ОБ	1	2	2	2	3	3	2	3	3		
		КЗ	1	2	2	2	3	3	2	3	3		
ОБ	P	1	2	2	2	3	3	2	3	3			
	ОБ	2	3	3	3	4	4	3	4	4			
	КЗ	2	3	3	3	4	4	3	4	4			
КЗ	P	1	2	2	2	3	3	2	3	3			
	ОБ	2	3	3	3	4	4	3	4	4			
	КЗ	2	3	3	3	4	4	3	4	4			

$$n_i = \frac{N_i}{K_i}$$

N_i - кількість станів відмов схеми при i несправних елементах. Визначається з таблиці ($i = 2$ N - кількість відмов схеми при двох несправних елементах)

K_i - кількість можливих всіх станів схеми, при i несправних елементах ($i = 2$ $K_i = 24$ - всього станів схеми при двох несправних елементах).

Таблиця для визначення ймовірностей відмов квадрованого інвертора при "і" несправних елементах

Кількість несправних елементів в схемі, i	Кількість можливих станів схеми при i відмовивших елементах, K_i	Кількість відмов схеми при i відмовивших елементах, N_i	$n_i = N_i/K_i$
0 - всі елементи працездатні	1	0	$n_0 = 0$
1 - один елемент відмовив	8 (потрібно порахувати всі клітинки з одною відмовою)	0 (ні одні клітинки не обведена)	$n_1 = 0/8$ $n_1 = 0$
2 - два елементи відмовили	24	6 (обведено шість двійок)	$n_2 = 6/24 = 0.25$
3 - три елементи відмовили	32	20	$n_3 = 0.625$
4 - чотири елементи відмовили	16	16	$n_4 = 1$

Всього **81** стан: **42** призводить до відмови; **39** несправностей не приводить до відмови.

Маючи на увазі, що не всі комбінації відмов елементів призводять до відмови схеми в цілому, а тільки n_i призводить до відмови (див. таблицю), отримаємо

$$Q_{KB} = \sum_{i=0}^4 n_i Q_i = n_0 Q_0 + n_1 Q_1 + n_2 Q_2 + n_3 Q_3 + n_4 Q_4 = 0.25 Q_2 + 0.625 Q_3 + Q_4$$

Ймовірність безвідмовної роботи схеми при i несправних елементах визначається наступним чином

$Q_2 = 6q_e^2(1-q_e)^2$ - ймовірність того, що два елементи відмовили

$Q_3 = 4q_e^3(1-q_e)^3$ - ймовірність того, що три елементи відмовили

$Q_4 = q_e^4$ - ймовірність того, що чотири елементи відмовили

Тоді

$$Q_{KB} = 0.25 \left[6q_e^2(1-q_e)^2 \right] + 0.625 \left[4q_e^3(1-q_e)^3 \right] + q_e^4$$

Приблизно

$$Q_{KB} \cong \frac{3}{2} q_{e(VT)}^2$$

Зменшення ймовірності відмов схеми квадрованого інвертора по зрівнянню зі схемою на одному елементі (схема виконано на одному транзисторі) визначається

$$n_{KB} = \frac{q_e}{Q_{KB}} = \frac{2}{3q_e} \gg 1$$

Виграш в показниках надійності квадрованого інвертора.