

# NIEZAWODNOŚĆ URZĄDZEŃ ELEKTRONICZNYCH

Wersja skrócona.

# PODSTAWOWE POJĘCIA ZWIĄZANE Z NIEZAWODNOŚCIĄ URZĄDZEŃ

**Niezawodność jest właściwością wyrobu** — ponieważ przez pojęcie jakości wyrobu rozumie się zbiór wszystkich jego właściwości.

Wszystkie właściwości wyrobu można podzielić na dwie grupy:

— **właściwości funkcjonalne**

— **właściwości eksploatacyjne**

Do właściwości eksploatacyjnych wyrobu zalicza się:

- trwałość,
- stabilność czasową,
- niezawodność.

# PODSTAWOWE POJĘCIA ZWIĄZANE Z NIEZAWODNOŚCIĄ URZĄDZEŃ

**Do określenia niezawodności urządzenia konieczne jest sprecyzowanie trzech składników:**

- funkcji urządzenia,
- warunków eksploatacji urządzenia,
- czasu eksploatacji.

**Podstawową miarą niezawodności jest prawdopodobieństwo sukcesu w określonych warunkach i w określonym czasie.**

# MIARY NIEZAWODNOŚCI

Praktyka wykazała, że procesowi uszkodzeń urządzeń elektronicznych najczęściej odpowiada proces stochastyczny Poissona, u którego podstaw leżą trzy założenia:

- pojawienie się nowego uszkodzenia nie zależy od historii urządzenia;
- prawdopodobieństwo wystąpienia nowego uszkodzenia jest proporcjonalne do przyrostu czasu ;
- równocześnie nie może zajść więcej niż jedno uszkodzenie.

Prawdopodobieństwo „ $i$ ” uszkodzeń w przedziale  $(0,t)$ :

$$P(X_t = i) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}$$

Prawdopodobieństwo pracy bez żadnego uszkodzenia  $i=0$ :

$$P(X_t=0) = R(t) = e^{-\lambda t}$$

gdzie:  $\lambda$  – parametr funkcji niezawodności (*intensywność uszkodzeń*)

# MIARY NIEZAWODNOŚCI

Jednostką intensywności uszkodzeń jest względna liczba uszkodzeń na godzinę ( $1 \cdot 10^{-6}/h$ ).

Oczekiwana wartość czasu do pierwszego uszkodzenia:

$$E(T) = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} = M$$

Otrzymana wartość **M** może zastąpić parametr  $\lambda$  z poprzedniego wzoru i być używana jako miara niezawodności (**średni czas do pierwszego uszkodzenia – MTBF** *Mean Time Between Failure*). Jeśli naprawa urządzenia była idealna (nie zmieniła  $\lambda$ ), to średni czas do nast. uszkodzenia będzie również M i do następnego też M.

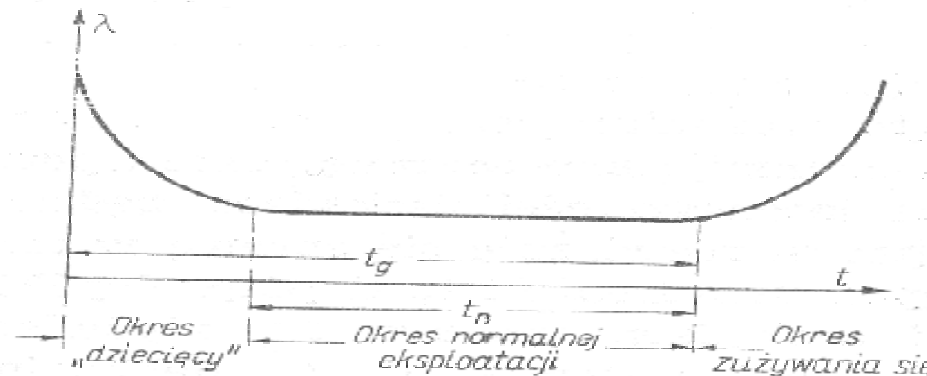
Warunek  $M_1=M_2=M_3=..$  w praktyce bywa nie spełniony więc wprowadza się pojęcie **średniego czasu między naprawami**.

