

1966
Nr 6 (57)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

PRZEGLĄD
ZAGADNIEŃ
ŁĄCZNOŚCI





MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRZEGLĄD ZAGADNIENI ŁĄCZNOŚCI

ROK 6

WARSZAWA 1966

NR 6(57)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne:

Przewodniczący - mgr inż. Zenon Szpigler
Z-ca Przewodniczącego - mgr inż. Władysław Cetner

Członkowie:

mgr inż. Władysław Adaszewski, inż. Edmund Janowski,
prof. Stefan Jasiński, mgr inż. Stanisław Kobus,
mgr inż. Adam Moniuszko, mgr inż. Józef Możejko,
mgr Zofia Życińska

Sekretarz Redakcji - Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Ośrodek

Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 820. Druk ukończono
w listopadzie 1966 r.

PRZEGLĄD
ZAGADNIENÍ ŁĄCZNOŚCI

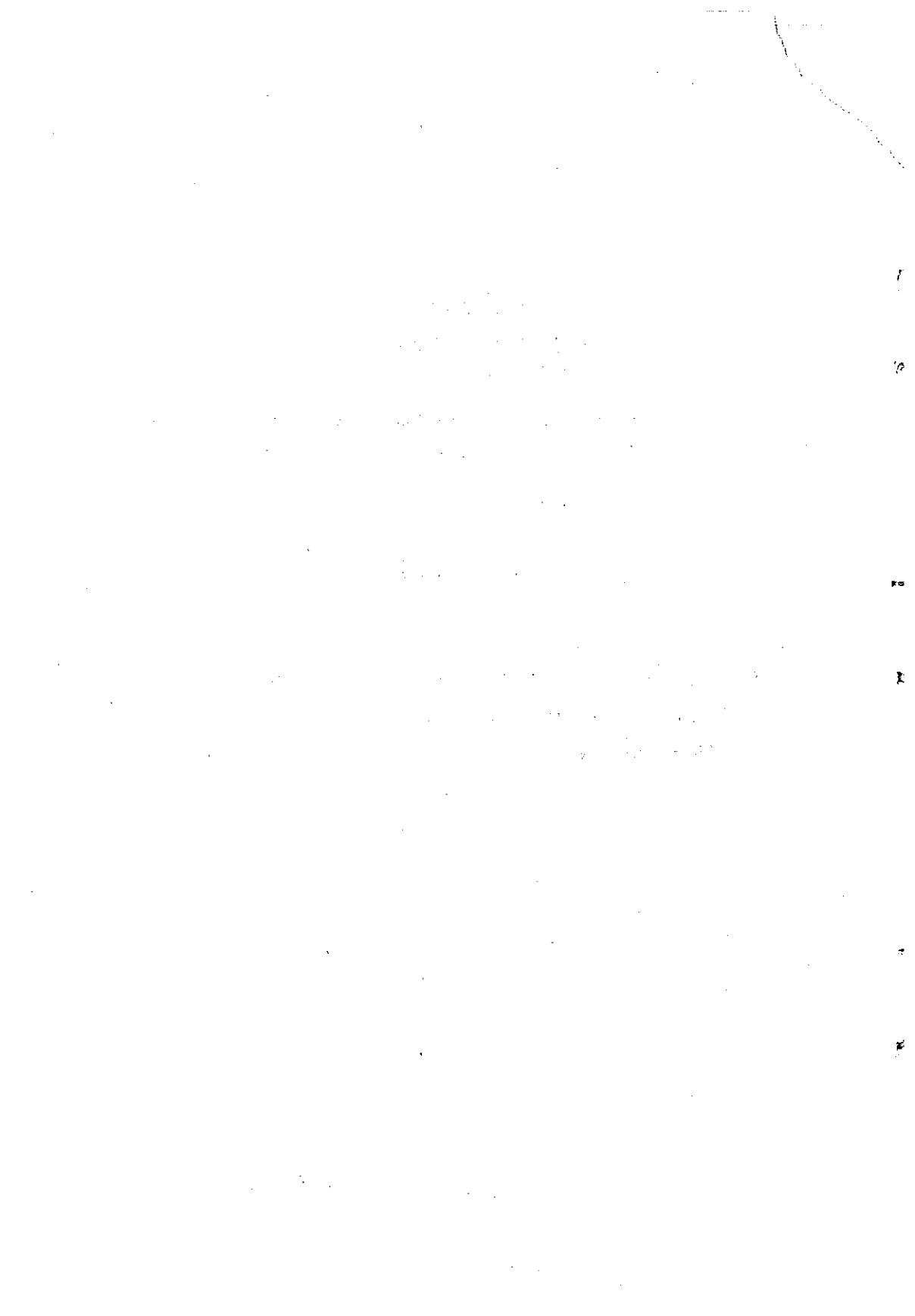
Niezawodność nadajnika radiowego

SPIS TREŚCI

Str.

Podstawowe pojęcia i oszacowanie niezawodności nadajnika radiowego - Tłumaczył
C. Niewiadomski

1



PODSTAWOWE POJĘCIA I OSZACOWYWANIE NIEZAWODNOŚCI
NADAJNIKA RADIOWEGO

Tłumaczył: C. Niewiadomski¹⁾

WSTĘP

Niezawodność jest to właściwość wyrobu, zależna przede wszystkim od jego zdatności do pracy bez uszkodzeń i zdatności naprawczej, zapewniająca wykonanie zadania w zakresie ustalonym dla wyrobu [1]. Niezawodność wyrobów nienaprawialnych charakteryzuje się ich zdatnością do pracy bez uszkodzeń, którą określają liczbowo dostatecznie wyczerpująco trzy parametry: prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń, średni czas pracy bez uszkodzeń i intensywność uszkodzeń. Właściwość wyrobów naprawialnych, określają czas ich pracy między uszkodzeniami, charakteryzują natomiast poza tym czas pracy na uszkodzenie i parametr strumienia uszkodzeń, a zdatność naprawczą wyrobów naprawialnych określają liczbowo gotowość operacyjna i współczynnik przestoju. Ponadto stosuje się również inne parametry, gdy tego wymagają cele obliczeń [2, 6]. Wartości liczbowe każdego parametru dowolnego wyrobu stanowią charakterystykę jego niezawodności.

Obliczanie parametrów niezawodności nawet tak prostych wyrobów, jak oporniki i kondensatory, jest bardzo

¹⁾ A.G. Wolpin. Osnownyje poniatia i rasczot nadiożnosti radiopieriedatczika, Izdat. Swiaź, Moskwa (1965).

skomplikowane, wobec czego parametry niezawodności określa się doświadczalnie. Jednakże nawet dwa jednakowe wyroby mają różną niezawodność, ponieważ ich elementy składowe charakteryzują się rozrzutem parametrów i różną jakością, w związku z czym do określenia charakterystyk niezawodności dowolnego wyrobu nie wystarcza przeprowadzenie badań jednej próbki, co zmusza do korzystania z danych otrzymanych przy badaniach lub eksploatacji dużej liczby wyrobów określonego typu. Z tego wynika, że aparatem matematycznym, z którego korzysta się do obliczania parametrów niezawodności, powinny być teoria prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. Tym niemniej nie oznacza to, że do oceny niezawodności nowego wyrobu należy czekać do otrzymania wyników jego eksploatacji.

Większość wyrobów składa się bowiem z elementów, których parametry niezawodności są z góry znane z wyników uprzednio przeprowadzonych badań, wobec czego, korzystając z metod teorii prawdopodobieństwa, parametry nowego (projektowanego) wyrobu można oszacować. Poza tym, znając parametry niezawodności elementów składowych, projektowanego wyrobu, można przedsięwziąć środki w celu polepszenia niezawodności wyrobu w całości.

Z powyższego widać, że do oszacowania niezawodności wyrobu trzeba znać parametry niezawodności jego części składowych. Częściami tymi mogą być elementy (oporniki, kondensatory, lampy lub elementy półprzewodnikowe) albo zespoły (wzmacniacze, układy spustowe, krotniki częstotliwości) o znanych parametrach niezawodności. W taki

sposób podstawą oszacowania niezawodności jest zasada określania parametrów niezawodności systemów z parametrów niezawodności elementów składowych tych systemów.

Do scharakteryzowania niezawodności wyrobów naprawialnych duże znaczenie ma uwzględnienie również zdolności naprawczej, która charakteryzuje racjonalność przyjętej konstrukcji.

Współczesny nadajnik jest stosunkowo skomplikowanym systemem, składającym się z dużej liczby różnych elementów. Oszacowanie niezawodności takiego systemu jest to zadanie skomplikowane i ważne, którego rozwiązanie w każdym konkretnym przypadku umożliwia skonstruowanie nadajnika odznaczającego się dużą niezawodnością.

R o z d z i a ł 1

1. PODSTAWOWE POJĘCIA NIEZAWODNOŚCI

1.1. Podstawowe parametry charakteryzujące niezawodność

Jak wspomniano wyżej, zasadniczym aparatem matematycznym, z którego korzysta się do oszacowania niezawodności, jest teoria prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. Wobec powyższego parametry charakteryzujące niezawodność mają charakter probabilistyczny, a ich wartości liczbowe mogą być otrzymane przez obróbkę statystyczną wyników dużej liczby badań.

Niżej podano podstawowe parametry stosowane do oszacowania niezawodności oraz przedstawiono ich wzajemne

zależności. Określenia tych parametrów i ich analityczny zapis podano w postaci statystycznej.

Prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń $P(t)$ (wierojątność bezotkazowej roboty) jest to prawdopodobieństwo niewystępowania uszkodzenia w przyjętym przedziale czasu.

Dla prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń słuszną są poniższe oczywiste zależności

$$0 \leq P(t) \leq 1; \quad P(0) = 1; \quad P(\infty) = 0.$$

Przybliżone określenie prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń wyrobu w przyjętym okresie czasu jest możliwe przez zbadanie pewnej liczby wyrobów danego typu oraz ustalenie liczby wyrobów nie uszkodzonych lub uszkodzonych w tym okresie czasu

$$P(t) \approx \frac{N(t)}{N_0} = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (1)$$

przy czym

N_0 - liczba badanych wyrobów,

$N(t)$ - liczba wyrobów nie uszkodzonych w czasie badania t ,

$n(t)$ - liczba wyrobów uszkodzonych podczas badania.

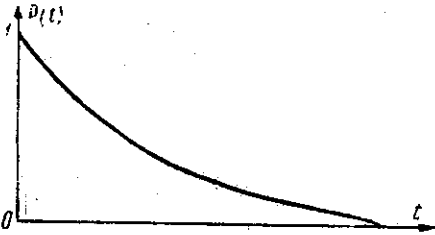
Z kolei $n(t)$ oblicza się z równania

$$n(t) = \sum_{i=1}^{\frac{t}{\Delta t}} n_i$$

w którym

n_i - liczba wyrobów uszkodzonych w przedziale Δt ,
 t - czas, dla którego określa się prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń.

Typową zależność prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń od czasu przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Typowy przebieg w czasie prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń

Wraz z prawdopodobieństwem pracy bez uszkodzeń do scharakteryzowania niezawodności można posługiwać się prawdopodobieństwem występowania uszkodzenia $Q(t)$, które można wyznaczyć z równania

$$Q(t) \approx \frac{\sum_{i=1}^{\frac{t}{\Delta t}} n_i}{N_0} = \sum_{i=1}^{\frac{t}{\Delta t}} \frac{n_i}{N_0} .$$

Ponieważ praca bez uszkodzeń i uszkodzenia są dla każdego urządzenia stanami przeciwstawnymi, wobec tego

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (2)$$

Średni czas pracy bez uszkodzeń T (średnieje vrijeme bezotkaznoj raboty) jest to wartość oczekiwana czasu bezwzględnej pracy wyrobu do jego pierwszego uszkodzenia. Średni czas pracy bez uszkodzeń jednego wyrobu można obliczyć sposobem przybliżonym z równania

$$T \approx \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (3)$$

gdzie t_i - czas pracy bez uszkodzeń i -go wyrobu.

Do określenia średniego czasu pracy bez uszkodzeń z równania (3) należy znać momenty uszkodzenia każdego kontrolowanego wyrobu, które jednakże nie zawsze są znane.

Jeżeli znana jest liczba uszkodzonych wyrobów w kolejnych przedziałach czasu, średni czas pracy bez uszkodzeń można obliczyć z następującego, innego równania

$$T \approx \frac{\sum_{i=1}^m n_i t_{sr\ i}}{N_0} = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_0} t_{sr\ i}, \quad (4)$$

w którym $t_{sr\ i}$ jest to czas do połowy i -tego przedziału czasu Δt_i , w ciągu którego nastąpiło uszkodzenie n_i wyrobów.

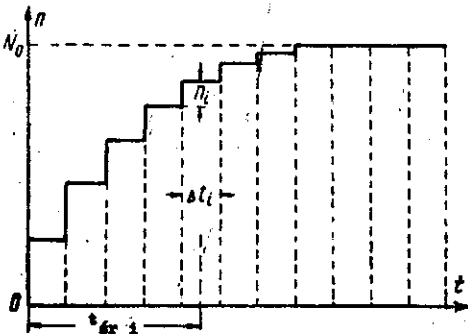
W celu ustalenia zależności między średnim czasem pracy bez uszkodzeń i prawdopodobieństwem pracy bez uszkodzeń rozpatrzmy równanie (4) i histogram na rys. 2, przedstawiający funkcję

$$n(t) = \sum_{i=1}^{\frac{t}{\Delta t}} n_i,$$

określającą zależność liczby uszkodzonych wyrobów od czasu. W funkcji tej n_i przedstawia przyrosty liczby wyrobów wadliwych.

Dzieląc kolejno wartości tej funkcji przez N_0 , otrzymuje się zależność prawdopodobieństwa uszkodzenia

$$Q(t) = \frac{n(t)}{N_0} = \sum_{i=1}^{\frac{t}{\Delta t}} \frac{n_i}{N_0},$$



Rys. 2. Zależność liczby wyrobów uszkodzonych od czasu

w której n_i/N_0 można rozpatrywać jako przyrost prawdopodobieństwa uszkodzenia $\Delta Q(t)$.

Wobec tego zależność (4) można przedstawić w postaci

$$T \approx \sum_{i=1}^m \Delta Q(t) t_{sr i},$$

której wartość graniczna ma postać

$$T = \int_0^{\infty} t dQ(t)$$

lub

$$T = \int_0^{\infty} t Q'(t) dt. \quad (5)$$

Ponieważ w chwili uszkodzenia wszystkich wyrobów $dQ(t) = 0$ oraz ponieważ wówczas $Q'(t) = 0$, nie ma wobec tego konieczności ograniczania górnej granicy całkowania. Dolną granicą całkowania jest natomiast zero, gdyż czas nie może przyjmować wartości ujemnych.

Pochodna prawdopodobieństwa uszkodzenia w czasie $Q'(t)$ nazywa się gęstością prawdopodobieństwa uszkodzeń lub częstością uszkodzeń.

Z wyrażenia (2) otrzymuje się

$$Q'(t) = -P'(t),$$

a po podstawieniu w wyrażeniu (5) zamiast $Q'(t)$ równemu $-P'(t)$ oraz po scałkowaniu przez części otrzymuje się z kolei

$$T = - \int_0^{\infty} tP'(t) dt = -tP(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt.$$

Ponieważ zaś

$$tP(t) \Big|_0^{\infty} = 0,$$

wobec tego

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt,$$

W taki sposób średni czas pracy bez uszkodzeń równa się liczbowo powierzchni ograniczonej krzywą prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń i osiami współrzędnych.

Intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$ (intensywność otkazów) jest to stosunek liczby wyrobów uszkodzonych w pewnym przedziale czasu do liczby wyrobów zdatnych do pracy na początku tego przedziału

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{N(t) \Delta t}, \quad (6)$$

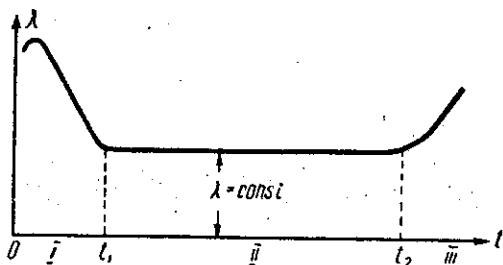
przy czym

Δt - przedział czasu,

$\Delta n(t)$ - liczba wyrobów uszkodzonych w czasie Δt ,

$N(t)$ - liczbą wyrobów pracujących bezwadliwie
na początku przedziału Δt .

Typową krzywą intensywności uszkodzeń, składającą się z trzech odcinków, przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Typowa krzywa zależności intensywności uszkodzeń wyrobów od czasu

Odcinek I od 0 do t_1 charakteryzuje się zmniejszaniem się intensywności uszkodzeń, co wynika z występowania w tym okresie uszkodzeń wyrobów wadliwych. Odcinek ten nazywa się okresem docierania.

Odcinek II od t_1 do t_2 charakteryzuje się w przybliżeniu stałą intensywnością uszkodzeń i odpowiada czasowi normalnej pracy wyrobów. Czas trwania tego okresu nazywa się niekiedy umownym czasem życia.

Odcinek III, zaczynający się po t_2 , charakteryzuje się zwiększaniem się uszkodzeń wskutek zużycia.

Rozpatrzmy obecnie zależności między intensywnością uszkodzeń, prawdopodobieństwem pracy bez uszkodzeń i średnim czasem pracy bez uszkodzeń. I tak z równania (1) wynika, że liczby wyrobów pracujących bez uszkodzeń w chwilach t i $t + \Delta t$ wynoszą odpowiednio:

$$N(t) = N_0 P(t) \quad (7)$$

$$N(t + \Delta t) = N_0 [P(t + \Delta t)],$$

wobec czego liczba wyrobów uszkodzonych w czasie Δt równa się

$$\Delta n(t) = N(t) - N(t + \Delta t) = N_0 [P(t) - P(t + \Delta t)] \quad (8)$$

Po podstawieniu do równania (6) wartości $\Delta n(t)$ i $N(t)$ z równań (7) i (8) otrzymuje się z kolei

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \frac{\Delta n(t)}{N(t) \Delta t} = \frac{N_0 [P(t) - P(t + \Delta t)]}{N_0 P(t) \Delta t} = \\ &= \frac{P(t) - P(t + \Delta t)}{P(t) \Delta t}, \end{aligned}$$

a przy dążeniu Δt do zera

$$\lambda(t) = - \frac{P'(t)}{P(t)}$$

Po scałkowaniu w granicach od 0 do t otrzymuje się następująco

$$\int_0^t \lambda(t) dt = -\ln P(t),$$

skąd

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (9)$$

wobec czego średni czas pracy bez uszkodzeń wynosi

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} dt.$$

Jeżeli intensywność uszkodzeń nie zależy od czasu ($\lambda = \text{const}$, vide odcinek II krzywej na rys. 3), wyrażenia prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń i średniego czasu pracy bez uszkodzeń przyjmują wtedy odpowiednio postać

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (10)$$

$$T = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (11)$$

Równanie (11) jest słuszne tylko dla okresu normalnej pracy wyrobu, gdy $\lambda = \text{const}$, to znaczy dla tych przypadków, w których obliczony z równania średni czas pracy bez uszkodzeń znajduje się w granicach $t_1 \leq t \leq t_2$ (vide rys. 3).

Wychodząc z równań (10) i (11), prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń i średni czas pracy bez uszkodzeń można związać zależnością

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T}} \quad (12)$$

z której widać, że przy rozkładzie wykładniczym prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń wyrobu w czasie równym jego średniemu czasowi pracy bez uszkodzeń wynosi

$$P_t = T = e^{-1} = 0,37$$

Czas pracy na uszkodzenie T_0 (narabotka na otkaz) jest to średni czas pracy bez uszkodzeń wyrobu naprawialnego między kolejnymi uszkodzeniami

$$T_0 \approx \frac{t}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (13)$$

przy czym

t - łączny czas bezwadliwej pracy wyrobu,

n - liczba uszkodzeń w czasie badania,

t_i - czas bezwadliwej pracy wyrobu między $(i-1)$ -ym oraz i -tym uszkodzeniem.

