

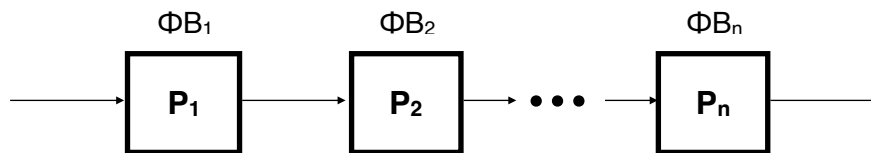
## Надійність систем з простою структурою

При аналізі апаратури на надійність, при більш точному визначенні показників надійності складають структурну, функціональну схему, тобто складають схему, в якій виділяють елементи не по конструктивному принципу, а по функціональній ознаці та з таким розрахунком, щоб кожному функціональному елементу забезпечувалася незалежність, тобто щоб відмова одного функціонального елементу не призводила до зміни ймовірності появи відмови в інших елементах.

Тому при складанні функціональної схеми (пристрою, вузлу, блока) слід об'єднувати ті КЕ, відмови яких взаємопов'язані, але не впливають на відмови інших елементів. Це дозволяє правильно вирішити питання вибору найбільш надійних функційних елементів, вузлів, блоків, визначити надійні конструкції блоків, панелей,..., раціональний порядок експлуатації, ремонту, вибору ЗВП (запасні вироби та приналежності).

При побудові структурних схем виділяють *послідовне, паралельне, послідовно-паралельне* та більш складне включення елементів.

При **послідовному** включенні елементів.



Ймовірність безвідмовної роботи

$$P_p = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_{i=1}^n P_i \text{ - зверніть увагу - це не сума}$$

Враховуючи те, що показники надійності ФВ вирівнюються, то можна записати

$$\text{при } P_1 = P_2 = \dots = P_n \quad P_p = P^n$$

$n$  - яисло послідовно з'єднаних функціональних вузлів.

Для надійності роботи схеми потрібна надійна робота кожного з елементів, що входять до схеми послідовного з'єднання.

Даже для такого простого з'єднання часто потрібно забезпечити задану *ймовірність безвідмовної роботи системи* -  $P_c$ , що складається з  $n$  - послідовно з'єднаних ФВ.

Потрібно визначити  $P_{\Phi E}$ , що входять в систему, при умові, що  $P_{\Phi E_1} = P_{\Phi E_2} = \dots = P_{\Phi E_n}$ . Тоді  $P_c$  визначається наступним чином

$$P_c = (1 - q_{\Phi E})^n \cong 1 - nq_{\Phi E}$$

$q$  - ймовірність відмови.

При різних значеннях  $q_{\Phi E}$ , тобто  $q_{\Phi E_1} \neq q_{\Phi E_2} \dots$

$$P_c \cong 1 - \sum_{i=1}^n q_{i\Phi E}$$

*Приклад. Розрахунок необхідної надійності елемента від заданої в ТЗ.*

Нехай необхідно забезпечити  $P_c = 0.99999$ . Система складається з  $n = 20$  послідовно з'єднаних ФВ.

Потрібно визначити ймовірність безвідмовної роботи ФВ, щоб забезпечити необхідну  $P_c$  пристрою.

Тоді

$$P_c \cong 1 - nq_{\Phi B}$$

$$0.99999 = 1 - 20 \cdot q_{\Phi B}$$

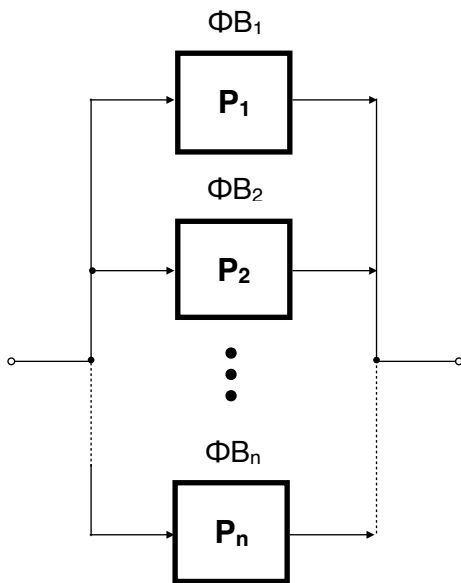
$$q_{\Phi B} = 0.0000005$$

$$P_{\Phi Y} = 0.9999995$$

При такій ймовірності безвідмовної роботи кожного з 20 ФВ ми отримуємо  $P_c = 0.99999$ .

*Прикладів послідовного з'єднання елементів безліч: очевидне для нас - матро та інші види транспорту.*

При **паралельному включенні** елементів.