# RZECZYWISTE CHARAKTERYSTYKI MIAR NIEZAWODNOŚCI

Przebieg intensywności uszkodzeń w funkcji czasu dla urządzeń elektromechanicznych:

- okres „dzieciący” eksploatacji,
- okres normalnej eksploatacji,
- okres zużywania się.

Dla sprzętu mechanicznego od lat stosuje się powszechnie zabieg „generalnego remontu” dla uchronienia się przed nadmiernie częstymi uszkodzeniami okresu zużycia się części. Czas  $t_g$  (rys.) do generalnego remontu jest bardzo często normowany.



Rys. 3.4. Przebieg intensywności uszkodzeń w funkcji czasu eksploatacji dla urządzeń elektromechanicznych

# WPŁYW NAPRAW NA NIEZAWODNOŚĆ URZĄDZEŃ

Naprawy mogą w sposób istotny zmienić niezawodność urządzenia.

Złą jakość napraw mogą powodować dwa czynniki:

- niektóre wymieniane podzespoły mogą mieć znacznie gorszą intensywność uszkodzeń;
- jakość niektórych napraw może być nienajlepsza i może wprowadzać wady ukryte.

Obydwa te źródła pogorszenia niezawodności można ująć wskaźnikiem frakcji napraw  $n_u/n$  z wadami ukrytymi.

$n$  – ogólna ilość napraw,  $n_u$  – ilość napraw wnoszących wady ukryte

# NIEZAWODNOŚĆ UKŁADÓW O RÓŻNYCH STRUKTURACH

## **Układy o strukturze szeregowej**

Podstawowe cechy:

- najczęściej spotykana;
- najoszczędniejsza pod względem zużycia materiału (każdą funkcję spełnia tylko jeden element);
- jeżeli nawet tylko jeden element nie spełni swojej funkcji, to również cały układ nie spełni swojej funkcji.

## **Układy o strukturze równoległej**

Podstawowe cechy:

- więcej niż jeden element spełnia tę samą funkcję,
- układ przestaje funkcjonować tylko wówczas, gdy wszystkie elementy ulegną uszkodzeniu
- uszkodzenia poszczególnych elementów są zdarzeniami niezależnymi od siebie.



# Niezawodność urządzeń c.d.

## Projektowanie niezawodności

Na podstawie doświadczenia przyjęło się robić ocenę niezawodności konstrukcji dwa razy:

- wstępną prognozę na samym początku;
- po zakończeniu projektu wstępnego kiedy są znane wszystkie szczegóły rozwiązania (używane części i warunki ich pracy).

**Wstępna prognoza niezawodności** służy:

- a) ocenie, czy producent jest w stanie spełnić wymagania odbiorcy;
- b) porównaniu pod względem niezawodności kilku wariantów rozwiązań.

Etapy:

- 1) określenie przewidywanej ilości podzespołów czynnych w urządzeniu;
- 2) określenie ile i jakich podzespołów biernych przypada na jeden podzespół czynny;
- 3) obliczenie ilości podzespołów pasywnych
- 4) przypisanie podzespołom odpowiadającej im intensywności uszkodzeń (na podst. źródeł podających intensywność uszkodzeń)

# Projektowanie niezawodności

5) określenie intensywności uszkodzeń dla całego urządzenia:

- przemnożenie liczby sztuk elementów przez założone intensywności uszkodzeń w danym rodzaju podzespołów;
- dodanie otrzymanych wyników

Ze względu na: możliwe wprowadzenie wad ukrytych przez montaż, nieprzewidziane zjawiska lub przyczyny pogorszenia niezawodności **należy uzyskaną poprzednio liczbę pomnożyć przez dwa.**

Przykładowe liczby podzespołów przypadające na jeden tranzystor w urządzeniach radiokomunikacyjnych:

Diody	Rezystory	Kondensatory	Cewki	Złącza	Przełączniki	Przełączniki	Silniki, dmuchawy
1,2	3,4	3,1	0,7	0,3	0,05	0,03	0,01

Razem: 8,79

Przykładowe liczby dla sprzętu powszechnego użytku:

Diody	Rezystory	Kondensatory	Transformatory	Filtry	Elementy mechaniczne
0,6	7,0	6,0	0,1	0,5	1,0