Z równania (11) widać, że przy rozkładzie wykładniczym uszkodzeń średni czas pracy bez uszkodzeń wyrobu nie zależy od chwili, od której zaczyna się liczyć czas. Dlatego też, jeżeli uszkodzenia wyrobów naprawialnych podlegają rozkładowi wykładniczemu, czas pracy na uszkodzenie tych wyrobów odpowiada średniemu czasowi pracy bez uszkodzeń

$$T_0 = T. \quad (14)$$

Gdy bada się kilka wyrobów jednego typu, których uszkodzenia podlegają rozkładowi wykładniczemu, przy obliczaniu czasu pracy na uszkodzenie można przyjąć, iż rozpatruje się tylko jeden wyrób, którego liczba uszkodzeń równa się łącznej liczbie uszkodzeń wszystkich wyrobów oraz którego czas pracy równa się sumie czasów pracy wszystkich badanych wyrobów. Przy takim założeniu czas pracy na uszkodzenie można obliczyć z równania (13).

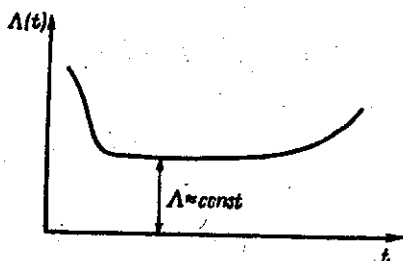
Parametr strumienia uszkodzeń $\Lambda_0(t)$ (parametr potoka otkazów) jest to średnia liczba uszkodzeń wyrobu naprawialnego w jednostce czasu:

$$\Lambda_0(t) \approx \frac{n(t)}{N \Delta t}, \quad (15)$$

przy czym

N - liczba badanych wyrobów,

$\Delta n(t)$ - liczba uszkodzeń tych wyrobów w czasie Δt bez uwzględnienia czasu przestoju.



Rys. 4. Typowa krzywa zależności parametru strumienia uszkodzeń wyrobu od czasu

4.

Doświadczenie wykazuje, że charakter zmiany parametru strumienia uszkodzeń systemu naprawialnego (rys. 4)

jest podobny do charakteru zmiany intensywności uszkodzeń elementów (rys. 3). Podobieństwo to jest wynikiem uszkodzeń wyrobu naprawialnego w okresie docierania wskutek uszkodzeń elementów złej jakości, podczas gdy w okresie normalnej pracy systemu parametr strumienia uszkodzeń zwiększa się wskutek zużycia elementów składowych systemu.

Stała wartość parametru strumienia uszkodzeń w okresie normalnej pracy systemu naprawialnego świadczy, że uszkodzenia takiego systemu występują w przybliżeniu w jednakowych przedziałach czasu, równych czasowi pracy systemu na jedno uszkodzenie

$$\Lambda_0 = \frac{1}{T_0} \quad (16)$$

Taki stan jest dowodem wykładniczego rozkładu uszkodzeń, dla którego jest słuszne równanie (14). Wychodząc z tego równania i uwzględniając zależność (16), można stwierdzić, że przy wykładniczym rozkładzie uszkodzeń systemu naprawialnego parametr strumienia uszkodzeń tego systemu równa się jego intensywności uszkodzeń

$$\Lambda_0 = \Lambda.$$

Dlatego też dalej we wszystkich przypadkach wykładniczego rozdziału uszkodzeń systemu naprawialnego będziemy posługiwać się określeniem intensywności uszkodzeń systemu, rozumiejąc przy tym, że jest ona również parametrem strumienia uszkodzeń systemu.

Gotowość operacyjna K_g (koefficyent gotownosti) jest to prawdopodobieństwo zdatności do pracy wyrobu w dowolnie wybranej chwili. Jednocześnie przyjmuje się przy tym, że wyrób jest niezdatny do pracy w czasie zużytym na jego naprawy po uszkodzeniach.

W postaci parametru gotowość operacyjna może charakteryzować niezawodność tylko wyrobów naprawialnych, gdyż dla wyrobów nienaprawialnych pojęcie gotowości operacyjnej traci sens wobec niepoddawania naprawie takich wyrobów po uszkodzeniu. Gotowość operacyjną określa się stosunkiem łącznego czasu bezwadliwej pracy wyrobu do czasu jego eksploatacji, to znaczy do łącznego czasu bezwadliwej pracy i przestojów wyrobu

$$K_g = \frac{t}{t_e} = \frac{t}{t + t_p} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n t_{pi}}, \quad (17)$$

przy czym

- t - łączny czas pracy bez uszkodzeń,
- t_e - czas eksploatacji wyrobu,
- t_p - łączny czas przymusowych przestojów,
- t_i - czas i -go przedziału czasu, w którym badany wyrób pracował normalnie (i -ty czas między uszkodzeniami),
- t_{pi} - czas i -go przymusowego przestoju.

Gotowość operacyjną można określić również w innej postaci, a mianowicie przez czas pracy na uszkodzenie T_o i średni czas przymusowego przestoju T_p , niezbędnego do wykrycia i usunięcia uszkodzenia.

Średni czas przymusowego przestoju także określa się statystycznie z danych eksploatacji wyrobu danego typu. Wynosi on

$$T_p = \frac{t_p}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{n} \quad (18)$$

przy czym n - liczba przymusowych przestojów wyrobu.

W przyjętym przedziale czasu eksploatacji wyrobu liczba przestojów wymuszonych równa się liczbie okresów pracy bez uszkodzeń lub jest od niej mniejsza o jedność.

Przy dostatecznie dużej liczbie badań można przyjąć, że liczba przestojów równa się liczbie okresów czasu pracy bez uszkodzeń, czyli że

$$t_e = t + t_p = nT_o + nT_p = n(T_o + T_p). \quad (19)$$

Z zależności (13), (17) i (19) wynika natomiast z kolei, że

$$K_g = \frac{t}{t_e} = \frac{nT_o}{n(T_o + T_p)} = \frac{T_o}{T_o + T_p}. \quad (20)$$

Tak więc gotowość operacyjna jest to stosunek czasu pracy na uszkodzenie do sumy czasu pracy na uszkodzenie

i średniego czasu przestoju przymusowego. Współczynnik ten jest ważnym parametrem niezawodności, określającym efektywność wykorzystania urządzenia w ciągu długotrwałego okresu czasu, przewyższającego kilkakrotnie jego czas pracy na uszkodzenie. Z gotowości operacyjnej można wnioskować o pracochłonności naprawy urządzenia po jego uszkodzeniu.

Znaczenie gotowości operacyjnej jako parametru niezawodności można przedstawić poniższym przykładem. Niech, na przykład, w wyniku badania dwóch urządzeń tego samego przeznaczenia ustalono, że czas pracy na uszkodzenie pierwszego urządzenia jest dwukrotnie większy niż drugiego

$$T_0' = 2 T_0''$$

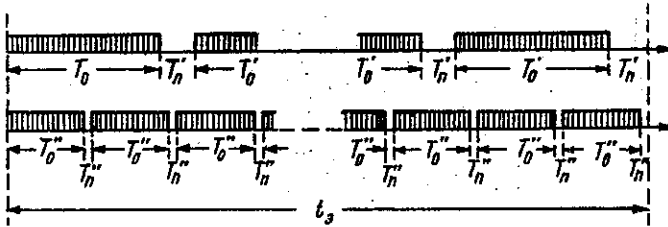
oraz że średni czas niezbędny do naprawy pierwszego urządzenia po jego uszkodzeniu jest pięciokrotnie większy niż drugiego

$$T_p' = 5 T_p''$$

i równy 0,1 czasu pracy na uszkodzenie (rys. 5)

$$T_p' = 0,1 T_0'$$

Określmy teraz gotowości operacyjne pierwszego i drugiego urządzenia oraz oszacujmy niezawodność eksploatacyjną tych urządzeń w czasie t_e . W tym celu, korzystając z równania (20) oraz uwzględniając, że $T_p' = 0,1 T_0'$,



Rys. 5. Rozkład czasu pracy i przymusowych przestojów dwóch urządzeń

otrzymujemy gotowość operacyjną pierwszego urządzenia

$$K'_g = \frac{T'_o}{T'_o + T'_p} = \frac{T'_o}{T'_o + 0,1 T'_o} \approx 0,91.$$

Natomiast gotowość operacyjną drugiego urządzenia znajdujemy z tego samego równania, uwzględniając, że $T''_p = 0,02 T'_o$ i że $T''_o = 0,5 T'_o$

$$K''_g = \frac{T''_o}{T''_o + T''_p} = \frac{0,5 T'_o}{0,5 T'_o + 0,02 T'_o} \approx 0,975.$$

Z przykładu widać, że chociaż czas pracy na uszkodzenie pierwszego urządzenia jest większy niż drugiego, efektywność jego wykorzystania jest mniejsza wskutek długotrwałych przestojów przymusowych.

Praktyka wykazuje, że pracochłonność naprawy złożonych urządzeń elektronicznych określa z zasady nie czas potrzebny do usunięcia uszkodzenia, lecz czas potrzebny do jego wykrycia. Niekiedy usunięcie uszkodzenia komplikuje dostęp do uszkodzonego elementu albo trudność jego wymiany.

Z powyższego wynika, że w celu zwiększenia gotowości operacyjnej należy dążyć nie tylko do zwiększenia czasu pracy na uszkodzenie, lecz również do zmniejszenia czasu przestojów przymusowych urządzenia.

Zasadniczymi czynnikami zmniejszającymi czas przestoju urządzeń są:

- dostępność do wszystkich jego elementów,
- szybkie wykrywanie uszkodzenia lub zapobieganie uszkodzeniu,
- wyłączenie we właściwym czasie urządzenia, zapobiegające przekształceniu się uszkodzenia w awarię.

Współczynnik przestoju K_p (koefficient prostoja) jest to prawdopodobieństwo niezdatności do pracy wyrobu w dowolnie wybranej chwili. Podobnie jak gotowość operacyjna może on charakteryzować niezawodność tylko wyrobów naprawialnych.

Statystycznie współczynnik przestoju określa się stosunkiem łącznego czasu przestojów przymusowych urządzenia do czasu jego eksploatacji, to znaczy do sumy czasów jego pracy bez uszkodzeń i przestojów

$$K_p = \frac{t_p}{t_e} = \frac{t_p}{t + t_p} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n t_{pi}} \quad (21)$$

Jeżeli są znane czas pracy na uszkodzenie i średni czas przestoju przymusowego urządzenia, współczynnik przestoju można wtedy obliczyć z wyrażenia

$$K_p = \frac{T_p}{T_o = T_p} \cdot \quad (22)$$

Gotowość operacyjna i współczynnik przestoju są związane zależnością

$$K_p = 1 - K_g \cdot \quad (23)$$

1.2. Zależność intensywności uszkodzeń elementów od warunków ich eksploatacji

Na niezawodność wyrobów wpływa wiele czynników, określonych warunkami eksploatacji wyrobów. Spośród nich można wymienić temperaturę otoczenia i szybkość jej zmiany, czynniki elektryczne, drgania, uderzenia, przyspieszenia liniowe, wilgoć, działanie wody morskiej, pleśń i grzyby, promieniowanie radioaktywne itd.

Czynniki te można uwzględniać z większą lub mniejszą dokładnością. Najbardziej przybliżony sposób polega na uwzględnieniu wpływu na intensywność uszkodzeń elementów nie każdego czynnika oddzielnie, lecz zbioru czynników charakterystycznych dla określonych warunków eksploatacji. I tak, na przykład, zbiór czynników wpływających na urządzenie zainstalowane na statku różni się od zbioru czynników działających na to samo urządzenie zainstalo-

wane na ziemi lub w samolocie. Różnice te uwzględnia się za pomocą współczynnika K , który wskazuje, ile razy zwiększają się intensywności uszkodzeń elementów składowych urządzenia w określonych warunkach w porównaniu z pewnymi warunkami umownymi, przyjętymi za odniesienie obliczeń.

W tabelicy 1 załącznika podano intensywności uszkodzeń λ_T , a na rys. 1a załącznika krzywą współczynników K [5, 6]. W tabelicy tej dla każdego elementu podano trzy wartości intensywności uszkodzeń, a mianowicie maksymalną, średnią i minimalną, odpowiadające jakości wyrobów, w których elementy są instalowane. W tej samej tabelicy podano również umowne czasy życia elementów, charakteryzujące ich okres normalnej pracy w warunkach laboratoryjnych. Na rys. 1b załącznika podano natomiast wykres współczynników poprawkowych K_L , przez które trzeba pomnożyć wartości umownych czasów życia podane w tabelicy w celu otrzymania wartości odpowiadających danym warunkom eksploatacji wyrobów.

Aby uwzględnić wpływ warunków eksploatacji na intensywność uszkodzenia elementu za pomocą wykresu na rys. 1a załącznika, trzeba pomnożyć wartości intensywności uszkodzeń podane w tabl. 1 załącznika przez współczynnik odpowiadający warunkom eksploatacji danego elementu, określony z wykresu na rys. 1a załącznika. I tak, na przykład, średnia wartość intensywności uszkodzeń oporników warstwowych (lp. 281 w tabelicy 1 załącznika) wynosi według tabelicy $\lambda_T = 0,03 \cdot 10^{-6}/\text{godz.}$, co oznacza, że ich średnia intensywność uszkodzeń w przypadku

eksploatacji w urządzeniach naziemnych ($K_1 = 10$, vide wykres na rys. 1a załącznika) wynosi

$$\lambda_1 = \lambda_T K_1 = 0,03 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 0,3 \cdot 10^{-6}/\text{godz.},$$

a w przypadku eksploatacji w samolotach ($K_2 = 200$)

$$\lambda_2 = \lambda_T K_2 = 0,03 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 6 \cdot 10^{-6}/\text{godz.}$$

Przy obliczaniu niezawodności całych urządzeń nie jest konieczne mnożenie przez odpowiedni współczynnik wartości intensywności uszkodzeń wszystkich elementów składowych urządzenia. Wystarczy bowiem oszacować intensywność uszkodzeń urządzenia z danych według tabl. 1 załącznika i następnie otrzymaną wartość pomnożyć przez współczynnik poprawkowy, odpowiadający warunkom eksploatacji tego wyrobu.

Dokładniejsze uwzględnienie wpływu warunków eksploatacji na intensywność uszkodzeń elementów może być uzyskane przez ocenę wpływu każdego wyżej wymienionego czynnika na elementy składowe rozpatrywanego systemu. Uwzględnienie to można przeprowadzić różnymi metodami, z których najdogodniejszą jest metoda opracowana przez G.W. Tarakanowa i W.N. Gluchowcową. Według tej metody intensywność uszkodzeń elementu w określonych warunkach eksploatacji otrzymuje się przez pomnożenie wartości intensywności uszkodzeń tego elementu przy eksploatacji jego w warunkach nominalnych przez tak zwane współczynniki eksploatacyjne intensywności uszkodzeń

$$\lambda = \lambda_0 a_1 a_2 a_3 \dots a_n, \quad (24)$$

gdzie

λ - intensywność uszkodzeń elementu podczas eksploatacji jego w określonych warunkach,

λ_0 - intensywność uszkodzeń elementu podczas eksploatacji jego w warunkach nominalnych,

$a_1, a_2, a_3 \dots a_n$ - współczynniki eksploatacyjne intensywności uszkodzeń charakteryzujące wpływ 1, 2, 3 ... n-go czynnika.

Intensywność uszkodzeń w warunkach nominalnych określają takie warunki pracy elementu, które zakład produkujący element uważa za normalne. Warunki te ustalają określoną temperaturę otoczenia (zwykle $+20^\circ\text{C}$), parametry elektryczne, wilgotność itd. Intensywności uszkodzeń elementów w nominalnych warunkach określa się doświadczalnie z danych statystycznych i nazywa się nominalnymi intensywnościami uszkodzeń.

W dalszych obliczeniach będziemy przyjmować, że nominalnym warunkom eksploatacji odpowiadają warunki pracy elementu w urządzeniach naziemnych, o konstrukcji średniej jakości. Przy takim założeniu nominalne wartości intensywności uszkodzeń można otrzymać drogą pomnożenia średnich wartości intensywności uszkodzeń z tabl. 1 załącznika przez współczynnik $K_1 = 10$.

Z równania (24) widać, że współczynniki eksploatacyjne intensywności uszkodzeń wskazują ilokrotnie zmienia

się intensywność uszkodzeń elementu przy zmianie każdego z czynników wymuszających w porównaniu do wartości tych czynników w warunkach nominalnych. Jest oczywiste, że gdy czynnik wpływający na intensywność uszkodzeń elementu ma wartość nominalną, odpowiadający jemu współczynnik intensywności uszkodzeń równa się jedności.

Uwzględnienie wszystkich podanych czynników jest stosunkowo skomplikowane i wymaga dysponowania dużą ilością danych. Dlatego też obecnie ogranicza się z zasady do uwzględnienia wpływu temperatury i parametrów elektrycznych.

I tak, na przykład, intensywność uszkodzeń, zmieniającą się wskutek wpływu podwyższonej lub niskiej temperatury, określa się z zależności

$$\lambda(t^{\circ}) = \lambda_0 a(t^{\circ}), \quad (25)$$

przy czym

$\lambda(t^{\circ})$ - intensywność uszkodzeń elementu przy temperaturze $t^{\circ}\text{C}$,

λ_0 - intensywność uszkodzeń elementu przy temperaturze przyjętej za normalną,

$a(t^{\circ})$ - współczynnik intensywności uszkodzeń elementu, charakteryzujący wpływ temperatury.

Współczynniki eksploatacyjne intensywności uszkodzeń przedstawia się graficznie w funkcji temperatury otoczenia. Wykresy tych zależności podano na rys. 2-8 złącznika.

Współczynniki eksploatacyjne intensywności uszkodzeń w funkcji parametrów elektrycznych pracy elementów oblicza się dla stosunków napięć, natężeń i mocy pracy do odpowiednich ich wartości znamionowych (lub dopuszczalnych). Stosunki te nazywa się współczynnikami obciążenia K_n .

I tak, na przykład, w przypadku oporników, diod i tranzystorów współczynniki obciążenia określa się przez stosunek obciążalności (mocy traconej) P_r do mocy znamionowej P_n

$$K_n = \frac{P_r}{P_n}, \quad (26)$$

a w przypadku kondensatorów - przez stosunek napięcia roboczego U_r do napięcia znamionowego U_n

$$K_n = \frac{U_r}{U_n}, \quad (27)$$

W przypadku lamp elektronowych wprowadza się dwa współczynniki obciążenia. Jeden z nich określa odchylenie od napięcia znamionowego żarzenia.

$$K_{n1} = \frac{U_z}{U_{zn}}, \quad (28)$$

gdzie

K_{n1} - współczynnik obciążenia charakteryzujący żarzenie,

U_z - napięcie przyłożone do obwodu żarzenia,

U_{zn} - napięcie znamionowe żarzenia,

a drugi - odchylenie od dopuszczalnej obciążalności jednej z elektrod

$$K_{n2} = \frac{P_r}{P_{rn}}, \quad (29)$$

gdzie

K_{n2} - współczynnik obciążenia charakteryzujący obciążalność,

P_r - obciążalność w warunkach pracy,

P_{rn} - obciążalność dopuszczalna przy pracy długotrwałej.

Do obliczeń należy stosować ten współczynnik obciążenia K_{n2} , którego wartość jest największa, podczas gdy pozostałe współczynniki pomija się. I tak, na przykład, jeżeli w przypadku tetrody współczynniki charakteryzujące obciążenie mają wartości $K'_{n2} = 0,9$ dla mocy traconej w anodzie, $K''_{n2} = 0,8$ dla mocy traconej w siatce ekranującej i $K'''_{n2} = 0,95$ dla mocy traconej w siatce sterującej; do obliczeń należy stosować współczynnik obciążenia w siatce sterującej $K_{n2} = K'''_{n2} = 0,95$.

Gdy elementy układu pracują w warunkach zmiennych temperatur, współczynniki eksploatacyjne intensywności uszkodzeń, określające zależność od parametrów elektrycznych, oblicza się nie dla temperatury normalnej, lecz dla wyższej temperatury, którą przyjęto równą $+90^{\circ}\text{C}$.

Obliczenia dla takiej temperatury zapewniają uniknięcie zaniżonych wartości intensywności uszkodzeń.