По принципу функціонування: відмова і-го елементу не впливає на працездатність, наприклад, тому що спрацьовує захист і блок що відмовив не закорочує своїм виходом загальний вихід ФУ.

$$Q_p = q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_n = \prod_{i=1}^n q_i$$

$$P_p = 1 - Q_p$$

$$P_p = 1 - \prod_{i=1}^n q_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$$

Зі збільшенням числа паралельно ввімкнених елементів  $P_p$  збільшується (мутод підвищення надійності: якщо відмова з ФЕ не впливає на показники надійності іншого ФЕ).

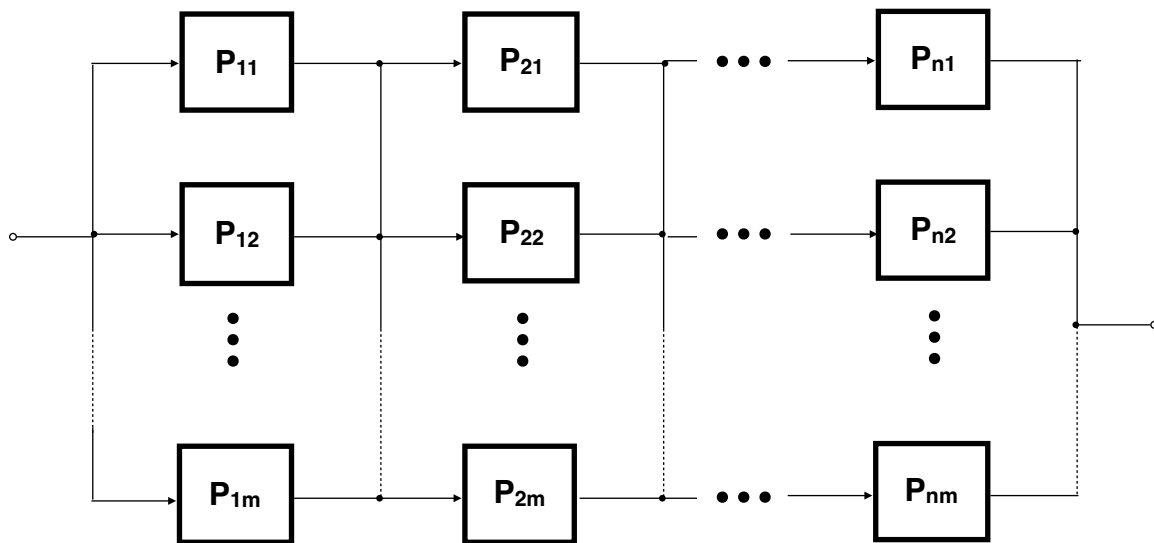
При такому ввімкненні елементів відмова схеми буде мати місце тоді, коли всі елементи схеми вийдуть з ладу, якщо вімови будуть типу "обрив", а от вімова типу "КЗ" - катастрофа.

Якщо  $P_1 = P_2 = \dots = P_n$ , то для тако ввімкнення

$$P_p = 1 - Q_p = 1 - [1 - P]^n$$

$$Q_p = q_i^n$$

Зустрічається **змішане** з'єднання ФЕ - послідовно-паралельне, паралельно-послідовне з'єднання елементів.



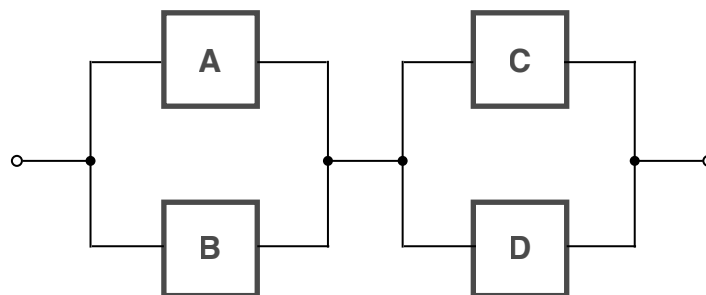
$n$  - кількість ФЕ, що включенні послідовно  
 $m$  - кількість ФЕ, що включенні паралельно

Спочатку визначається ймовірність безвідмовної роботи паралельно з'єднаних Ф. Далі визначається  $P_p$  всієї схеми - послідовне з'єднання ФЕ, що включенні паралельно.

$$P_p = [1 - q_{11}q_{12} \cdots q_{1m}] \cdot [1 - q_{21}q_{22} \cdots q_{2m}] \cdots [1 - q_{n1}q_{n2} \cdots q_{nm}]$$

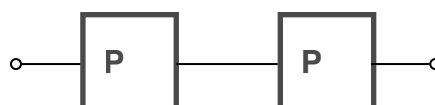
Для прикладу розглянемо прості комбінації ввімкнення ФВ. *Давайте впевнимися чи ввімкнення елементів впливає на показники надійності.*

#### 1. Послідовно-паралельне ввімкнення



Плечі з'єднані послідовно, а в плечах елементи з'єднані паралельно.