Razem: 15,2

# Projektowanie niezawodności

**Właściwy projekt niezawodności urządzenia** wykonuje się na podstawie pełnego schematu, rysunków rozmieszczenia i wszelkich innych danych o użytych podzespołach i o warunkach ich pracy. Obliczenia wykonuje się wg zasad podanych poprzednio zgodnie ze wskazówkami:

- 1) Jeżeli jakiś podzespół o intensywności uszkodzeń  $\lambda'$  pracuje tylko  $t_1$  godzin na  $t_u$  godzin pracy urządzenia:

$$\lambda = \frac{\lambda' t_1}{t_u}$$

Gdyby ten podzespół w czasie nie brania udziału w pracy urządzenia mógł ulegać uszkodzeniom z intensywnością  $\lambda''$  mamy:

$$\lambda = \frac{\lambda' t_1 + \lambda'' (t_u - t_1)}{t_u}$$

- 2) Jeżeli praca jakiegoś podzespołu nie bywa ciągła (polega na „zadziałaniu” – przełączniki, przekaźniki)  $Z$  -częstość zadziałania podzespołu na 1h pracy urządzenia.

$$\lambda = \lambda_z Z$$

# Projektowanie niezawodności

- 3) Niektóre z podzespołów charakteryzujących się „zadziałaniami” mają oprócz części wykonujących „zadziaływanie” również części zasilane w sposób ciągły (np. cewki przekaźników, gdy przyciągną i trzymają). Pełna intensywność uszkodzeń :

$$\lambda = \lambda_z Z + \frac{\lambda' t_1 + \lambda'' (t_u - t_1)}{t_u}$$

- 4) Intensywność uszkodzeń podzespołów powinna być sprowadzona do warunków jego rzeczywistej pracy w urządzeniu (uwzględnienie energii cieplnej i pola elektrycznego). Intensywność uszkodzeń dostosowana do panujących warunków:

$$\lambda = \lambda_n \left( \frac{U}{U_n} \right)^d K (T - T_n)$$

$\lambda_n$  – nominalna intensywność uszkodzeń podzespołu przy napięciu  $U_n$  i temp.  $T_n$  ;  $U, T$  aktualna temperatura i napięcie;  $d$  – stała podawana przez producenta (zakres 4 – 10);  $K$  - stała (zakres 1,02 – 1,15)

# Projektowanie niezawodności

- 5) Przybliżoną wartość przyrostu temperatury (w °C) elementu ponad temperaturę otoczenia można wyznaczyć z

$$T = AP^{0,8}$$

gdzie: P - moc tracona w podzespole;

A - stała zależna od temperatury otoczenia, konfiguracji przedmiotu i sposobu zamocowania. Dla chłodzenia naturalnego wartość w granicach 70..100

Intensywność uszkodzeń podstawowych elementów montażowych (uszkodzeń na milion na godzinę)

Nazwa elementu	$\lambda$	Nazwa elementu	$\lambda$	Nazwa elementu	$\lambda$
Kondensatory ceramiczne	0,1	Diody krzemowe >1W	0,5	Tranzystory krzemowe <1W	0,08
Kondensatory tantalowe	0,4	Bezpieczniki	0,2	Tranzystory krzemowe >1W	0,8
Połączenie lutowane	0,01	Cewki m.cz., p.cz.	0,5	Lampy elektronowe, triody	18
Połączenie zaciskane	0,02	Żarówki	1,0	Mikroukłady grubowarstwowe	1,0
Połączenie spawane	0,04	Silniki małej mocy	5,0	Mikroukłady krzemowe cyfrowe obud. TO-5	0,1
Diody krzemowe <1W	0,05	Rezystory masowe	0,05	Mikroukłady krzemowe analogowe obud. plastik.	0,4

# Badanie niezawodności urządzeń

Badania niezawodności są tak długotrwałe i kosztowne, że muszą z natury rzeczy być organizowane i oceniane w sposób statystyczny.

W badaniu niezawodności urządzeń można wyróżnić trzy główne fazy:

- 1) okres przygotowywania produkcji (badanie prototypu i serii próbnej);
- 2) badanie w trakcie procesu produkcyjnego;
- 3) badanie gotowych wyrobów.

Co najmniej połowa uszkodzeń pochodzi od podzespołów. Podzespoły można w razie potrzeby „**uszlachetniać**”.