Na rysunkach 9+13 załącznika podano wykresy zależności współczynników eksploatacyjnych intensywności uszkodzeń od parametrów elektrycznych przy temperaturze normalnej i przy temperaturze $+90^{\circ}\text{C}$, a w tabl. 1 załącznika - wartości $\lambda_{i+90^{\circ}\text{C}}$ niektórych elementów. Za pomocą tych wykresów i tablicy można określić wartości intensywności uszkodzeń dla różnych obciążeń przy temperaturze $+90^{\circ}\text{C}$

$$\lambda_i = \lambda_{i+90^{\circ}\text{C}} b, \quad (30)$$

przy czym

λ_i - intensywność uszkodzeń elementu przy przyjętym obciążeniu i $t^{\circ} = +90^{\circ}\text{C}$,

$\lambda_{i+90^{\circ}\text{C}}$ - intensywność uszkodzeń elementu przy obciążeniu znamionowym i $t^{\circ} = +90^{\circ}\text{C}$,

b - współczynnik eksploatacyjny intensywności uszkodzeń, uwzględniający obciążenie, ustalony dla temperatury $t^{\circ} = +90^{\circ}\text{C}$.

Na rysunkach 14+20 załącznika przedstawiono zbiory zależności $a = f(t^{\circ})$ dla różnych wartości współczynników obciążenia K_n . Za pomocą tych zależności można określić $a = \varphi(t^{\circ}, K_n)$ dla przyjętych temperatur i współczynników obciążenia.

W tablicy 3 załącznika zestawiono niektóre rodzaje elementów i wzory, z których można obliczyć intensywno-

ści uszkodzeń elementów, posługując się wykresami o liczbach porządkowych podanych w tej samej tablicy.

Rozpatrzmy obecnie dwa przykłady uwzględnienia wpływu parametrów elektrycznych i temperatury na intensywność uszkodzeń elementów przez zastosowanie współczynników eksploatacyjnych intensywności uszkodzeń.

Przykład 1.

Należy określić intensywność uszkodzeń opornika warstwowego MŁT-0,5-1 kom II, pracującego w urządzeniu naziemnym pod napięciem $U = 12$ V, przy temperaturze otoczenia $t^{\circ} = +70^{\circ}\text{C}$.

1. Z tablicy 1 załącznika (lp. 281) znajduje się średnią wartość intensywności uszkodzeń dla tego typu oporników warstwowych

$$\lambda_T = 0,03 \cdot 10^{-6} / \text{godz.},$$

po czym, mnożąc przez $K_1 = 10$, otrzymuje się

$$\lambda_0 = 0,03 \cdot 10^{-5} / \text{godz.}$$

2. W celu określenia współczynnika obciążenia oblicza się najpierw obciążalność (moc traconą) opornika

$$P_r = \frac{U^2}{R} = \frac{12^2}{1000} = 0,144 \text{ W},$$

a ponieważ moc znamionowa opornika wynosi $P_n = 0,5$ W, współczynnik obciążenia równa się

$$K_n = \frac{P_r}{P_n} = \frac{0,144}{0,5} = 0,288 \approx 0,3.$$

3. Z tablicy 3 załącznika znajduje się odpowiedni wykres i wzór obliczeniowy, a ponieważ opornik MHT jest warstwowy i według założenia pracuje w nienormalnych warunkach, współczynnik eksploatacyjny intensywności uszkodzeń znajduje się z wykresu na rys. 16 załącznika, przyjmując wartości $K_n = 0,3$ i $t^0 = +70^0\text{C}$

$$a_4 = 0,73.$$

Ze wzoru podanego w tablicy wynika z kolei, że

$$\lambda_i = \lambda_{i0} a_4 = 0,03 \cdot 10^{-5} \cdot 0,73 = 0,0219 \cdot 10^{-5}/\text{godz.}$$

Przykład 2.

Należy określić intensywność uszkodzeń diody krzemowej D214, pracującej przy temperaturach wahających się od $+10^0\text{C}$ do $+90^0\text{C}$, przy czym prąd wyprostowany diody wynosi $I = 3\text{A}$, a spadek napięcia na diodzie $U = 0,6\text{V}$.

Zgodnie z atestem producenta dopuszczalny prąd diody wynosi $I_{\text{max}} = 5\text{A}$, a spadek napięcia przy tym prądzie - co najwyżej $U_{\text{max}} = 1\text{V}$.

1. Ponieważ temperatura pracy diody jest zmienna, w obliczeniach będzie uwzględniona najbardziej niebezpieczna temperatura, to jest $+90^0\text{C}$.

Z tablicy 2 załącznika, podającej intensywności uszkodzeń przy $t^{\circ} = +90^{\circ}\text{C}$, otrzymuje się dla diody krzemowej

$$\lambda_{i+90^{\circ}\text{C}} = 9 \cdot 10^{-6} / \text{godz.}$$

2. Z kolei określa się współczynnik obciążenia. W tym celu oblicza się rzeczywiste P_r i dopuszczalne obciążenie (moc traconą) diody

$$P_r = UI = 0,6 \cdot 3 = 1,8 \text{ W}$$

$$P_{\text{max}} = U_{\text{max}} I_{\text{max}} = 1 \cdot 5 = 5 \text{ W,}$$

wobec czego współczynnik obciążenia wynosi

$$K_n = \frac{P_r}{P_{\text{max}}} = \frac{1,8}{5} = 0,36.$$

3. Za pomocą tablicy 3 załącznika znajduje się odpowiedni wykres (rys. 11 załącznika) i wzór obliczeniowy.

Z wykresu dla $K_n = 0,36$ otrzymuje się $b_2 = 0,7$, wobec czego

$$\lambda_i = \lambda_{i+90} \cdot b_2 = 9 \cdot 10^{-6} \cdot 0,7 = 6,3 \cdot 10^{-6} / \text{godz.}$$

R o z d z i a ł 2

2. OSZACOWANIE NIEZAWODNOŚCI

2.1. Określenie niezawodności nadajników
z danych statystycznych ich eksploatacji

W celu określenia niezawodności urządzeń z danych statystycznych pożądaną jest dysponowanie wynikami możliwie dużej liczby badań. Jednakże uzyskanie dużej liczby danych statystycznych z eksploatacji urządzeń tak dużej mocy, jakimi są nadajniki, jest niekiedy trudne, wobec czego trzeba ograniczać się do danych z kilkudziesięciu lub niekiedy z kilku urządzeń.

Jakkolwiek dane te są niewystarczające do ustalenia rodzaju rozkładu uszkodzeń, jeżeli on nie jest uprzednio znany, można je jednak wykorzystać do oszacowania niektórych wskaźników niezawodności. Poza tym za pomocą ograniczonej liczby danych statystycznych można sprawdzić również zgodność z oczekiwanym rozkładem uszkodzeń w czasie.

Gdy natomiast rodzaj rozkładu uszkodzeń jest uprzednio znany, wtedy ze stosunkowo niewielkiej liczby danych można ustalić prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń w określonych przedziałach czasu. I tak, ponieważ prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń urządzeń składających się z dużej liczby elementów podlega rozkładowi wykładniczemu, w takim przypadku z niewielkiej liczby badań można określić czas pracy na uszkodzenie ze wzo-

ru (13) i prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń ze wzoru (12).

Do oceny dokładności otrzymanych wyników korzysta się ze wzorów statystyki matematycznej. Wzory te umożliwiają ustalenie przedziałów, w których może znajdować się błąd, jeżeli wiarygodność przedziałów była uprzednio podana. Jest oczywiste, że im większa jest wymagana wiarygodność przedziałów, tym szersze będą te przedziały.

Wiarygodne granice średniej wartości zmiennych losowych o rozkładzie wykładniczym można określić z poniższych zależności [3]:

$$X_{og} = r_1 X', \quad \text{i} \quad X_{od} = r_2 X', \quad (31)$$

w których

$$X'_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i - \text{średnia wartość } n \text{ zmiennych losowych,}$$

X_{og} i X_{od} - odpowiednio górna i dolna granica wiarygodności średniej wartości zmiennej losowej X , podlegającej rozkładowi wykładniczemu,

r_1 i r_2 - parametry określające wiarygodne wartości graniczne dla n zmiennych losowych i przyjętego poziomu ufności α (vide tabl. 4-a i b załącznika).

Przykład oszacowania niezawodności nadajnika z danych statystycznych podano niżej.

P r z y k ł a d 1.

Niech w wyniku eksploatacji sześciu nadajników jednego typu stacji nadawczej otrzymano dane dotyczące czasów pracy między uszkodzeniami tych nadajników oraz ich przymusowych przestojów w pewnym okresie czasu, które podano w tabl. 1. Wiadomo, że każdy nadajnik do przedziałów pracy podanych w tablicy pracował około 1000 godzin, co odpowiada okresowi docierania elementów.

Należy określić średni czas pracy między uszkodzeniami nadajnika danego typu w warunkach eksploatacji stacji nadawczej, przedział ufności tego czasu przy poziomie ufności 0,9, średni czas wymuszonego przestoju i gotowość operacyjną. Ponadto z danych eksploatacyjnych należy określić zależność prawdopodobieństwa uszkodzenia nadajnika od czasu oraz porównać otrzymaną zależność z rozkładem wykładniczym prawdopodobieństwa uszkodzeń, ustalonym z wartości średniego czasu pracy między uszkodzeniami.

Obliczenia

Przyjmijmy, że niezawodność wszystkich nadajników jest jednakowa. Takie założenie usprawiedliwia jednakowo typ wszystkich nadajników oraz przepracowanie przez nie w przybliżeniu jednakowej liczby godzin do podanego w tablicy okresu eksploatacji.

Poza tym przyjmijmy, że uszkodzenie dowolnego nadaj-

nika jest zdarzeniem losowym i niezależnym. Takie założenie jest możliwe, ponieważ wszystkie nadajniki pracowały liczbę godzin niezbędną do dotarcia elementów, lecz niewystarczającą do wystąpienia ich okresu starzenia. Z tego wynika z kolei, że intensywności uszkodzeń elementów nadajnika w okresie badania można uważać za wielkości stałe.

Z powyższego wynika, że badanie sześciu nadajników w danym przykładzie, które uszkodziły się 45 razy (vide tabl. 1), jest równoważne pod względem obliczania niezawodności badaniu 45 nadajników jednego typu do ich pierwszego uszkodzenia lub badaniu jednego nadajnika, który uszkodził się podczas eksploatacji 45 razy.

1. Średni czas pracy między uszkodzeniami

Przy oszacowaniu średniego czasu pracy między uszkodzeniami przyjmujemy, że badano jeden nadajnik, który podczas eksploatacji uszkadzał się i był naprawiany 45 razy. Do oszacowania posługujemy się zależnością (13) i danymi z eksploatacji, zestawionymi w tabl. 1:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{3126 + 3473 + 2160 + 2635 + 2596 + 3062}{45} = \frac{17052}{45} = 380 \text{ godz.}$$

2. Przedział ufności średniego czasu pracy między uszkodzeniami przy poziomie ufności 0,9 (90%)

T a b l i c a 1

Dane eksploatacyjne sześciu nadajników jednego typu

Średni czas pracy między uszkodze- niami godz.	Nadajnik 1		Nadajnik 2		Nadajnik 3		Nadajnik 4		Nadajnik 5		Nadajnik 6	
	Średni czas pracy między uszkodze- niami godz.	godz.	Średni czas pracy między uszkodze- niami godz.	godz.	Średni czas pracy między uszkodze- niami godz.	godz.	Średni czas pracy między uszkodze- niami godz.	godz.	Średni czas pracy między uszkodze- niami godz.	godz.	Średni czas pracy między uszkodze- niami godz.	godz.
123	0,56	320	0,02	12	19,8	129	0,08	456	1,6	74	5,5	
318	9,25	736	10,2	1043	11,0	19	4,2	109	6,5	192	2,8	
1205	2,3	2	4,15	128	6,2	4	2,3	80	8,6	289	35	
28	2,3	519	8,1	567	1,8	218	22,0	816	12	548	1,35	
490	6,25	908	4,0	318	0,25	710	8,4	361	15,2	150	0,82	
624	3,8	228	2,1	92	2,5	1113	3,6	167	2,05	206	3	
126	23,5	442	6,2	-	-	442	13	607	3,2	1562	1,1	
212	12,2	204	17	-	-	-	-	-	-	41	4	
-	-	114	14	-	-	-	-	-	-	-	-	
$t_1 = 3126$	$t_{p1} = 60,2$	$t_2 = 3473$	$t_{p2} = 65,8$	$t_3 = 2160$	$t_{p3} = 47,7$	$t_4 = 2635$	$t_{p4} = 53,6$	$t_5 = 2596$	$t_{p5} = 49,1$	$t_6 = 3062$	$t_{p6} = 53,6$	

Do oszacowania będziemy posługiwać się zależnościami (31). Z tabl. 4 dla $n = 45$ i $\alpha = 0,9$ znajdujemy $r_1 = 1,23$ i $r_2 = 0,83$:

$$T_{\min} = r_1 T = 1,23 \cdot 380 = 466 \text{ godz.},$$

$$T_{\max} = r_2 T = 0,83 \cdot 380 = 316 \text{ godz.}$$

Oznacza to, że z przeprowadzonych 45 badań można stwierdzić z poziomem ufności 90%, iż średni czas pracy między uszkodzeniami tych nadajników znajduje się w granicach od $T_{\min} = 316$ godz. do $T_{\max} = 466$ godz.

3. Średni czas przestoju wymuszonego

Przy oszacowywaniu średniego czasu przestoju wymuszonego przyjmuje się, podobnie jak przy oszacowywaniu średniego czasu pracy między uszkodzeniami, że badano tylko jeden nadajnik, który uszkadzał się podczas eksploatacji 45 razy. Do oszacowania będziemy posługiwać się zależnością (18) i danymi z eksploatacji, zestawionymi w tabl. 1.

$$T_p = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{n} = \frac{60,2+65,8+47,7+53,6+49,1+53,6}{45} =$$

$$= \frac{330}{45} = 7,34 \text{ godz.}$$

4. Gotowość operacyjna

Wskaźnik ten oszacowuje się z zależności (20)

$$K_g = \frac{T}{T + T_p} = \frac{380}{380 + 7,34} = 0,981.$$

5. Zależność prawdopodobieństwa uszkodzenia nadajnika od czasu jego pracy

W celu wyznaczenia tej zależności przyjmujemy, że badaniu poddano do pierwszego uszkodzenia 45 nadajników jednego typu. Z tabl. 1 widać, że największy czas pracy bez uszkodzeń nadajnika wynosi 1562 godz., wobec czego jako czas badania nadajników przyjmijmy w zaokrągleniu 1600 godz. i podzielmy go na równe przedziały $\Delta t = 100$ godz.

Zestawmy tablicę 2 z podaniem w niej:

n_i - liczby uszkodzeń w kolejnych przedziałach czasu $\Delta t = 100$ godz. (przyrosty uszkodzeń),

$\frac{n_i}{N_0}$ - części, które te uszkodzenia stanowią w stosunku do łącznej liczby uszkodzeń,

$Q_i = \frac{\sum_{i=1}^i n_i}{N_0}$ - wartości prawdopodobieństw uszkodzeń, przedstawiające stosunki liczb uszkodzeń we wszystkich poprzednich przedziałach czasu do łącznej liczby uszkodzeń.

T a b l i c a 2

Zależność prawdopodobieństwa uszkodzenia nadajnika
od czasu jego pracy

Kolejne przedziały czasu, godz.		Przyro- sty u- szkodzeń	Części łącz- nej liczby uszkodzeń	Prawdopodo- bieństwa uszkodzeń
Początek	Koniec			
0	100	9	0,2	0,2
100	200	9	0,2	0,4
200	300	6	0,133	0,533
300	400	4	0,089	0,622
400	500	4	0,089	0,711
500	600	3	0,067	0,778
600	700	2	0,0444	0,8224
700	800	2	0,0444	0,8668
800	900	1	0,0222	0,8890
900	1000	1	0,0222	0,9112
1000	1100	1	0,0222	0,9334
1100	1200	1	0,0222	0,9556
1200	1300	1	0,0222	0,9778
1300	1400	0	0	0,9778
1400	1500	0	0	0,9778
1500	1600	1	0,0222	1,0000

6. Zależności prawdopodobieństwa uszkodzenia od cza-
su

Zależności te, oszacowane z wyrażenia

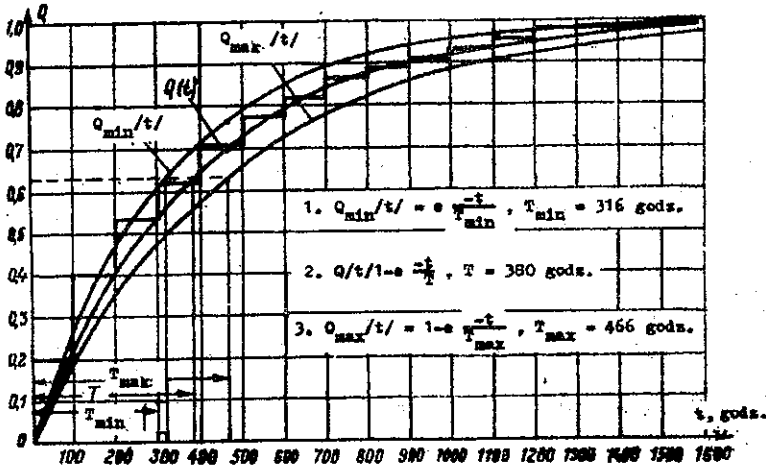
$$Q = 1 - e^{-\frac{t}{T}}$$

podano w tabl. 3 i na rys. 6 dla wartości $t = 380$ godz.,
 $T_{\min} = 316$ godz. i $T_{\max} = 466$ godz.

T a b l i c a 3

Zależności prawdopodobieństwa uszkodzeń od czasu

t , godz.	$T_{\min} = 316$ godz. $Q_{\min}(t)$	$T = 380$ godz. $Q(t)$	$T_{\max} = 466$ godz. $Q_{\max}(t)$
0	0	0	0,
100	0,267	0,23	0,195
200	0,462	0,405	0,345
300	0,614	0,450	0,473
400	0,717	0,651	0,577
500	0,798	0,736	0,657
600	0,851	0,792	0,722
700	0,892	0,842	0,777
800	0,922	0,878	0,820
900	0,946	0,907	0,855
1000	0,960	0,928	0,885
1100	0,970	0,945	0,910
1200	0,980	0,958	0,924
1300	0,984	0,968	0,940
1400	0,988	0,976	0,952
1500	0,991	0,981	0,964



Rys. 6. Zależności prawdopodobieństwa uszkodzeń od czasu, wyznaczone z danych statystycznych i oszacowane z wartości średniego czasu pracy między uszkodzeniami w określonym przedziale ufności przy poziomie ufności 0,9

2.2. Oszacowanie niezawodności nadajnika i jego zespołów z wskaźników niezawodności elementów składowych nadajnika

Elementy mogą być tak połączone w urządzeniu, że uszkodzenie chociażby jednego z nich powoduje niezdarność do pracy całego urządzenia. Takie połączenie nazywa się z punktu widzenia niezawodności szeregowo. Prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń urządzenia z szeregowym połączeniem elementów jest prawdopodobieństwem pracy bez uszkodzeń wszystkich elementów składowych urządzenia. Nadajnik i jego zespoły, jeżeli nie mają elementów rezerwowych, są właśnie urządzeniami z szeregowym połączeniem elementów.

Przy oszacowywaniu niezawodności nadajników i ich zespołów uwzględnia się tylko te uszkodzenia, które są lo-

sowe i niezależne, to znaczy takie, których nie można przewidzieć i które nie są spowodowane uszkodzeniami innych elementów składowych nadajnika. Takie podejście do zagadnienia jest możliwe, ponieważ uszkodzeniom nie losowym można zapobiec oraz ponieważ uszkodzenia wzajemnie zależne nie wpływają na niezawodność urządzeń z szeregowym połączeniem elementów, gdyż takie urządzenie staje się niezdatne do pracy po uszkodzeniu pierwszego elementu, czyli wskutek uszkodzenia niezależnego.