Для обчислення надійності такого ввімкнення елементи спочатку об'єднаємо паралельно з'єднані ФЕ, а потім будемо розглядати послідовне з'єднання, тобто еквівалентна модель буде така



Рахуємо, що показники надійності відомі та складають:  $P_A = 0.9$  ;  $P_B = 0.8$  ;  $P_C = 0.7$  ;  $P_D = 0.6$   
 Тоді

$P_{AB} = 1 - q_A q_B = 1 - (1 - P_A) \cdot (1 - P_B) = 1 - 0.1 \cdot 0.2 = 0.98$  - при паралельному включенні  $P_{AB}$  **більше** ніж  $P_A$  та  $P_B$ .

$$P_{DC} = 1 - q_D q_C = 1 - 0.3 \cdot 0.4 = 0.88$$

При паралельному включенні елементів **надійність дійсно збільшується**.

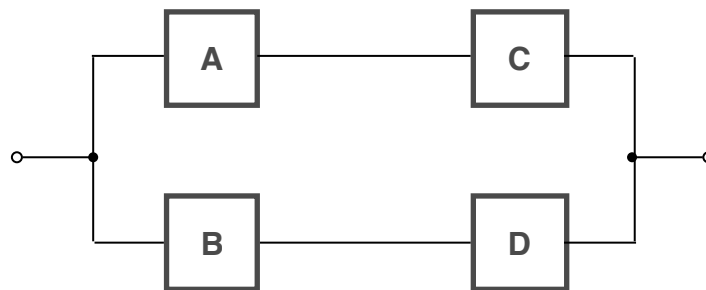
На закінчення

$$P_P = P_{AB} \cdot P_{CD} = 0.98 \cdot 0.88 = 0.8624$$

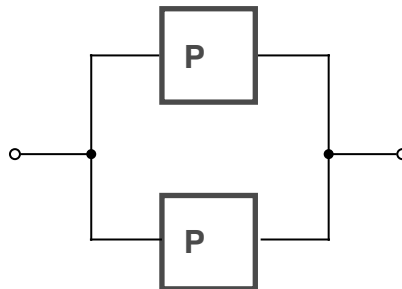
$P_P$  менше меншого  $P_P < P_{CD}$  при послідовному включенні елементів.

Послідовне включення елементів дійсно **зменшує надійність**.

## 2. Розглянемо паралельно-послідовне з'єднання



В даному випадку перетворення полягають в наступному - спочатку об'єднуються послідовні з'єднання ФЕ, а потім розглядаються паралельні з'єднання, тобто



$$P_{AC} = P_A \cdot P_C = 0.9 \cdot 0.7 = 0.63 \text{ - результат менше найменшого } P_{AC} < P_C = 0.7$$

$$P_{BD} = P_B \cdot P_D = 0.8 \cdot 0.6 = 0.48 \text{ - результат менше найменшого } P_{BD} < P_D = 0.48$$

$$P_P = 1 - q_{AC} \cdot q_{BD} = 1 - (1 - P_{AC}) \cdot (1 - P_{BD}) = 1 - 0.37 \cdot 0.52 = 0.8076$$

$P_P$  суттєво вище чим  $P_{AC}$  та  $P_{BD}$ , що відповідає паралельному включенню.

Різниця показників надійності для першої та другої схем пояснюється ррізним включенням компонентів. Тобто в першому випадку один елемент вийшов з ладу - то три працюють. В другому випадку: один вийшов з ладу - працюють тільки два.

Таким чином схемними рішеннями ми включенням елементів можемо впливати на показники надійності.

## Повторення

$$P = e^{-\lambda T}$$

$$\lambda$$

$$T_{cp}$$

$$Q$$

Показники надійності визначаються надійністю елементів ФУ

$\lambda_{oe}$  - залежить від режимів роботи елемента

$\lambda_{oe}$  - при оптимальних умовах ( $t = 20^\circ C$ ,  $p = 700$  мм рт.ст) та знаходиться у відповідних довідниках

$$\lambda_{oe} = f(t^\circ)$$

$$\lambda(t) = \lambda_{oe} \cdot a_t$$

$$a_t = \frac{\lambda(t^\circ)}{\lambda_{20^\circ}}$$

$$\lambda_B = \lambda_{oe} \cdot a_B$$

$$a_B = \frac{\lambda_B}{\lambda_{lab}}$$

Це все для кожного типу елементів

$$\lambda_p = \sum \lambda_{oe} K_H a_t \cdots a_B$$

а де з'єднання? Чи залежить надійність від з'єднання елемента?

Схемні рішення:

- послідовне з'єднання
- паралельне з'єднання
- змішане з'єднання: послідовно паралельне та паралельно-послідовне.

На цьому все!