Ponieważ prawdopodobieństwo wystąpienia kilku niezależnych zdarzeń losowych jest równe iloczynowi prawdopodobieństw tych zdarzeń, wobec tego

$$P_u(t) = P_1(t) P_2(t) P_3(t) \dots P_N(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t), \quad (32)$$

gdzie

$P_u(t)$ - prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń urządzenia,

$P_i(t)$ - prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń i -tego elementu.

Korzystając z zależności (9), można zależność (32) przekształcić z kolei jak niżej

$$P_u(t) = e^{-\int_0^t \lambda_1(t) dt} e^{-\int_0^t \lambda_2(t) dt} e^{-\int_0^t \lambda_3(t) dt} \dots$$

$$\dots e^{-\int_0^t \lambda_N(t) dt} = e^{-\sum_{i=1}^N \int_0^t \lambda_i(t) dt} \quad (33)$$

Gdy niezawodność jest szacowana dla okresu czasu $t_1 \leq t \leq t_2$ (vide rys. 3), intensywność uszkodzeń można wtedy uważać za wartość stałą ($\lambda_i = \text{const.}$). W takim przypadku zależność (33) przyjmuje postać

$$P_u(t) = e^{-t \sum_{i=1}^m N_i \lambda_i} = e^{-\Lambda t}$$

w której

λ_i - intensywność uszkodzeń elementów i -tego typu,

N_i - liczba elementów o intensywności uszkodzeń

λ_i ,

Λ - intensywność uszkodzeń urządzenia.

W taki sposób, przy stałej intensywności uszkodzeń elementów, intensywność uszkodzeń urządzenia z szeregowym połączeniem elementów równa się sumie intensywności uszkodzeń jego składowych elementów

$$\Lambda = N_1 \lambda_1 + N_2 \lambda_2 + N_3 \lambda_3 + \dots + N_m \lambda_m = \sum_{i=1}^m N_i \lambda_i \quad (35)$$

Po określeniu intensywności uszkodzeń urządzenia Λ , nie jest trudno znaleźć prawdopodobieństwo jego pracy bez uszkodzeń $P_u(t)$ w dowolnym okresie czasu t (34) i średni czas pracy bez uszkodzeń T (11).

Niezbędne do obliczeń intensywności uszkodzeń elementów określa zależnie od wymaganej dokładności i posiadanych danych, jak to omówiono w rozdz. 1.2..

Poniżej podano przykłady oszacowania niezawodności poszczególnych zespołów nadajnika i całego nadajnika.

P r z y k ł a d 2.

Należy wykonać przybliżone oszacowanie niezawodności wzmacniacza mocy (człon III) nadajnika stacjonarnego (rys. 7).

Obliczenia

1. Intensywność uszkodzeń wzmacniacza mocy równa się sumie intensywności uszkodzeń jego elementów składowych. Wartości intensywności uszkodzeń elementów znajduje się z tabl. 1 załącznika.

I tak, na przykład, w przypadku lampy GU-23 B, która jest tetrodą mocy, przyjmuje się zgodnie z tą tablicą średnią intensywność uszkodzeń $\lambda_T = 10 \cdot 10^{-6}$ /godz. (lp. 405). Natomiast w przypadku kondensatora typu KSO przyjmuje się $\lambda_T = 0,075 \cdot 10^{-6}$ /godz. (lp. 95).

Tak samo znajduje się intensywności uszkodzeń innych elementów, które są zestawione w tabl. 4, otrzymując w rezultacie

$$\Lambda_{T \text{ wzm}} = \sum N_i \lambda_{T_i} = 25,12 \cdot 10^{-6} / \text{godz.}$$

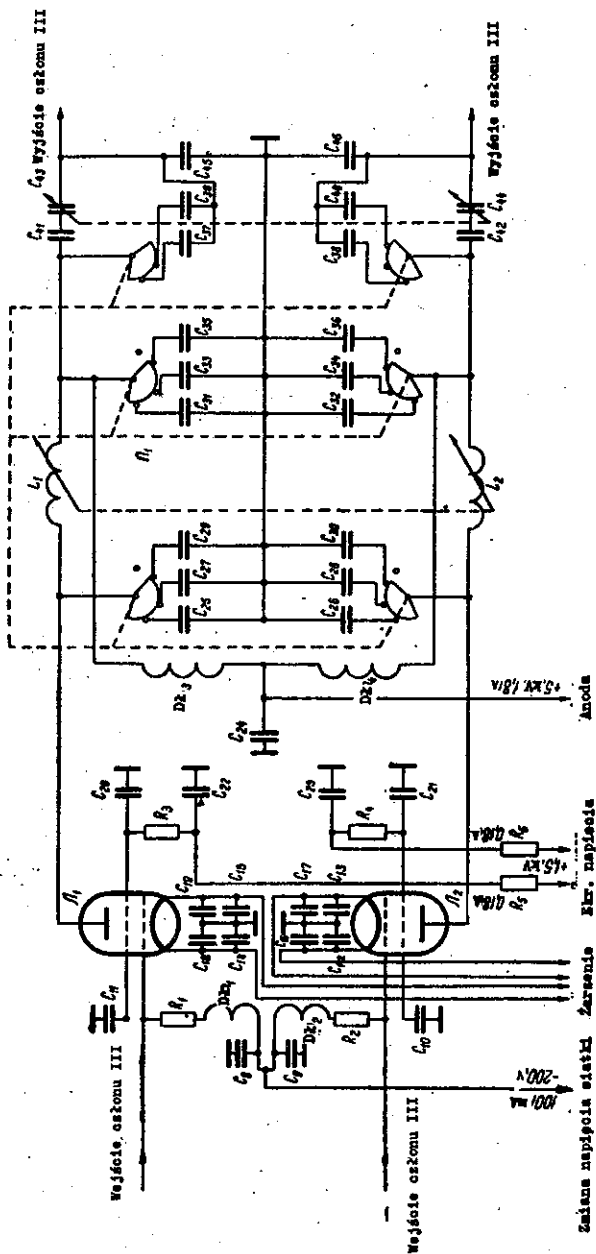
Ponieważ wzmacniacz jest przeznaczony do nadajnika stacjonarnego, otrzymaną wartość intensywności uszkodzeń trzeba pomnożyć przez $K = 10$ (vide wykres na rys. 1a załącznika), wobec czego

$$\Lambda_{\text{wzm}} = \Lambda_{T \text{ wzm}} \cdot K = 25,12 \cdot 10^{-5} / \text{godz.}$$

T a b l i c a 4

Orientacyjne oszacowanie intensywności uszkodzeń wzmacniacza mocy nadajnika

Nazwa i typ elementu	Liczba elementów N_i	Intensywność uszkodzeń $\lambda_{T_i} \cdot 10^6 / \text{godz.}$	Iloczyn $N_i \lambda_{T_i} \cdot 10^6 / \text{godz.}$
Lampa elektronowa	2	10	20
Kondensator mikowy KSO	4	0,075	0,3
Kondensator papierowy KBW	7	0,1	0,7
Kondensator porcelanowy KBGP	2	0,09	0,18
Kondensator papierowy MBGO	4	0,025	0,1
Kondensator ceramiczny KWKB	2	0,15	0,3
Kondensator powietrzny WM	18	0,1	1,8
Kondensator powietrzny nastawny	2	0,034	0,06
Opornik sylitowy	4	0,028	0,11
Potencjometr	2	0,087	0,17
Dławik	4	0,34	1,36
Cewka indukcyjna	2	0,02	0,04



Rys. 7. Schemat podstawowy wzmacniacza mocy nadajnika /człon III/;

Lampy elektronowe: L_{1-2} - 6U-28B; kondensatory mikrowe C_{2-9} - KSO-8-1000-10t, C_{10-11} - KSO-10-1,5-3t, C_{12-15} - kondensatory papierowe KBW-4-10-2t, C_{16-19} - MBGO 2-400-20, kondensatory porcelanowe C_{20-21} - KBGP-P-1-3-6, kondensatory ceramiczne C_{22-23} - KWKB-3-47-P, C_{24} - KWB-4-10-10-2t, kondensatory powietrzne C_{25-26} - WM, 150 pF, C_{27-28} - WM, 100 pF, C_{29-30} - WM, 100 pF, C_{31-32} - WM, 150 pF, C_{33-34} - WM, 100 pF, C_{35-36} - WM, 100 pF, C_{37-38} - WM, 50 pF, C_{39-40} - WM, 50 pF, C_{41-42} - KWB-4-10-2t, C_{43-44} - 0,005-0,1 /kondensator powistyczny nastawny/, C_{45-46} - 12,5 pF /kondensator powistyczny/; oporniki R_{1-4} - 50 /ohm/, R_{5-6} - potencjometry SP-60-1,5; cewka indukcyjna L_{1-2} - 8 uH; dzwinki siatkowe Dz_{1-2} - 55 uH, Dz_{3-4} - 40 uH; przełącznik z napędem od silnika P_1 - 21-stykowy

2. Prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń wzmacniacza w różnych okresach czasu można oszacować z zależności (34)

$$P_{wzm}(t) = e^{-\Lambda_{wzm} t} = e^{-25,12 \cdot 10^{-5} t}$$

Wyniki tych oszacowań podano w tabl. 5, a wykres zależności $P_{wzm}(t)$ na rys. 8.

Przykład 3.

Wykonać przybliżone oszacowanie intensywności uszkodzeń zasilacza napięcia ekranowania wzmacniacza mocy nadajnika (rys. 9).

Obliczenia

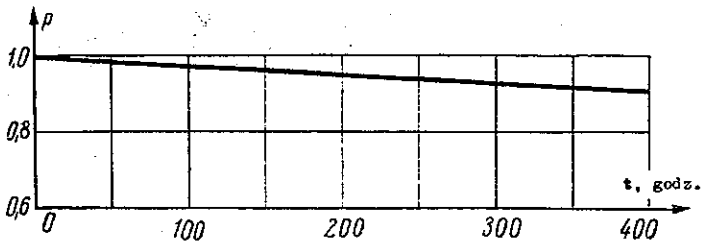
1. Podobnie jak w poprzednim przykładzie szacuje się intensywność uszkodzeń zasilacza. W tym celu podano w tabl. 6 wartości intensywności uszkodzeń elementów i obliczono ich sumę

$$\Lambda_{Tz} = \sum N_i \Lambda_{T_i} = 13,29 \cdot 10^{-6} / \text{godz.}$$

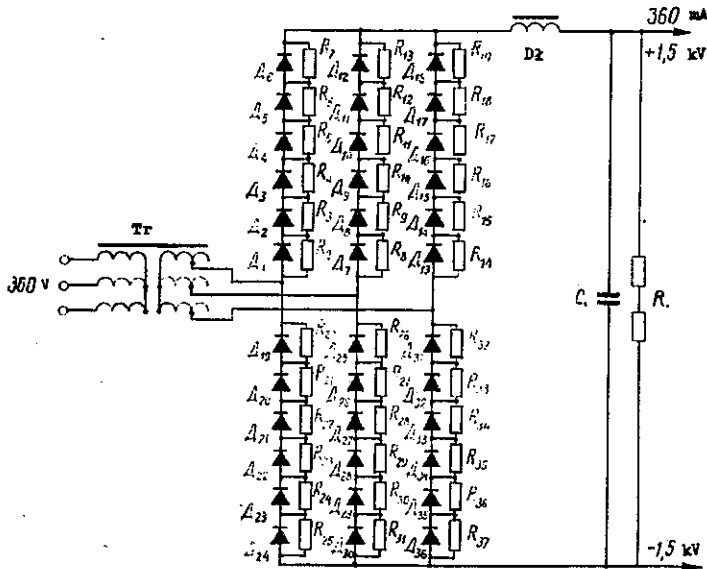
Tablica 5

Zależność prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń wzmacniacza mocy nadajnika (członu III) od czasu

t, godz.	0	50	100	150	200	250	300	350	400
$P_{wzm}(t)$	1	0,987	0,975	0,962	0,951	0,939	0,927	0,916	0,905



Rys. 8. Zależność prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń wzmacniacza mocy nadajnika od czasu



Rys. 9. Schemat podstawowy zasilacza napięcia ekranowania wzmacniacza mocy nadajnika:

R_1 - PEW-100-16K /połączono dwa szeregowo/; R_{2-37} - MET-1-120K-II; C_1 - KBG-P2-2-4-P; Tr_1 - 0,45 kVA /trójfazowy 380/1200 V/;
 D_1 - 10H, 0,35 A; D_{1-36} - D205

$$\Lambda_z = \Lambda_{Tz} \cdot K = 13,29 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 13,29 \cdot 10^{-5} / \text{godz.}$$

2. Prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń zasilacza wynosi

$$P_z(t) = e^{-\Lambda_z t} = e^{-13,29 \cdot 10^{-5} t}$$

W razie potrzeby prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń może być oszacowane z tej zależności dla dowolnego czasu t .

P r z y k ł a d 4.

Należy wykonać przybliżone oszacowanie¹⁾ niezawodności nadajnika (bez wzbudzacza) ze znanych wartości intensywności uszkodzeń jego zespołów (rys. 10, tabl. 7).

Obliczenia

1. Intensywność uszkodzeń nadajnika równa się sumie intensywności uszkodzeń jego zespołów

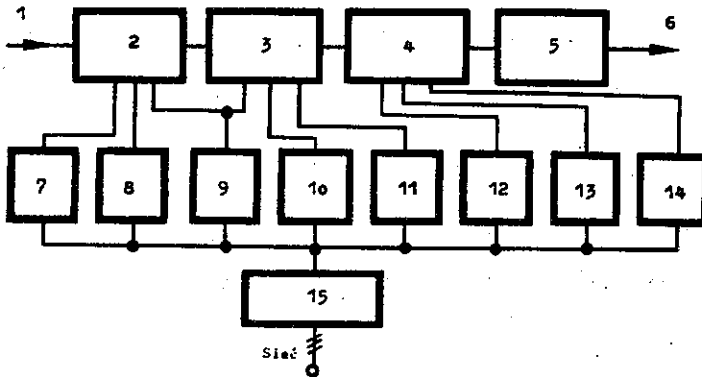
$$\Lambda_{\text{nad}} = \sum \Lambda_i = 289,41 \cdot 10^{-5} / \text{godz.}$$

1) Oszacowania intensywności uszkodzeń wzmacniacza mocy i zasilacza napięcia ekranowania (1,5 kV) podano w przykładach 2 i 3. W taki sam sposób oszacowano intensywności uszkodzeń pozostałych zespołów nadajnika.

T a b l i c a 6

Orientacyjne oszacowanie intensywności uszkodzeń zasilacza napięcia ekranowania wzmacniacza nadajnika

Nazwa i typ elementu	Liczba elementów N_i	Intensywność uszkodzeń $\lambda_{T_i} \cdot 10^6/\text{godz.}$	Ilożność $N_i \lambda_{T_i} \cdot 10^6/\text{godz.}$
Opornik drutowy PEW	2	0,087	0,174
Opornik warstwowy MHT	36	0,03	1,08
Kondensator porcelanowy KBG	1	0,025	0,025
Transformator trójfazowy	1	1,04	1,04
Dławik	1	0,175	0,175
Dioda D205	36	0,3	10,8



Rys. 10. Schemat zespołu nadajnika

1 - z generatora wzbudzającego; 2 - wzmacniacz niestabilizowany i pierwszy strojony człon 6E5P - 3 szt.; GU-29 - 2 szt.; 3 - drugi strojony człon Gu-81 - 2 szt.; 4 - trzeci strojony człon GU-28B - 2 szt.; 5 - miernik współczynnika fali odbitej; miernik mocy; filtr telewizyjny; przełącznik antenowy; 6 - do anteny; 7 - zasilacz stabiliz. 250 V, 55 mA; 8 - zasilacz stabiliz. -/0,5+1,5/V, -/1,5+2,4/V; 9 - zasilacz stabiliz. +600 V, 0,15 A; 10 - zasilacz stabiliz. -/100+130/V, 2 mA; 11 - zasilacz +2 kV, 0,4 A; 12 - zasilacz +1,5 kV, 0,36 A; 13 - zasilacz stabiliz. -/125+250/V, 80 mA; 14 - zasilacz +5,0 kV, 2 A; 15 - urządzenia zasilania prądem zmiennym i aparatura blokująca

T a b l i c a 7

Intensywność uszkodzeń zespołów nadajnika

Nazwa zespołu	Intensywność uszkodzeń $\Lambda_1 10^5/\text{godz.}$
Wzmacniacz niestrojony i pierwszy człon strojony	28,04
Drugi człon strojony	26,30
Wzmacniacz mocy (człon III)	29,12
Miernik współczynnika fali odbitej, miernik mocy, filtr telewizyjny i przełącznik antenowy	4,58
Zasilacz (stabilizowany) +250 V	19,01
Zasilacz (stabilizowany) -(1,5 + 24 V); -(0,5 + 1,9) V	4,15
Zasilacz (stabilizowany) +600 V	19,64
Zasilacz (stabilizowany) -(100 + 130 V)	11,56
Zasilacz +2 kV	19,96
Zasilacz +1,5 kV	13,29
Zasilacz (stabilizowany) -(125 + 250) V	17,47
Zasilacz +5 kV	31,38
Urządzenia zasilania prądem zmiennym i aparatura blokująco-sterująca	64,91

T a b l i c a 8

Zależność prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń nadajnika od czasu

t, godz.	0	50	100	150	200	250	300	350	400
$P_{\text{nad}}(t)$	1	0,865	0,748	0,647	0,561	0,484	0,420	0,365	0,290

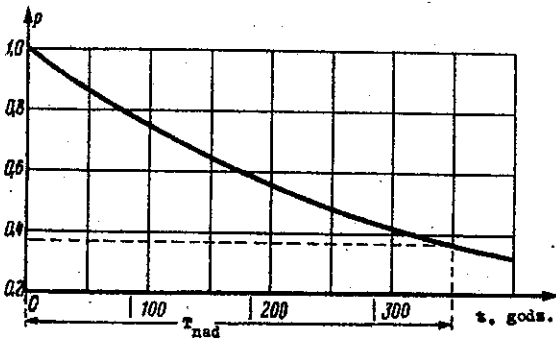
2. Średni czas pracy między uszkodzeniami nadajnika wynosi

$$T_{\text{nad}} = \frac{1}{\lambda_{\text{nad}}} = \frac{1}{289,41 \cdot 10^{-5}} = 346 \text{ godz.}^{1)}$$

3. Prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń nadajnika wynosi

$$P_{\text{nad}}(t) = e^{-\lambda_{\text{nad}} t} = e^{-289,41 \cdot 10^{-5} t}$$

Wyniki oszacowań według tej zależności podano w tabl. 8, a wykres zależności P_{nad} na rys. 11.



Rys. 11. Zależność prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń nadajnika od czasu

1) Otrzymany średni czas pracy między uszkodzeniami będzie realny tylko wtedy, gdy wszystkie elementy nadajnika w ciągu tego czasu będą mieć stałe intensywności uszkodzeń, czyli że okres 346 godz. powinien być mniejszy niż okres czasu normalnej pracy dowolnego elementu nadajnika (z zasady najmniejszy okres czasu normalnej pracy mają lampy elektronowe).

Przykład 5.

W warunkach przykładu 4 należy oszacować współczynnik przestoju nadajnika, jeżeli wiadomo, że średni czas niezbędny do wykrycia i usunięcia uszkodzenia wynosi u nadajnika 5 godz.

Obliczenie

Współczynnik przestoju określa się z zależności (22)

$$K_p = \frac{T_p}{T + T_p} = \frac{5}{346 + 5} = 0,0142.$$

Przykład 6.

Należy oszacować niezawodność wzmacniacza mocy nadajnika (człon III) z uwzględnieniem zwiększania się w wzmacniaczu temperatury do $+70^{\circ}\text{C}$ podczas jego pracy. Napięcia i prądy, określające warunki elektryczne pracy nadajnika, co podane w schemacie podstawowym (rys. 7).

Obliczenia

1. Oszacowanie niezawodności należy rozpocząć od określenia intensywności uszkodzeń elementów, zmienionych wskutek temperatury i warunków elektrycznych pracy.

Określmy najpierw, jak wpływają warunki pracy na intensywność uszkodzeń lamp GU-28B, których dopuszczalne warunki pracy są według warunków technicznych następujące:

- napięcie znamionowe żarzenia $U_n = 6,3 \text{ V}$,
- dopuszczalna obciążalność na anodzie $P_{a \text{ max}} = 6 \text{ kW}$,
- dopuszczalna obciążalność na siatce 1 $P_{g1 \text{ max}} = 200 \text{ W}$,
- dopuszczalna obciążalność na siatce 2 $P_{g2 \text{ max}} = 450 \text{ W}$.

Natomiast warunki pracy lampy w wzmacniaczu są poniższe:

- napięcie żarzenia $U_{\text{rob}} = 6,2 \text{ V}$,
- obciążalność na anodzie $P_{a \text{ rob}} = 4,5 \text{ kW}$,
- obciążalność na siatce 1 $P_{g1 \text{ rob}} = 40 \text{ W}$,
- obciążalność na siatce 2 $P_{g2 \text{ rob}} = 270 \text{ W}$.

Stąd współczynniki obciążeń wynoszą:

$$K_{n1} = \frac{U_{\text{rob}}}{U_n} = \frac{6,2}{6,3} = 0,98;$$

$$K_{n2}'' = \frac{P_{g2 \text{ rob}}}{P_{g2 \text{ maks}}} = \frac{270}{450} = 0,6;$$

$$K_{n2}' = \frac{P_{a \text{ rob}}}{P_{a \text{ maks}}} = \frac{4,5}{6,0} = 0,75;$$

$$K_{n2}''' = \frac{P_{g1 \text{ rob}}}{P_{g1 \text{ maks}}} = \frac{40}{200} = 0,2,$$

wobec czego do obliczeń przyjmujemy $K_{n1} = 0,98$ i $K_{n2} = K'_{n2} = 0,75$.

Wzór obliczeniowy i wykresy niezbędne do określenia intensywności uszkodzeń tetrad są podane z tabl. 3 załącznika. Z wykresu na rys. 9 załącznika znajduje się wartość $a_1 = 0,9$, a z wykresu na rys. 2 załącznika - wartość $a_4 = 1,85$, przyjmując, że $K_{n2} \approx 1$, ponieważ podana na tym wykresie zależność $a_4 = f(t)$ dotyczy tylko obciążeń znamionowych lamp.

Intensywność uszkodzeń lampy z uwzględnieniem warunków pracy znajduje się ze wzoru

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda_0 a_1 a_4 = 10 \lambda_T a_1 a_4 = 10 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 0,9 \cdot 1,85 = \\ &= 16,6 \cdot 10^{-5} / \text{godz.} \end{aligned}$$

Określmy z kolei wpływ warunków pracy na intensywność uszkodzeń kondensatorów mikowych C_{8-9} typu KS0-8-1000-10000.

Znając napięcie znamionowe kondensatora $U_n = 1000$ V i jego napięcie pracy $U_{rob} = E_{g1} = 200$ V, można znaleźć współczynnik obciążenia

$$K_n = \frac{U_{rob}}{U_n} = \frac{200}{1000} = 0,2.$$

Z tablicy 3 załącznika znajduje się z kolei liczbę porządkową wykresu i wzór obliczeniowy do określenia intensywności uszkodzeń kondensatorów mikowych. I tak z rys. 18 załącznika przy $K_n = 0,2$ i $t^0 = 70^{\circ}\text{C}$ $a_4 = 0,135$,

wobec czego intensywność uszkodzeń w warunkach pracy wynosi

$$\begin{aligned}\lambda &= \lambda_0 a_{\frac{1}{4}} = 10 \lambda_T a_{\frac{1}{4}} = 10 \cdot 0,075 \cdot 10^{-6} \cdot 0,135 = \\ &= 0,0101 \cdot 10^{-5} / \text{godz.}\end{aligned}$$

Tak samo określa się intensywności uszkodzeń wszystkich pozostałych elementów składowych członu III, których wartości zestawiono w tabl. 9.

Wobec tego intensywność uszkodzeń wzmacniacza wynosi

$$\Lambda_{\text{wzm}} = \sum N_i \lambda_i = 41,32 \cdot 10^{-5} / \text{godz.}$$

Otrzymana intensywność uszkodzeń wzmacniacza mocy wskazuje, że uwzględnienie warunków pracy elementów członu (przede wszystkim lamp) wnosi znaczne poprawki w porównaniu z orientacyjnym obliczeniem niezawodności tego zespołu (przykład 2).

P r z y k ł a d 7.

Należy oszacować niezawodność zasilacza napięcia ekranowania członu III (1,5 kV) z uwzględnieniem zwiększenia się temperatury do $+50^{\circ}\text{C}$ podczas pracy w zespole zasilacza. Napięcia i prądy podane są w schemacie podstawowym na rys. 9.

Obliczenia

Podobnie jak w poprzednim przykładzie szacuje się intensywność uszkodzeń elementów z uwzględnieniem warunków pracy zasilacza. Wyniki tych oszacowań zestawiono w tabl. 10.

Oszacowanie intensywności uszkodzeń wzmacniacza mocy (członu III) z uwzględnieniem warunków jego pracy

Nazwa i typ elementu	Oznaczenie na schemacie	Liczba elementów N_1	Intensywność uszkodzeń przy obciąż. znamion. $\lambda_{01} = 10 \lambda_{T1} \cdot 10^5 / \text{godz.}$	Współczynnik obciążenia K_{T1}	Współczynnik poprawkowy K_{T2} przy $t = +70^\circ\text{C}$	Intensywność uszkodzeń $\lambda_1 = \lambda_{01} \cdot a_1 \cdot 10^5 / \text{godz}$	Łączna intensywność uszkodzeń elementów $\lambda_1 N_1 \cdot 10^5 / \text{godz.}$
Lampa elektronowa GU-28B	E_{1-2}	2	10,0	0,98 0,9	0,9 1,05	16,6	33,2
Kondensator mikowy KSO	C_{8-9}	2	0,075	0,2	0,135	0,0101	0,0202
Kondensator mikowy KSO	C_{10-11}	2	0,075	0,8	1,0	0,075	0,15
Kondensator papierowy KBW	C_{12-15}	4	0,1	0,001	0,07	0,007	0,028
Kondensator papierowy KBW	C_{24}	1	0,1	0,5	0,4	0,04	0,04
Kondensator papierowy KBW	C_{41-42}	2	0,1	0,5	0,4	0,04	0,08
Kondensator porcelanowy KBGP	C_{20-21}	2	0,09	0,4	0,3	0,027	0,054
Kondensator papierowy MBBO	C_{16-19}	4	0,025	0,015	0,07	0,0018	0,007
Kondensator ceramiczny KWKB	C_{22-23}	2	0,175	0,4	0,3	0,052	0,104
Kondensator powietrzny WM ¹⁾	C_{25-40}	18	0,1	0,7	-	0,1 ^x	1,8
Kondensator powietrzny nastawny	C_{43-44}	2	0,034	0,6	-	0,034 ^x	0,068
Opornik sylitowy	R_{1-2}	2	0,028	0,01	0,9	0,025	0,05
Opornik sylitowy	R_{3-4}	2	0,028	0,03	0,9	0,025	0,05
Potencjometr SP	R_{5-6}	2	0,087	1,0	1,8	0,155	0,31
Dławik	D_{1-4}	4	0,34	1,0	-	0,34	1,32
Cewka indukcyjna	L_{1-2}	2	0,02	1,0	-	0,02 ^x	0,04
Przełącznik (21 styków)		1	0,19 styk		-	0,19 ^x styk	4,0

x) Przy szacowaniu intensywności uszkodzeń zaznaczonych gwiazdką nie uwzględniano wpływu warunków pracy wskutek niedysponowania danymi dla tych elementów. W tych przypadkach wartości intensywności uszkodzeń przyjęto równe intensywnościom w warunkach znamionowych pracy.

T a b l i c a 10

Oszacowanie intensywności uszkodzeń zasilacza napięcia ekranowania
 człona III (1,5 kV) z uwzględnieniem warunków jego pracy¹⁾

Nazwa i typ elementu	Oznaczenie na schemacie	Liczba elementów N_i	Intensywność uszkodzeń przy obciążeniu znamionowym $\lambda_{01} = 10 \lambda_{T_1} \cdot 10^5 \text{ gods.}^{-1}$	Współczynnik obciążenia K_N	Współczynnik poprawkowy a_1 przy $t_0 = +50^\circ\text{C}$	Intensywność uszkodzeń $\lambda_i = \lambda_{01} \cdot a_1 \cdot 10^5 \text{ gods.}^{-1}$	Łączna intensywność uszkodzeń elementów $\lambda_1 \sum N_i \cdot 10^5 \text{ gods.}^{-1}$
Opornik drutowy PZW	R_1	2	0,087	0,35	-	0,087 ^x	0,174
Opornik warstwowy MLT	R_{2-37}	36	0,08	0,13	0,55	0,014	0,508
Kondensator porcelanowy KBG	C_1	1	0,025	0,025	0,6	0,015	0,015
Transformator trójfazowy	T_{x1}	1	1,04	1,04	3,5	3,6	3,6
Dławik	DZ_2	1	0,175	0,175	3,5	0,62	0,62
Dioda D205	D_{1-36}	36	0,3	0,3	-	0,3 ^x	11,8

$$\lambda_{\Sigma} = \sum N_i \lambda_i = 16,7 \cdot 10^{-5} / \text{gods.}$$

^{x)}vide uwagi do tabl.9

Tablice i wykresy do określania intensywności uszkodzeń

T a b l i c a 1

Intensywności uszkodzeń i umowne czasy życia elementów według danych sympozjów krajowych

USA w 1961, 1962 i 1963 r. [5] 1)

Lp.	Nazwa elementu	Intensywność uszkodzeń				Umowny czas życia			
		T 10 ⁶ /godz.		L ₀ 10 ⁻⁶ godz.					
		maksymal.	średnia	minimal.	maksymal.	średnia	minimal.		
1	2	3	4	5	6	7	8		
1	Autotransformatory, wariaki	-	-	-	-	0,05	-		
2	Akumulatory	19,3	7,2	0,35	0,01 w	0,008 w	0,002 w		
3	Amortyzatory pierścieni, komplet	0,057	0,037	0,002	-	-	-		
4	Amperomierze	-	0,29	-	-	1,0 p	-		
5	Anteny	3,52	0,36	0,2	0,04	0,008	0,00004		

1) Typy analogicznych elementów, jeżeli są one produkowane w ZSRR, podano w nawiasach. Wymiar wartości intensywności uszkodzeń w rubrykach 3, 4 i 5 podano w 10⁶/godz., wobec czego w celu otrzymania wartości w 1/godz. trzeba podane wartości pomnożyć przez 10⁶. Niektóre wartości intensywności uszkodzeń mają pod kreską ułamkową skrót: z (zestyk), k (nóżka), s (szlaczko), zg (grupa zestyków) w (wprowadzenie), który wskazuje, że dana wartość dotyczy jednej części elementu. Jeżeli element ma kilka takich części, do otrzymania wartości intensywności uszkodzenia trzeba wartość podaną w tablicy pomnożyć przez liczbę części w elemencie. Literą n w lampach elektronowych odcyloskopowych oznaczono liczbę wyzutni elektronowych znajdujących się w lampie.

Wartości umownych czasów życia, podane w rubrykach 6, 7 i 8 bez oznaczeń, są rzędu 10⁻⁶. Oznaczenia w (włączenia lub wyłączenia), p (pomiar), c (cykle) u niektórych elementów wskazują, że wartości dla danych elementów, podane w tych rubrykach, określają po pomnożeniu ich przez 10⁶ liczbę wyłączeń, pomiarów itd.

(d.c. tabl.1)

1	2	3	4	5	6	7	8
6	Baterie jednorazowego ładowania	300	30	5	-	-	-
7	Baterie wielokrotnego ładowania	14,29	1,4	0,5	-	-	-
8	Wentylatory wyciągowe	9,0	0,225	0,21	-	-	-
9	Wibratory	1,6	0,875	0,2	-	-	-
10	Dmuchawy	3,57	2,4	0,342	-	-	-
11	Dmuchawy silnikowe	2,82	1,22	0,342	0,005	0,0025	0,001
12	Palowody	4,54	1,5	0,50	0,02	0,015	0,012
13	Palowody giętkie	4,54	2,64	1,133	-	-	-
14	Palowody sztywne	1,92	1,1	0,59	-	-	-
15	Wyprowadzenia wielkiej częstotliwości	4,22	2,63	1,131	-	-	-
16	Wyprowadzenia elektryczne	0,08	0,045	0,02	-	-	-
17	Wyłączniki szybkozłazające	2,1/z	0,4/z	0,09/z	0,05 w	0,00051 w	0,00005 w
18	Wyłączniki dźwigniowe typu Tumbler	0,123/z	0,06/z	0,015/z	0,1 w	0,05 w	0,0032 w
19	Wyłączniki samoczynne obwodu	0,949	0,1375	0,045	0,05 w	0,035 w	0,01 w
20	Wyłączniki magnetyczne obwodu	-	0,158	-	-	-	-
21	Wyłączniki ciepłne	0,5	0,3	0,028	-	-	-
22	Frostowniki	1,6	0,6	0,26	0,04	0,021	0,003
23	Frostowniki dużej mocy	-	-	0,26	-	-	-
24	Frostowniki selenowe	1,6	0,76	0,26	-	0,16	-
25	Generatory częstotliwości akustycznej	0,56	0,35	0,14	-	-	-

(d.c. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
26	Generatory oporowe	2,5	0,9375	0,045	0,01	0,0061	0,00131
27	Generatory prądu zmiennego	18,82	15,0	11,0	-	-	-
28	Generatory prądu stałego	21,0	12,4	2,84	0,02	0,006	0,002
29	Wyroskopy	17,23	15,0	0,88	-	-	-
30	Gniazdzka	0,02/k	0,01/k	0,002/k	-	0,001	-
31	Głowice zapisu magnetycznego i kasowania	1,9	0,98	0,13	-	-	-
32	Silniki asynchroniczne	11,2	8,6	4,49	-	-	-
33	Silniki wentylatorów	19,0	2,25	0,159	0,02	0,007	0,002
34	Silniki wodne	7,15	4,3	1,45	-	0,01	-
35	Silniki synchroniczne	6,25	0,359	0,159	-	-	-
36	Silniki suwowe	0,71	0,37	0,22	-	-	-
37	Uchwyty bezpieczników topikowych	0,1	0,02	0,008	-	-	-
38	Detektory kryształiczne	0,371	0,2	0,03	-	-	-
39	Przesłony kryzowe falowodów	0,06	0,0125	0,003	-	-	-
40	Diody półprzewodnikowe	1,47	0,2	0,16	-	0,2	-
41	Diody germanowe	0,678	0,157	0,002	-	-	-
42	Diody krzemowe	0,452	0,2	0,021	-	-	-
43	Diody z węgliku krzemu	0,55	0,1	0,002	-	-	-
44	Diody	3,0	1,42	0,018	-	-	-
45	Dławiki	2,22	0,34	0,07	0,1	0,015	0,001
46	Dławiki anodowe	0,091	0,02	0,005	-	-	-
47	Dławiki wielkiej częstotliwości	4,75	2,1	0,056	-	-	-

(d.c. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
48	Dławiki ławnicze	2,22	1,3875	0,555	-	-	-
49	Dławiki małej częstotl.	0,28	0,175	0,07	-	-	-
50	Dławiki nasycane	0,32	0,14	0,12	-	-	-
51	Zawieszki, szaczkki	0,0009	0,0005	0,0003	-	-	-
52	Ignitory, zapłonnikki ignitorów	0,81	0,02	0,01	-	-	-
53	Izolatory	1,54	0,05	0,03	-	-	-
54	Izolacja	0,72	0,5	0,011	-	-	-
55	Kable	2,2	0,475	0,002	-	-	-
56	Kanały chłodzenia ma- gnetrorna	0,697	0,075	0,04	-	-	-
57	Cewki	0,33	0,05	0,008	-	-	-
58	Cewki wielkiej często- tliwości	0,05	0,01	0,005	-	-	-
59	Cewki dławikowe	0,01	0,02	0,002	-	-	-
60	Cewki dławikowe anodowe	0,31	0,02	0,009	-	-	-
61	Cewki filtrów	0,25	0,03	0,012	-	-	-
62	Cewki indukcyjne	1,018	0,02	0,001	-	0,15	-
63	Cewki indukcyjne wyso- kiego napięcia	1,018	0,4	0,07	-	-	-
64	Cewki indukcyjne wielkiej częstotliwości stałe	0,25	0,15	0,011	-	-	-
65	Cewki indukcyjne wielkiej częstotliwości zmienne	0,25	0,2	0,019	-	-	-
66	Cewki indukcyjne impul- sowe	0,215	0,11	0,025	-	-	-
67	Cewki indukcyjne stro- jenkowe	0,02	0,008	0,001	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8
68	Cewki indukcyjne odchy- lające	0,33	0,025	0,02	-	-	-
69	Cewki indukcyjne odzabu- dzające	-	3,32	-	-	-	-
70	Cewki indukcyjne sku- piające	0,068	0,05	0,025	-	-	-
71	Cewki filtrów mocy	0,162	0,09	0,025	-	-	-
72	Cewki bezrozproszeniowe (solenoidalne)	0,091	0,04	0,02	-	-	-
73	Uzwojenia silników	0,045	0,03	0,01	-	-	-
74	Koła napędowe	0,1	0,025	0,02	-	-	-
75	Kompasy magnetyczne	-	8,66	-	-	-	-
76	Kondensatory	2,385	0,1	0,001	0,06	0,015	0,002
77	Kondensatory papierowe	0,29	0,05	0,003	0,016	0,01	0,0025
78	Kondensatory papierowe na napięcie do 500 V	0,04	0,025	0,01	-	-	-
79	Kondensatory papierowe na napięcie ponad 500 V	0,235	0,09	0,0083	-	-	-
80	Kondensatory poliamidowe	0,014	0,01	0,006	-	-	-
81	Kondensatory próżniowe	-	-	-	0,015	0,01	0,007
82	Kondensatory powietrzne nastawne	0,082	0,034	0,01	-	-	-
83	Kondensatory ceramiczne	1,64	0,15	0,042	0,02	0,016	0,002
84	Kondensatory ceramiczne niezawodne	0,29	0,06	0,011	-	-	-
85	Kondensatory ceramiczne na napięcie poniżej 500 V	0,133	0,0625	0,04	-	-	-
86	Kondensatory ceramiczne nastawne	0,351	0,02	0,012	-	0,016	-

(d.c. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
87	Kondensatory ceramiczne przepustowe	4,42	2,95	0,088	-	-	-
88	Kondensatory olejowe	1,95	0,3	0,12	0,06	0,015	0,003
89	Kondensatory z tworzyw sztucznych	0,178	0,135	0,003	0,016	0,014	0,0035
90	Kondensatory foliowe	-	-	-	0,044	0,027	0,005
91	Kondensatory stałe oprasowane	0,156	0,07	0,055	-	-	-
92	Kondensatory stałe na napięcie do 500 V	0,018	0,01	0,001	-	-	-
93	Kondensatory stałe na napięcie ponad 500 V	0,486	0,27	0,027	-	-	-
94	Kondensatory stałe na napięcie ponad 1000 V	2,385	0,325	0,1325	-	-	-
95	Kondensatory mikowe	0,132	0,075	0,005	0,02	0,015	0,0025
96	Kondensatory mikowe na napięcie do 500 V	0,066	0,0375	0,009	-	-	-
97	Kondensatory mikowe guzikowe	0,068	0,03	0,003	-	-	-
98	Kondensatory mikowe z posrebrzonymi elektrodami	1,41	0,083	0,025	-	-	-
99	Kondensatory mikowe z posrebrzonymi elektrodami, o zwiększonej niezawodności	0,188	0,033	0,009	-	-	-
100	Kondensatory mikowe foliowe o zwiększonej niezawodności	0,076	0,045	0,014	0,014	0,012	0,005
101	Kondensatory szklane	0,87	0,06	0,0005	-	-	-

(d.c. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
102	Kondensatory tantalowe	1,934	0,6	0,103	0,02	0,012	0,002
103	Kondensatory tantalowe lite	0,5	0,165	0,001	0,004	0,003	0,002
104	Kondensatory tantalowe foliowe	0,5	0,117	0,001	0,016	0,003	0,001
105	Kondensatory porcelanowe	1,02	0,09	0,04	0,025	0,02	0,002
106	Kondensatory foliowe	0,076	0,054	0,045	-	0,016	-
107	Kondensatory elektro- lityczne	0,513	0,035	0,003	0,012	0,01	0,004
108	Kondensatory elektroli- tyczne aluminiowe	0,425	0,135	0,02	-	-	-
109	Zestyki zwiernające i rozwiernające	0,8	0,5	0,31	-	-	-
110	Styczniki	0,56/zg	0,25/zg	0,1/zg	0,1 w	0,05 w	0,02 w
111	Skrzynki przekładniowe	4,3	0,63	0,051	-	-	-
112	Kształtki piezoelekt.	0,14	0,1	0,04	-	-	-
113	Kształtki kwarcowe	0,6	0,2	0,03	-	-	-
114	Kształtki piezoelektrycz- ne generatora drgań	1,1	0,6	0,1	-	-	-
115	Kryształy detektora	0,371	0,2	0,03	-	-	-
116	Kształtki kwarcowe	0,2	0,162	0,016	-	-	-
117	Diody krzemowe	0,28	0,2	0,08	-	-	-
118	Kształtki piezoelektrycz- ne miernicza	0,97	0,18	0,02	-	-	-
119	Kształtki piezoelektrycz- ne ciepłociągowe wielkiej częstotliwości	0,17	0,05	0,03	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8
120	Kształtki piezoelektryczne czułościwośći	1,24	1,0	0,84	-	-	-
121	Uchwyty kształtek piezoelektrycznych	0,1	0,02	0,01	-	-	-
122	Lampy	8,0	0,625	0,1	0,025	0,02	0,000005
123	Żarówki	1,18	0,64	0,1	-	-	-
124	Żarówki termostabilne	3,3	1,0	0,05	-	-	-
125	Lampy jarzeniowe neonowe	1,52	0,1	0,019	-	0,03	-
126	Linie opóźniające stałe	0,339	0,146	0,016	0,025	0,01	0,005
127	Linie opóźniające nastawne	6,78	3,0	0,22	-	0,01	-
128	Soczewki polerowane	27,7	6,952	1,21	-	-	-
129	Magnesy	7,11	5,65	2,02	-	-	-
130	Manometry	7,8	4,0	0,135	-	-	-
131	Manometry hydrauliczne	-	1,123	-	-	-	-
132	Manometry pneumatyczne	-	1,123	-	-	-	-
133	Sprężęta	1,1	0,06	0,04	-	-	-
134	Sprężęta wymuszonego działania	0,95	0,063	0,02	-	80 g	-
135	Złączki (sprężęta) obrotowe	0,049	0,025	0,001	-	-	-
136	Sprężęta sterowania	3,21	1,52	0,065	-	-	-
137	Sprężęta podane	1,348	0,039	0,027	-	-	-
138	Sprężęta ciernie zabezpieczające	0,94	0,3	0,07	-	-	-
139	Sprężęta elektromagnetyczne	0,93	0,6	0,24	-	-	-

(d.c. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
140	Grzejniki	7,67	0,7	0,081	-	-	-
141	Pompy próżniowe	16,1	9,0	1,12	-	-	-
142	Pompy z napędem hydraulicznym	45,0	11,23	2,91	0,0005	0,00025	0,00003
143	Pompy z napędem mechanicznym	31,3	8,74	1,12	0,005	0,0035	0,0002
144	Pompy z napędem pneumatycznym	49,0	14,7	6,9	-	0,003	-
145	Pompy z napędem elektrycznym	27,4	8,7	2,25	-	-	-
146	Osie	0,62	0,35	0,15	-	-	-
147	Tłumiki	-	-	-	0,01	0,005	0,0025
148	Chłodzarki	7,0	1,67	0,156	-	-	-
149	Tablice miniaturowe	-	0,0005/g	-	-	-	-
150	Tablice modułowe	-	0,0244/g	-	-	-	-
151	Tablice oktalowe kondensatorowe	0,0066/g	0,0048/g	0,0035/g	-	-	-
152	Tablice oktalowe lampowe	-	0,003/g	-	-	-	-
153	Tablice przełącznikowe	-	0,0012/g	-	-	-	-
154	Tablice z elementami piezoelektrycznymi	-	0,0055/g	-	-	-	-
155	Tablice specjalne	-	0,0018/g	-	-	-	-
156	Tablice filtrów	-	0,0244/g	-	-	-	-
157	Tablice z lampami elektronowymi	0,009/g	0,005/g	0,002/g	-	-	-
158	Przekładnie zębate, reduktory	0,36	0,2	0,11	-	-	-
159	Przekładnie zębate złożone	1,79	0,9	0,093	-	-	-

(c.d. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
160	Przekładnie zębate walcowe	4,3	2,175	0,087	-	-	-
161	Przełączniki	1,14	0,05	0,009	-	-	-
162	Przełączniki blokujące	1,0/zg	0,5/zg	0,25/zg	-	-	-
163	Przełączniki szybkozdziałające	5,38	4,0	0,476	-	-	-
164	Przełączniki zakresów wybieraków	-	0,14/zg	-	0,5 c	0,2 c	0,08 c
165	Przełączniki dodatkowe napięcia	-	0,11/zg	-	-	-	-
166	Przełączniki wojskowe	0,11/zg	0,07/zg	0,043/zg	1,0 c	0,05 c	0,01 c
167	Przełączniki komutacyjne	-	0,08	-	-	-	-
168	Przełączniki krzywkowe	0,12/zg	0,08/zg	0,048/zg	-	-	-
169	Przełączniki zwarcia przemijające	-	0,08/zg	-	-	-	-
170	Przełączniki mikrominiaturowe	0,5/zg	0,25/zg	0,09/zg	-	-	-
171	Przełączniki wielokrotne	6,01/zg	1,2/zg	0,82/zg	-	-	-
172	Przełączniki mocy	-	0,07/zg	-	-	0,2 c	-
173	Przełączniki nurnikowe	-	0,12/zg	-	-	-	-
174	Przełączniki zwrotne	0,66/zg	0,175/zg	0,118/zg	20 c	0,04 c	0,01 c
175	Przełączniki z napędem silnikowym	0,292/zg	0,19/zg	0,128/zg	-	-	-
176	Przełączniki solenoidalne	-	0,06/zg	-	-	-	-
177	Przełączniki dużej czułości, duże	0,072/zg	0,045/zg	0,021/zg	0,2 c	0,1 c	0,023 c

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
178	Przełączniki dużej czułości, małe	0,124/zg	0,06/zg	0,045/zg	-	0,4 c	-
179	Łączówki przejściowe, zestaw rozdzielne	12,3	5,2	0,8	-	0,00001 c	-
180	Adaptory falowodów	9,31	3,47	0,14	-	0,0001 c	-
181	Łożyska	5,5	0,5	0,02	-	-	-
182	Tłoki hydrauliczne	0,35	0,2	0,08	0,1	0,05	0,04
183	Potencjometry	15,9	3,0	0,018	0,03	0,02	0,0025
184	Potencjometry kompozycyjne	0,3	0,1	0,04	-	0,01	-
185	Potencjometry liniowe z tworzyw sztucznych	-	63,8	-	-	-	-
186	Potencjometry mikrominiaturowe drutowe	2,0	1,2	0,72	-	0,002	-
187	Potencjometry oprasowane	15,7	3,0	0,4	-	0,0025	-
188	Potencjometry drutowe	2,05	1,4	0,137	0,03	0,02	0,002
189	Potencjometry drutowe miniaturowe R = 10 kΩ	1,92	1,19	0,53	-	-	-
190	Potencjometry drutowe miniaturowe R = 20 kΩ	2,02	1,21	0,81	-	-	-
191	Potencjometry drutowe miniaturowe R > 20 kΩ	2,04	1,23	0,88	-	-	-
192	Potencjometry z napędem mechanicznym	12,6	5,485	1,71	-	-	-
193	Potencjometry węglowe	4,44	0,25	0,1	-	0,01	-
194	Bezpieczniki topikowe	2,75	0,5	0,001	-	-	-
195	Bezpieczniki drutowe	0,83/z	0,5/z	0,38/z	-	-	-
196	Przetworniki	52,2	15,0	7,0	-	-	-

(d.c. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
197	Przerwywacze, brzozyki	1,3	0,6	0,05	-	-	-
198	Napędy	36,6	5,1	0,104	10,0 c	0,5 c	0,001 c
199	Przewody montażowe	0,12	0,015	0,008	-	-	-
200	Przewodniki	0,436	0,019	0,003	-	-	-
201	Przekładki, podkładki	0,015	0,001	0,0005	-	-	-
202	Przekładki pierścieniowe	0,035	0,02	0,01	-	-	-
203	Przekładki korkowe	0,077	0,04	0,003	-	-	-
204	Przekładki przesycone	0,225	0,137	0,05	-	-	-
205	Przekładki gumowe	0,03	0,02	0,011	0,044	0,035	0,026
206	Przekładki siatkowe	0,908	0,05	0,0022	-	-	-
207	Przekładki fenolowe	0,07	0,06	0,01	0,086	0,035	0,018
208	Przeciwwagi lekkie	0,03	0,0125	0,005	-	-	-
209	Przeciwwagi ciężkie	0,545	0,3375	0,13	-	-	-
210	Sprężyny	0,221	0,105	0,004	-	-	-
211	Sprężyny kalibrowane	0,42	0,22	0,09	-	-	-
212	Sprężyny proste, powrotne	0,022	0,012	0,001	-	-	-
213	Rozruszniki	16,1	10,0	3,03	-	-	-
214	Łączniki hydrauliczne	-	0,56	-	-	-	-
215	Złącza stykowe bananowe	1,11/k	0,062/k	0,025/k	-	-	-
216	Złącza stykowe bloków	0,90	0,163	0,10	-	-	-
217	Złącza stykowe wspólnosiowe	0,193/k	0,003/k	0,001/k	0,005 c	0,001 c	0,0005 c
218	Złącza stykowe międzyosiowe	0,94/k	0,4/k	0,06/k	-	-	-
219	Złącza stykowe prądu zmiennego	0,05/k	0,003/k	0,001/k	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8
220	Złącza stykowe łączówek przejściowych	0,09/k	0,005/k	0,001/k	-	-	-
221	Złącza stykowe z kon-trolnym gniazdkiem	0,05/k	0,0004/k	0,0001/k	-	-	-
222	Złącza stykowe z płaskim zestykiem ślizgowym	0,03/k	0,002/k	0,0011/k	-	-	-
223	Złącza stykowe standar-dowe typu AN	0,112/k	0,005/k	0,001/k	-	-	-
224	Złącza stykowe telefo-niczne	0,041/k	0,002/k	0,0011/k	-	-	-
225	Złącza stykowe centralne	4,7/k	2,0/k	0,03/k	0,002 c	0,0005 c	0,00005 c
226	Złącza stykowe elek-tryczne	0,136/k	0,035/k	0,005/k	0,0005 c	0,0001 c	0,00005 c
227	Regulatory	5,54	2,14	0,7	0,4	0,01	0,005
228	Regulatory ciśnienia	15,98	4,25	0,89	-	-	-
229	Regulatory ciśnienia, hydrauliczne	-	3,55	-	-	-	-
230	Regulatory ciśnienia, pneumatyczne	15,98	7,5	3,55	-	0,04	-
231	Regulatory napięcia węglowe, samoczynne	13,16	9,65	6,09	-	-	-
232	Regulatory pneumatyczne	6,21	2,4	0,77	-	0,04	-
233	Regulatory strumienia i ciśnienia	5,54	2,14	0,7	-	0,001	-
234	Regulatory zużycia helu	5,26	2,03	0,65	-	-	-
235	Regulatory zużycia ciekłego tlenu	7,7	3,0	0,96	-	-	-
236	Regulatory napięcia	13,16	8,22	0,37	-	-	-
237	Rezonatory mikrowatowe	0,933	0,41	0,01	-	0,012	-
238	Przełączniki impulsowe	-	-	-	0,25 c	0,1 c	0,02 c

(d.c. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
239	Przełączniki próżniowe	-	1, 17/zg	-	-	-	-
240	Przełączniki dużej czułości	0,57/zg	0,4/zg	0,03/zg	0,3 c	0,2 c	0,02 c
241	Przełączniki hermetyczne	0,19/zg	0,04/zg	0,02/zg	1,0 c	0,5 c	0,1 c
242	Przełączniki opóźniające	0,749	0,39	0,156	0,25 c	0,2 c	0,02 c
243	Przełączniki kompozy- cyjne, 1 W	-	0,034	-	-	-	-
244	Przełączniki małegoaba- rytowe	0,54/zg	0,25/zg	0,145/zg	100,0 c	10,0 c	5,0 c
245	Przełączniki manipula- cyjne	-	0,38/zg	-	-	-	-
246	Przełączniki milisekun- dowe	0,84/zg	0,44/zg	0,18/zg	-	-	-
247	Przełączniki miniaturowe	0,25 /zg	0,06/zg	0,03/zg	0,5 c	0,25 c	0,05 c
248	Przełączniki miniaturowe impulsowe	113/zg	0,7/zg	0,42/zg	-	-	-
249	Przełączniki mooy	4, 1/zg	0,3/zg	0,15/zg	-	-	-
250	Przełączniki ogólnego przeznaczenia	0,48/zg	0,25/zg	0,1/zg	0,7 c	0,2 c	0,02 c
251	Przełączniki z osłoniętą kotwicą	-	0,4/zg	-	-	100,0 c	-
252	Przełączniki sygnałowe	-	0,26/zg	0,11/zg	-	-	-
253	Przełączniki z cewkami solenoidalnymi	0,81/zg	0,5/zg	0,3/zg	-	-	-
254	Przełączniki ciepłne	1,0/zg	0,4/zg	0,12/zg	0,25 c	0,2 c	0,02 c
255	Przełączniki określonego przeznaczenia 10-20 A	-	0,08/zg	-	-	-	-
256	Przełączniki określonego przeznaczenia 300-600 A	-	0,23/zg	-	-	-	-

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
257	Przekładniki elektromagnetyczne	0,5/gk	0,3/zg	0,11/zg	-	-	-
258	Pasy napędowe	-	3,6	-	-	-	-
259	Oporniki	0,19	0,13	0,07	-	0,03	-
260	Izołaska kulkowe sprawnodziałów obrotowych	1,0	0,5	0,02	-	-	-
261	Serwomotory	5,61	1,51	0,101	0,02	0,008	0,001
262	Serwomechanizmy	3,4	2,0	1,1	0,065	0,04	0,02
263	Serwomechanizmy wzmacniaczy	-	7,35	-	-	-	-
264	Selsyny	0,61	0,35	0,09	-	-	-
265	Selsyny sprzężenia mechanicznego torów	-	0,9	-	-	-	-
266	Selsyny maszyn analogowych	1,14	1,113	0,29	-	-	-
267	Selsyny obwodów diod półprzewodnikowych	-	0,55	-	-	-	-
268	Solenoidy	0,55	0,05	0,036	100,00	60,00	20,00
269	Dysze ze zmiennym przekrojem	3,71	0,55	0,045	-	-	-
270	Dysze ze stałymi otworami	2,11	0,15	0,01	-	-	-
271	Oporniki (rezystory)	1,0	0,159	0,001	-	-	-
272	Oporniki kompozycyjne	0,297	0,043	0,005	0,04	0,014	0,011
273	Oporniki kompozycyjne obrotowe	0,533	0,053	0,007	-	-	-
274	Oporniki kompozycyjne 1/4 W	-	0,016	-	-	-	-
275	Oporniki kompozycyjne 1/2 W	-	0,06	-	-	-	-

(d.o. tabl. 1.)

1	2	3	4	5	6	7	8
276	Oporniki kompozycyjne 2 W	-	0,071	-	-	-	-
277	Oporniki metalizowane	0,4	0,004	0,004	-	-	-
278	Oporniki nieliniowe (warystory)	0,153	0,1	0,047	-	-	-
279	Oporniki obrotowe	0,5	0,186	0,02	0,021	0,0162	0,011
280	Oporniki obrotowe wyznaw- la jące	-	8,07	-	-	-	-
281	Oporniki warstwowe	0,058	0,03	0,0017	0,06	0,0145	0,0135
282	Oporniki warstwowe precyzyjne	-	0,004	-	-	-	-
283	Oporniki precyzyjne	-	1,67	-	-	-	-
284	Oporniki precyzyjne dzielników napięcia	0,292	0,125	0,041	-	-	-
285	Oporniki stałe	0,07	0,03	0,01	0,05	0,014	0,012
286	Oporniki stałe wielo- warstwowe	0,065	0,028	0,009	-	-	-
287	Oporniki drutowe	0,197	0,087	0,046	0,05	0,014	0,011
288	Oporniki drutowe dużej mocy	-	0,164	-	-	-	-
289	Oporniki drutowe mocy	0,076	0,04	0,021	-	0,016	-
290	Oporniki drutowe suwa- kowe	0,807	0,091	0,02	0,017	0,016	0,014
291	Oporniki drutowe pre- cyzyjne	0,114	0,06	0,032	-	-	-
292	Oporniki drutowe do- kładne	0,126	0,068	0,038	-	-	-
293	Oporniki węglowe	0,888	0,045	0,005	0,05	0,015	0,012
294	Oporniki węglowe warstwowe	0,888	0,045	0,005	0,05	0,015	0,012

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
295	Połączenia obrotowe	9,55	7,5	6,89	-	0,016	-
296	Połączenia giętkie	1,348	0,039	0,027	-	-	-
297	Połączenia hydrauliczne	2,01	0,03	0,012	-	-	-
298	Połączenia sztywne	0,049	0,025	0,001	-	-	-
299	Połączenia mechaniczne	1,96	0,02	0,011	1,00	0,10	0,0250
300	Połączenia lutowane	1,05	0,004	0,0001	-	-	-
301	Połączenia pneumatyczne	1,15	0,04	0,021	-	-	-
302	Łączniki statyczne	-	0,0001/z	-	-	-	-
303	Łączniki stopniowe	1,75/z	0,77/z	0,03/z	-	-	-
304	Sprężacze przegubowe	-	-	-	5,00	4,00	3,00
305	Obwody	4,3	1,5	0,51	-	-	-
306	Obwody bloków wielkiej częstotliwości	2,43	1,4	0,37	-	-	-
307	Obwody bloków średniej częstotliwości	1,06	0,4	0,26	-	-	-
308	Obwody generacji impulsów wielkiego napięcia	4,52	1,75	0,611	-	-	-
309	Obwody opóźniające impulsy	0,96	0,6	0,24	-	-	-
310	Połączenia i mechanizmy	-	10,97	-	-	-	-
311	Liczniki	5,25	4,2	3,5	0,60	0,30	0,10
312	Liczniki elektryczne	5,77	0,036	0,005	-	1,00	-
313	Tachometry	0,55	0,3	0,25	0,016	0,01	0,005
314	Tensometry	15,0	11,6	1,01	-	-	-
315	Wymienniki ciepła	18,6	15,0	2,21	-	-	-
316	Fermistory	1,4	0,6	0,2	-	-	-
317	Przetłączniki ciepłne	0,261/zg	0,16/zg	0,114/zg	0,006	0,003	0,002

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
318	Termostaty	0,487	0,3	0,02	0,5	0,25	0,2
319	Termostaty hermetyczne zamknięte	-	-	-	-	0,25	-
320	Termostaty tarasowe	-	-	-	-	0,2	-
321	Termostaty małej mocy	-	-	-	-	0,2	-
322	Termostaty z kontrolą temperatury	-	-	-	-	0,2	-
323	Termostaty z wyłączeniem ciepłym	-	-	-	-	0,1	-
324	Transystory germanowe	1,91	0,9	0,6	-	-	-
325	Transystory germanowe, 2 mW	-	0,4	-	-	-	-
326	Transystory germanowe, 20 mW	-	0,7	-	-	-	-
327	Transystory germanowe, 200 mW	-	1,91	-	-	-	-
328	Transystory germanowe małej mocy	1,4	0,6	0,33	-	-	-
329	Transystory do przełączenia	0,71	0,4	0,1	-	-	-
330	Transystory do wzmacniaczy	0,84	0,5	0,31	-	-	-
331	Transystory krzemowe	1,44	0,5	0,27	-	-	-
332	Transystory krzemowe małej mocy, do 150 mW, stosowane do wzmacniania słabych sygnałów przy wysokiej temperaturze, 2N117-2N120	1,44	0,84	0,45	-	-	-
333	Transystory krzemowe małej mocy, do 1 W, wielkiej częstotliwości	-	-	-	-	-	-

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
	stosowane do wzmacniania słabych sygnałów, 2N337, 2N338	0,67	0,5	0,16	-	-	-
334	Transzystory krzemowe średniej mocy (do 4 W), o dużej niezawodności, termostabilne, 2N497, 2N498	0,84	0,74	0,21	-	-	-
335	Transzystory krzemowe średniej mocy (do 4 W), do wzmacniania i przełączania przy wysokiej temperaturze, 2N656, 2N657	0,84	0,74	0,21	-	-	-
336	Transzystory krzemowe średniej mocy, wielkiej częstotliwości, do wzmacniania i przełączania, 2N697, 2N698	0,84	0,74	0,21	-	-	-
337	Transzystory o barierze powierzchniowej	1,33	0,12	0,04	-	-	-
338	Transformatory	2,08	0,15	0,01	0,03	0,01	0,004
339	Transformatory anodowe	0,052	0,025	0,012	-	-	-
340	Transformatory wejściowe	2,08	1,09	0,12	-	-	-
341	Transformatory wyjściowe	0,2	0,09	0,04	-	-	-
342	Transformatory wielkiej częstotliwości	0,062	0,045	0,019	-	-	-
343	Transformatory o pasmie akustycznym	0,04	0,02	0,01	-	0,0185	-
344	Transformatory impulsowe	0,235	0,17	0,03	-	0,0185	-

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
345	Transformatory impulsowe 1 W	0,235	0,15	0,065	-	-	-
346	Transformatory impulsowe wielkiego napięcia	0,235	0,15	0,065	-	-	-
347	Transformatory impulsowe magnetyczna	-	0,3	-	-	-	-
348	Transformatory miniaturowe	-	-	-	-	0,015	-
349	Transformatory wzmacniaczy magnetycznych	0,485	0,152	0,052	-	-	-
350	Transformatory żarzenia	0,06	0,027	0,013	-	-	-
351	Transformatory 400 Hz	-	-	-	-	0,02	-
352	Transformatory o pośrednim pasmie częstotliwości	0,31	0,08	0,02	-	-	-
353	Transformatory odsprężające	0,093	0,03	0,011	-	-	-
354	Wariaki	0,31	0,1	0,035	-	-	-
355	Transformatory mocy	1,69	0,5	0,03	-	0,0122	-
356	Transformatory mocy 1 W	0,6	0,3	0,13	-	-	-
357	Transformatory mocy wysokiego napięcia	1,88	0,94	0,407	-	-	-
358	Transformatory obwodów serwomechanizmów synchronicznych	-	0,028	-	-	-	-
359	Transformatory obwodów sterowania	0,8	0,6	0,435	-	-	-
360	Transformatory ekranowane	-	-	-	-	0,01	-
361	Przetwornice	8,86	3,8	1,15	-	-	-

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
362	Uszczelnienia obrotowe	1,12	0,7	0,25	-	-	-
363	Uszczelnienia elementów mechanicznych	-	-	-	0,01	0,007	0,003
364	Uszczelnienia ślizgowe	0,92	0,3	0,11	-	-	-
365	Wzmacniacze magnetyczne	0,855	0,085	0,002	-	-	-
366	Wzmacniacze strojenia	15,33	5,33	2,36	-	-	-
367	Wzmacniacze sygnałów	8,55	3,11	1,02	-	0,004	-
368	Filtry	1,62	0,79	0,01	-	-	-
369	Filtry wejściowe, liniowe	1,62	0,3	0,01	-	-	-
370	Filtry mechaniczne	1,8	0,3	0,045	-	-	-
371	Filtry pneumatyczne	-	-	-	-	0,04	-
372	Filtry elektryczne	3,0	0,345	0,14	-	-	-
373	Chronometry dużej dokładności	-	-	-	-	2,0	-
374	Kołyśka kulkowe	-	-	-	0,016	0,006	0,0005
375	Kołyśka kulkowe miniaturowe	-	-	-	-	0,008	-
376	Kołyśka kulkowe precyzyjne	-	-	-	-	0,04	-
377	Kołyśka kulkowe turbin	-	-	-	0,001	0,00065	0,00005
378	Podstawy (chassis)	-	0,921	-	-	-	-
379	Koła zębate	0,95	0,12	0,002	10,0	1,0	0,1
380	Koła zębate napędzające	-	-	-	-	0,001	-
381	Przekładnie zębate	0,004	0,002	0,001	100,0	1,0	0,1
382	Węże (przewody giętkie)	3,22	2,0	0,05	-	-	-
383	Węże giętkie	-	-	-	0,8	0,5	0,25
384	Węże ciśnieniowe	5,22	3,93	0,157	-	-	-

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
385	Węże z tworzywa sztucznego z opłotem metalowym	-	-	-	0,5 c	0,2 c	0,05 c
386	Węże pneumatyczne	-	3,66	-	-	-	-
387	Węże wysokiej jakości	-	-	-	50,0 c	30,0 c	20,0 c
388	Końki w falowodach	4,22	1,5	0,29	-	-	-
389	Szczotki wirujących maszyn elektrycznych	1,11	0,1	0,04	-	-	-
390	Uchwyty szczotek	4,11	1,3	0,87	-	-	-
391	Ekran wielkiej częstotl.	0,15	0,09	0,03	-	-	-
392	Ekran lampowe	0,04	0,02	0,005	-	-	-
393	Silniki prądu zmiennego	9,36	5,24	1,12	-	-	-
394	Silniki prądu stałego	-	9,36	-	-	-	-
395	Silniki prądu stałego mikrominiaturowe	-	-	-	-	0,003	-
396	Silniki prądu stałego dużej mocy	-	-	-	-	200,0 c	-
397	Silniki prądu stałego z wirnikiem nie ferrytowym	-	-	-	-	0,002	-
398	Lampy elektronowe fali bieżącej	-	-	-	0,02	0,005	0,0025
399	Lampy elektronowe do sprzętu wojskowego	2,21	1,0	0,63	-	-	-
400	Lampy elektronowe do sprzętu wojskowego, dużej mocy	9,45	7,0	2,17	-	0,0035	-
401	Lampy elektronowe odbiorcze do sprzętu wojskowego	2,6	1,7	1,1	-	0,01	-

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
402	Lampy elektronowe impulsowe o zwiększonej niesawodności	43,0	30,0	20,0	-	-	-
403	Lampy elektronowe mikrofalowe o zwiększonej niesawodności	32,0	20,0	9,7	-	-	-
404	Lampy elektronowe miniaturowe	15,8	1,9	0,55	-	-	-
405	Lampy elektronowe mocy	25,0	10,0	0,17	0,01	0,008	0,003
406	Lampy elektronowe mocy do ciężkich warunków pracy	9,6	5,0	3,0	-	-	-
407	Lampy elektronowe przełączników	-	-	-	-	0,05	-
408	Lampy elektronowe nadawcze	175,0	58,2	3,8	-	-	-
409	Lampy elektronowe odbiorcze	7,5	2,5	1,1	0,01	0,009	0,004
410	Lampy elektronowe odbiorcze miniaturowe	5,7	3,08	2,1	-	-	-
411	Lampy elektronowe odbiorcze o zwiększonej niesawodności	2,76	1,5	0,88	-	-	-
412	Lampy elektronowe odbiorcze do cięższych warunków pracy	2,0	1,2	0,6	-	-	-
413	Lampy elektronowe nadawczo-odbiorcze	11,0	5,0	2,1	-	-	-
414	Lampy elektronowe nadawczo-odbiorcze amatorskie	19,32	7,76	1,77	-	-	-

(d. o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
415	Lampy elektronowe subminiaturowe	4,31	1,15	0,36	-	0,003	-
416	Lampy elektronowe o zwiększonej niezawodności	0,78	0,35	0,12	-	-	-
417	Lampy elektronowe wzmacniaczy mocy ogólnego przeznaczenia	40,0	20,0	12,0	-	-	-
418	Lampy elektronowe wzmacniaczy mocy o zwiększonej niezawodności	32,0	20,0	6,0	-	-	-
419	Diody wysokiego napięcia	-	5,49	-	-	-	-
420	Diody niskiego napięcia	-	0,48	-	-	-	-
421	Diody ogólnego przeznaczenia pojedyncze	2,5	0,8	0,24	-	-	-
422	Diody ogólnego przeznaczenia podwójne, 1/2	2,0	0,8	0,32	-	-	-
423	Diody ogólnego przeznaczenia sprzężone	1,97	1,0	0,38	-	-	-
424	Diody pojedyncze o zwiększonej niezawodności	1,49	0,6	0,36	-	-	-
425	Diody podwójne o zwiększonej niezawodności, 1/2	1,5	0,78	0,2	-	-	-
426	Diody sprzężone o zwiększonej niezawodności	1,5	1,0	0,22	-	-	-
427	Diody subminiaturowe pojedyncze	2,2	1,3	0,72	-	-	-
428	Diody subminiaturowe podwójne, 1/2	1,7	0,85	0,26	-	-	-
429	Diody subminiaturowe podwójne sprzężone	2,21	1,6	0,35	-	-	-

(d. o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
430	Diody typu 6H6 podwójne (6H6M)	0,5	0,2	0,1	-	-	-
431	Diody typu 6AL5 podwójne (6H2P)	1,5	0,4	0,3	-	-	-
432	Diody typu 5726 podwójne w.cz.	0,945	0,39	0,347	-	0,017	-
433	Diody 5726/6A5 podwójne	-	1,0	-	-	0,017	-
434	Diody 6058 podwójne w.cz.	-	1,2	-	-	-	-
435	Diody 6097 podwójne w.cz.	-	1,2	-	-	-	-
436	Diody 5647 w.cz.	0,7	0,3	0,25	-	0,016	-
437	Diody 5845	-	52,6	-	-	-	-
438	Kenotrony 1B3 (107S)	-	0,67	-	-	-	-
439	Kenotrony 2X2A wysokiego napięcia (2G2S)	-	4,88	-	-	-	-
440	Kenotrony 6X4 podwójne diody (6C4P)	4,7	2,5	0,9	-	-	-
441	Kenotrony 6X5 podwójne diody (6C5S)	14,62	11,5	7,91	-	-	-
442	Kenotrony 8016 wysokiego napięcia (107S)	-	0,667	-	-	-	-
443	Kenotrony 8020 (W1-0,1/40)	-	2,55	-	-	-	-
444	Klastrozy o zwiększonej niezawodności	6,0	3,0	1,2	-	-	-
445	Magnetry	1000,0	100,0	8,0	-	0,00035	-
446	Magnetry bez dostrajania	350,0	150,0	75,0	-	-	-
447	Magnetry z dostrajaniem czułości	5500,0	3000,0	450,0	-	-	-

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
448	Magnetryony bez dostrojania o zwiększonej niezawodności	40,0	22,0	8,0	-	-	-
449	Magnetryony z dostrojeniem o zwiększonej niezawodności	1000,0	150,0	16,0	-	-	-
450	Triody mikrofalowe	-	9,66	-	0,03	0,015	0,001
451	Triody pojedyncze ogólnego przeznaczenia	3,86	1,3	0,67	-	-	-
452	Triody podwójne ogólnego przeznaczenia, 1/2	2,0	0,91	0,23	-	-	-
453	Triody sprzężone ogólnego przeznaczenia	3,88	2,0	1,17	-	-	-
454	Triody o zwiększonej niezawodności	3,0	0,89	0,19	-	-	-
455	Triody subminiaturowe pojedyncze	2,91	1,75	0,53	-	-	-
456	Triody subminiaturowe podwójne, 1/2	2,29	1,34	0,41	-	-	-
457	Triody subminiaturowe podwójne sprzężone	4,31	2,6	0,78	-	-	-
458	Triody 2051 (6N3P)	1,5	0,6	0,5	-	-	-
459	Triody 6AS7 wyjściowe (6N15S)	-	0,6	-	-	-	-
460	Triody 6AS7G wyjściowe (6N5S)	2,8	1,2	1,0	-	-	-
461	Triody 614 wzmacniaczy w.cz. (6S2P)	-	-	-	-	0,0155	-
462	Triody 616 wzmacniaczy n.cz. (6N15P)	-	6,0	-	-	-	-

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
463	Triody 6S17 wzmacniaczy n.oz. (6N9S)	1,3	0,6	0,4	-	-	-
464	Triody 12A17 wzmacniaczy n.oz. (6N4P, 12N4P)	-	6,0	-	-	-	-
465	Triody 5687 wzmacniaczy n.oz. (6N12S)	2,5	1,0	0,9	-	-	-
466	Tetrody ogólnego przeznaczenia	3,9	1,8	0,88	-	-	-
467	Tetrody o zwiększonej niezawodności	2,5	1,6	0,68	-	-	-
468	Tetrody subminiaturowe	3,62	2,15	0,69	-	-	-
469	Tetrody 829B do wzmacniaczy generatorowych w.oz. (GU-29)	-	0,9	-	-	-	-
470	Tetrody 5933 (GU-4, G-807)	2,7	1,82	1,28	-	-	-
471	Tetrody 6A65 do wzmacniaczy w.oz. (6Z2P)	1,1	0,5	0,4	-	-	-
472	Tetrody 6L6 (6P3S)	3,29	2,8	1,37	-	-	-
473	Tetrody 6L6, GA, W, WA (6P3, 6P3S, 6P6S)	5,8	2,4	2,0	-	-	-
474	Tetrody 6V6 do wzmacniaczy mocy n.oz. (6P6S)	-	5,0	-	-	-	-
475	Tetrody 6V6, 6Z, 6TG, do wzmacniaczy mocy n.oz.	1,8	0,8	0,6	-	-	-
476	Tetrody 6V6, 6Z, G do wzmacniaczy mocy n.oz.	8,2	3,4	3,0	-	-	-
477	Tetrody 6L6/1622 do wzmacniaczy mocy n.oz. (6P6S, 6P3S)	3,29	2,8	1,37	-	-	-

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
478	Pentody 5659, wyjściowe (12P4)	1,2	0,48	0,43	-	-	-
479	Pentody 5932, do wzmacniaczy n.cz. (6P6S, 6P3)	5,708	1,915	1,748	-	0,0135	-
480	Pentody ogólnego przeznaczenia	3,86	2,5	0,73	-	-	-
481	Pentody o zwiększonej niezawodności	2,8	1,6	0,79	-	-	-
482	Pentody subminiaturowe	3,62	2,15	0,69	-	-	-
483	Pentody 6AC7, W, WA, do wzmacniaczy w.cz. (624)	2,1	0,9	0,7	-	-	-
484	Pentody 6AG7 mocy (6P9)	2,4	1,0	0,9	-	-	-
485	Pentody 6AH6, do wzmacniaczy w.cz. (625P)	2,78	2,6	1,15	-	-	-
486	Pentody 6AH6, W, WA (625P)	1,3	0,6	0,4	-	-	-
487	Pentody 6AK5, do wzmacniaczy w.cz. (621P)	5,81	3,5	1,25	-	-	-
488	Pentody 6AK5, W, do wzmacniaczy w.cz. (621P)	5,11	3,35	1,68	-	0,0145	-
489	Pentody 6AQ5, do wzmacniaczy n.cz. (6P1P)	4,73	4,0	1,07	-	-	-
490	Pentody 6AS6, do wzmacniaczy w.cz. i pośrednich częstotliwości (6K1P)	1,0	0,4	0,3	-	-	-
491	Pentody 6AU6, do wzmacniaczy w.cz. (624P)	2,0	1,3	0,4	-	-	-
492	Pentody 6BA6, do wzmacniaczy w.cz. i pośrednich częstotliwości (6K4P)	1,4	0,6	0,5	-	-	-

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
493	Pentody 6SH7, do wzmacniaczy w.cz. i podredukcji częstotliwości (623)	31,2	12,9	11,4	-	-	-
494	Pentody 6SJ7, do wzmacniaczy w.cz. i podredukcji częstotliwości (628)	1,3	0,5	0,4	-	-	-
495	Pentody 5654, wyjściowe (621P)	1,5	0,5	0,4	-	0,0145	-
496	Pentody 5693, do wzmacniaczy w.cz. (628)	1,3	0,5	0,3	-	-	-
497	Pentody 5749, do wzmacniaczy w.cz.	1,394	0,575	0,511	-	0,0135	-
498	Pentody 6096, do wzmacniaczy w.cz. (621P)	5,85	3,35	1,1	-	-	-
499	Pentody 6136, do wzmacniaczy w.cz. (624P)	1,33	0,55	0,49	-	-	-
500	Pentody 9003, do wzmacniaczy w.cz. (6K1P)	1,7	0,7	0,62	-	-	-
501	Pentody 6BE6, do wzmacniaczy (6A2P)	1,4	0,6	0,4	-	-	-
502	Heptody 6SA7 (6A7, 6A10S)	0,8	0,3	0,2	-	-	-
503	Heptody 5750 (6A2P)	1,449	0,597	0,581	-	0,014	-
504	Heptody 5961 (6A7, 6A10S)	0,778	0,321	0,286	-	-	-
505	Heptody 6BA7	4,5	1,9	1,6	-	-	-
506	Heksody 4H3	-	-	-	-	0,013	-
507	Lampy napełnione gazem	-	0,7	-	-	-	-
508	Lampy napełnione gazem odbiorcze	6,5	3,9	2,7	-	0,0045	-
509	Lampy napełnione gazem subminiaturowe	-	9,96	-	-	-	-

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
510	Lampy napełnione gazem, małej mocy, tyratrony	15,0	6,0	2,5	-	-	-
511	Lampy napełnione gazem, małej mocy, tyratrony, subminiaturowe	4,41	1,7	0,28	-	-	-
512	Lampy napełnione gazem, dużej mocy, niesawodne, tyratrony	11,3	5,0	3,0	-	-	-
513	Lampy napełnione gazem, dużej mocy, subminiaturowe, tyratrony	11,05	6,5	2,95	-	-	-
514	Lampy napełnione gazem, o świeżonej niezawodności, tyratrony	3,7	2,0	0,25	-	0,01	-
515	Tyratrony 884(TG1-0,1/0,3)	-	53,0	-	-	-	-
516	Tyratrony 2050 (TG1-0,1/0,3)	-	8,2	-	-	-	-
517	Tyratrony 2D21 (TG1-0,1/0,3)	4,4	1,8	0,41	-	-	-
518	Tyratrony 3C45 (TG11-35/3)	20,1	14,0	6,71	-	-	-
519	Wskaźniki rezonansu	-	-	-	0,1	0,05	0,01
520	Wskaźniki rezonansu 6E5 (6E5S)	-	0,6	-	-	-	-
521	Stabilizatory napięcia	-	-	-	-	0,02	-
522	Stabilizatory napięcia 0A2 (SQ1P)	-	1,0	-	-	-	-
523	Stabilizatory napięcia	2,5	1,0	0,4	-	-	-
524	Lampy elektronowe oscyloskopowe z odchYLENIEM elektrycznym	2,0 _{zn}	1,0 _{zn}	0,96 _{zn}	-	-	-

(d.o. tabl. 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
525	Lampy elektronowe oscyloskopowe z oddziaływaniem magnetycznym	3,1+u	1,65+u	0,94+u	-	-	-
526	Lampy elektronowe oscyloskopowe BBP1 (8K029IM, 8K029M)	-	3,63	-	-	-	-
527	Lampy elektronowe oscyloskopowe 5P7A (12K051B)	-	0,8	-	-	-	-

T a b l i c a 2

Wartości λ_{1+90° niektórych elementów

Elementy	Intensywność uszkodzeń $\lambda_{1+90^\circ} \cdot 10^6 / \text{godz.}$
Lampa elektronowa, dioda	20
Lampa elektronowa, trioda	50
Trioda germanowa	75
Dioda krzemowa	9
Kondensator ceramiczny	30
Kondensator mikowy	11
Kondensator papierowy	3
Opornik warstwowy	6
Opornik drutowy	6
Opornik węglowy	2,6

T a b l i c a 3

Wzory do obliczenia λ_1 poszczególnych typów elementów

Elementy	Warunki pracy elementów, dla których można obliczyć λ_1		Numer y- sunków z wykresami do obli- czeń	Wzór reboosy do obliczeń
	warunki elektryczne	temperatura otoczenia θ_c		
1	2	3	4	5
Lampy elektronowe, diody i triody	$(0,9 + 1,21) U_{\text{gn}}$ $(0,1+1,2) P_{\text{max}}$	+90	Rys.9 i 10	$\lambda_1 = \lambda_{1+90^\circ a_1 b_2}$
Lampy elektronowe, diody i triody	$(0,9+1,21) U_{\text{gn}}$ $(0,2+1,0) P_{\text{max}}$	+25 + +140	Rys.9 i 14	$\lambda_1 = \lambda_{10 a_1 a_4}$
Tetrody, pentody, tyratrony	$(0,9+1,21) U_{\text{gn}}$	+25 + +85	Rys.2 i 9	" "
Lampy oscyloskopowe	$(0,9+1,21) U_{\text{gn}}$	+20 + +110	Rys.3 i 9	" "
Klustrony	$(0,9+1,21) P_{\text{max}}$	+20 + +95	Rys.4 i 9	" "
Magnetrony	$(0,9+1,21) P_{\text{max}}$	+20 + +100	Rys.5 i 9	" "
Wyżadowczy wskaźnik próżni	P_{max}	+20 + +80	Rys.5	" "
Diody półprzewodnikowe	P_{max}	+20 + +125	Rys.6	" "
Diody półprzewodnikowe	$(0,1+1,2) P_{\text{max}}$	+90	Rys.11	$\lambda_1 = \lambda_{1+90^\circ b_2}$
Oporniki lite (TWO)	$(0 + 1,6) P_n$	+10 + +150	Rys.15	$\lambda_1 = \lambda_{10 a_4}$
Oporniki warstwowe (MEF)	$(0,2+1,2) P_n$	+0 + +130	Rys.16	" "
Oporniki drutowe	P_n	+20 + +90	Rys.7	$\lambda_1 = \lambda_{10 a_4}$

(d.o. tabl. 5)

1	2	3	4	5
Oporniki trzech róŝnych typów	$(0, 1+1, 2) P_n$	+90	Rys. 12	$\lambda_1 = \lambda_{1+90^\circ} b_2$
Kondensatory ceramiczne (KTK, KMK)	$(0, 2+1, 2) U_n$	+10 + +125	Rys. 17	$\lambda_1 = \lambda_{10} a_4$
Kondensatory mikowe z prze- kładką z folii (KBO)	- " -	+10 + +130	Rys. 18	- " -
Kondensatory mikowe, sre- brzone (KSO-Ń)	- " -	+10 + +120	Rys. 19	- " -
Kondensatory papierowe (KBG)	U_n	+20 + +120	Rys. 20	- " -
Kondensatory trzech róŝ- nych typów	$(0, 1+1, 2) U_n$	+90	Rys. 13	$\lambda_1 = \lambda_{1+90^\circ} b_2$
Transformatory anodowe i Ńarszenia	P_n	+10 + +155	Rys. 8	$\lambda_1 = \lambda_{10} a_2$

T a b l i c a 4a

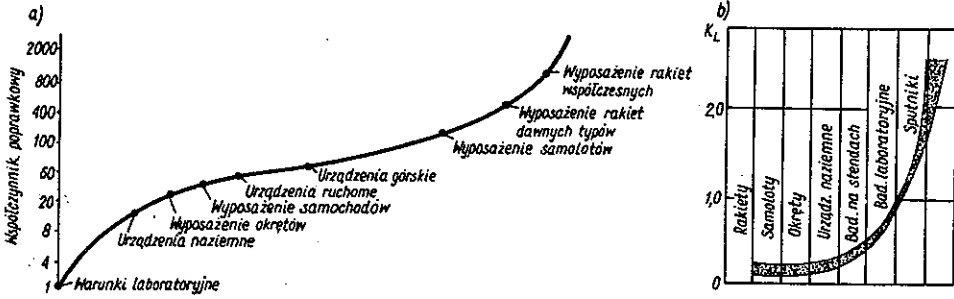
Współczynnik r_1 do określania górnej granicy przedziału
ufności w przypadku rozkładu wykładniczego

Liczba badań	Wartości współczynnika r_1 przy poziomie ufności					
	0,999	0,990	0,975	0,950	0,900	0,800
1	1000	100	40	19,5	9,50	4,48
2	44,0	13,5	8,26	5,63	3,77	2,42
3	15,7	6,88	4,84	3,66	2,73	1,95
4	9,33	4,85	3,67	2,93	2,29	1,74
5	6,76	3,91	3,08	2,54	2,05	1,62
6	5,43	3,36	2,73	2,29	1,90	1,54
8	4,06	2,75	2,31	2,01	1,72	1,43
10	3,38	2,42	2,08	1,83	1,61	1,37
15	2,59	2,01	1,78	1,62	1,46	1,28
20	2,23	1,81	1,64	1,51	1,37	1,24
25	2,02	1,68	1,55	1,44	1,33	1,21
30	1,89	1,60	1,48	1,39	1,29	1,18
40	1,72	1,50	1,40	1,32	1,24	1,16
50	1,61	1,43	1,35	1,28	1,21	1,14
60	1,56	1,38	1,31	1,25	1,19	1,12
80	1,47	1,32	1,26	1,21	1,16	1,10
100	1,40	1,28	1,23	1,19	1,14	1,09
150	1,31	1,22	1,18	1,15	1,12	1,07
200	1,26	1,19	1,16	1,13	1,10	1,06
250	1,23	1,17	1,14	1,11	1,09	1,06
300	1,21	1,15	1,12	1,10	1,08	1,05
400	1,18	1,13	1,11	1,09	1,07	1,04
500	1,16	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04
600	1,14	1,10	1,08	1,07	1,05	1,04
800	1,12	1,09	1,07	1,06	1,05	1,03
1000	1,11	1,08	1,06	1,05	1,06	1,03

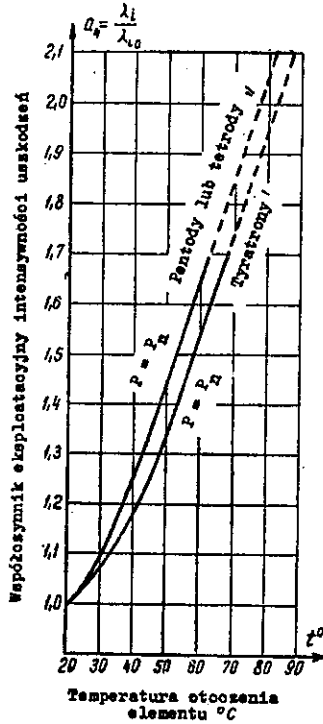
T a b l i c a 4b

Współczynnik r_2 do określania dolnej granicy przedziału
ufności w przypadku rozkładu wykładniczego

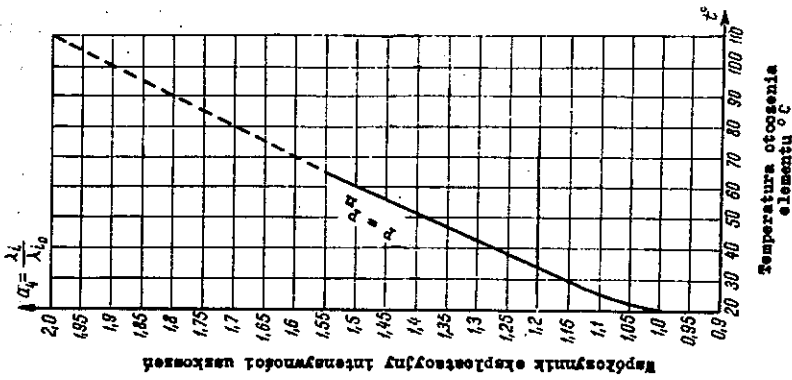
Liczba badań	Wartości współczynnika r_2 przy posłowie ufności					
	0,999	0,990	0,975	0,950	0,900	0,800
1	0,14	0,22	0,27	0,33	0,43	0,62
2	0,22	0,30	0,36	0,42	0,51	0,67
3	0,27	0,36	0,42	0,48	0,57	0,70
4	0,31	0,40	0,46	0,52	0,60	0,73
5	0,34	0,43	0,49	0,55	0,62	0,75
6	0,36	0,46	0,52	0,57	0,65	0,76
8	0,41	0,50	0,56	0,61	0,68	0,78
10	0,44	0,53	0,58	0,64	0,70	0,80
15	0,50	0,59	0,64	0,68	0,74	0,83
20	0,54	0,63	0,67	0,72	0,77	0,85
25	0,58	0,66	0,70	0,74	0,79	0,86
30	0,60	0,68	0,72	0,76	0,80	0,87
40	0,64	0,71	0,75	0,78	0,83	0,88
50	0,67	0,74	0,77	0,80	0,84	0,89
60	0,70	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90
80	0,73	0,78	0,81	0,84	0,87	0,91
100	0,75	0,80	0,83	0,86	0,88	0,92
150	0,79	0,84	0,86	0,88	0,90	0,93
200	0,81	0,86	0,88	0,89	0,92	0,94
250	0,83	0,87	0,89	0,90	0,92	0,95
300	0,84	0,88	0,90	0,91	0,93	0,95
400	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,96
500	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,96
600	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97
800	0,90	0,92	0,93	0,94	0,96	0,97
1000	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97



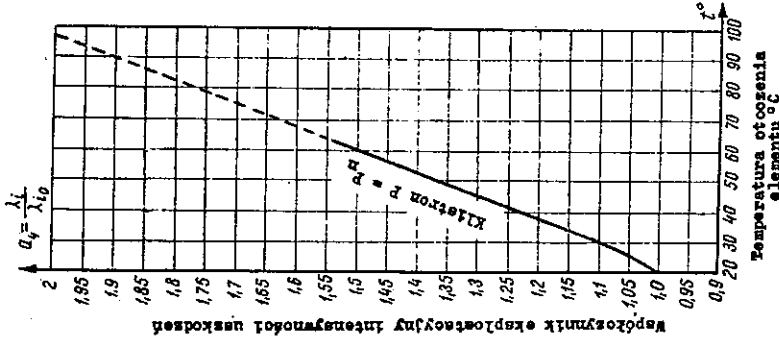
Rys. 1. Krzywe poprawek wartości intensywności uszkodzeń /a/ i umownego czasu życia /b/



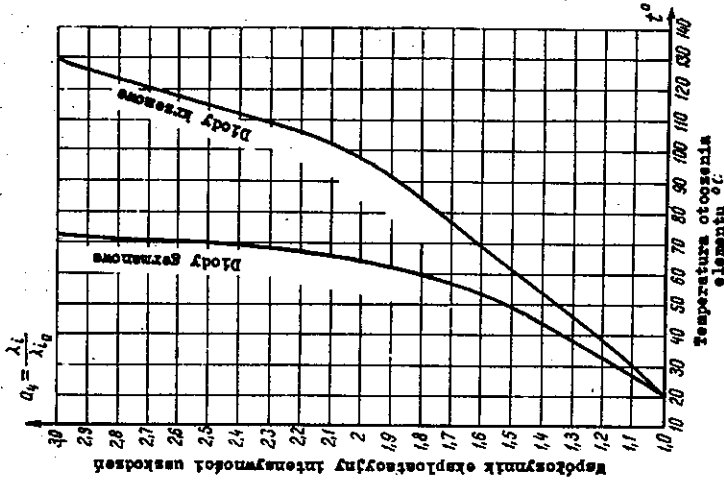
Rys. 2. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń od zmiany temperatury otoczenia dla tetrod, pentod i tyratronów przy znamionowym obciążeniu elektrycznym



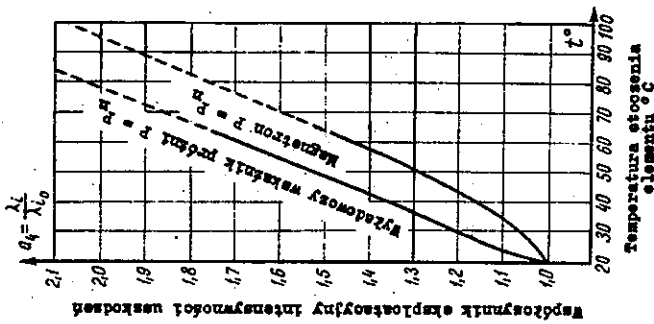
Rys. 3. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń od zmiany temperatury otoczenia dla lamp elektronowych osyloskopowych przy znamionowym obciążeniu elektrycznym



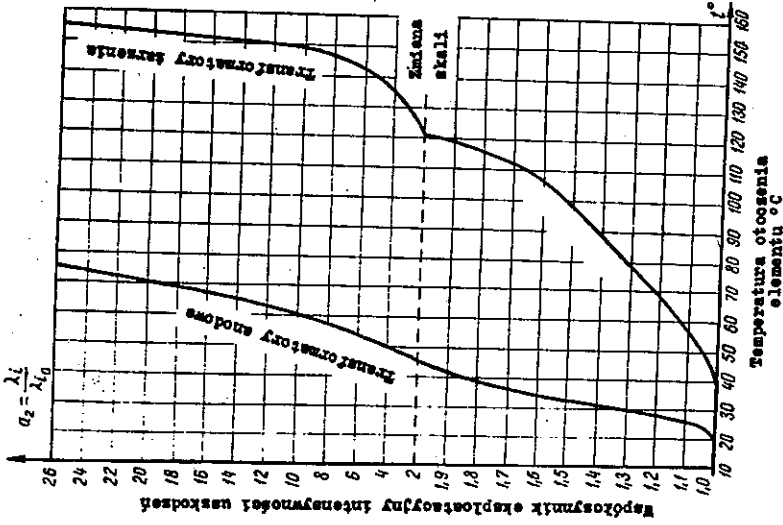
Rys. 4. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń od zmiany temperatury otoczenia dla klistrona przy znamionowym obciążeniu elektrycznym



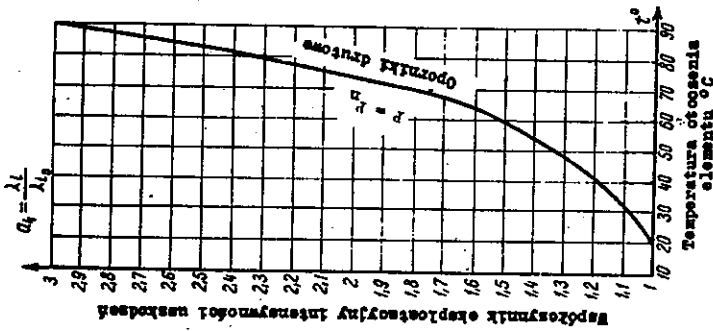
Rys. 6. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń od zmiany temperatury otoczenia dla diod krzemowych i germanowych przy znamionowym obciążeniu elektrycznym



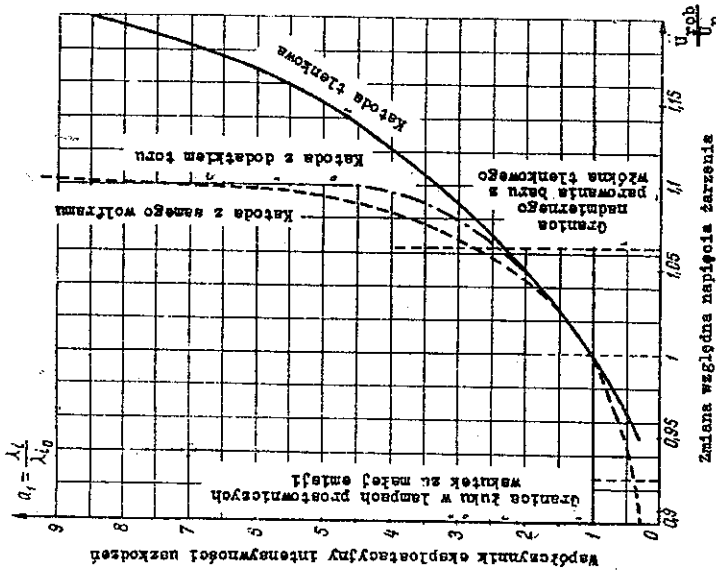
Rys. 5. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń od zmiany temperatury otoczenia dla magetrona i wyładowego wskaźnika próbnika przy znamionowym obciążeniu elektrycznym



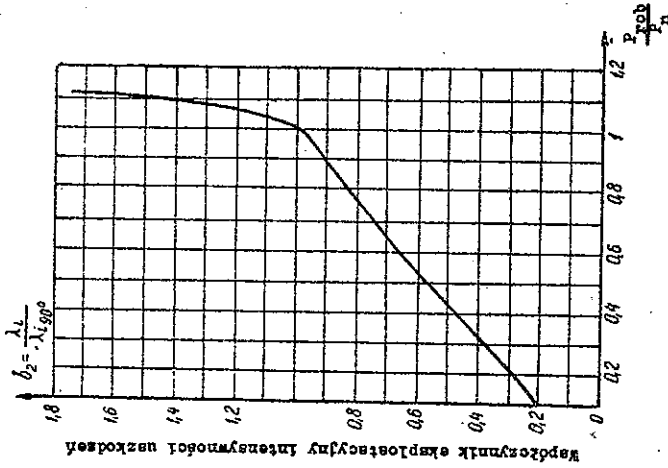
Rys. 8. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń od zmiany temperatury otoczenia dla transformatorów anodowych i transformatorów żarzenia przy znamionowym obciążeniu elektrycznym



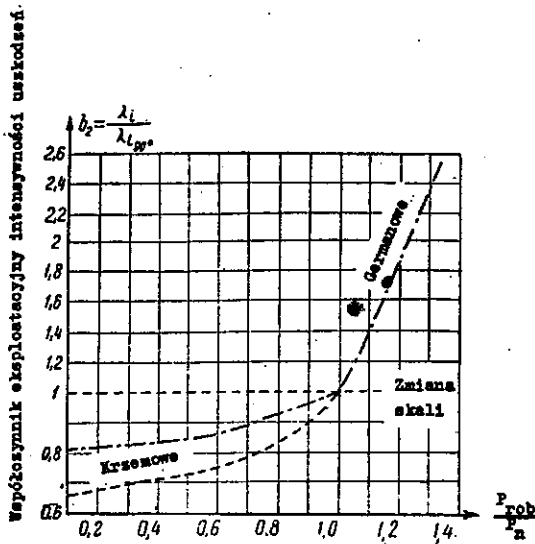
Rys. 7. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń od zmiany temperatury otoczenia dla oporników drutowych przy znamionowym obciążeniu elektrycznym



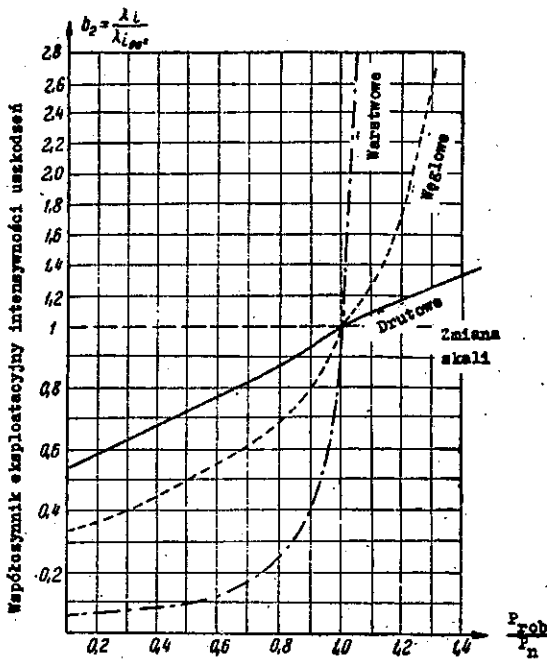
Rys. 9. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń od napięcia żarzenia dla różnych elementów elektrycznych próżniowych z katodami różnego rodzaju przy znormalizowanym obciążeniu elektrycznym pozostałych elektrod



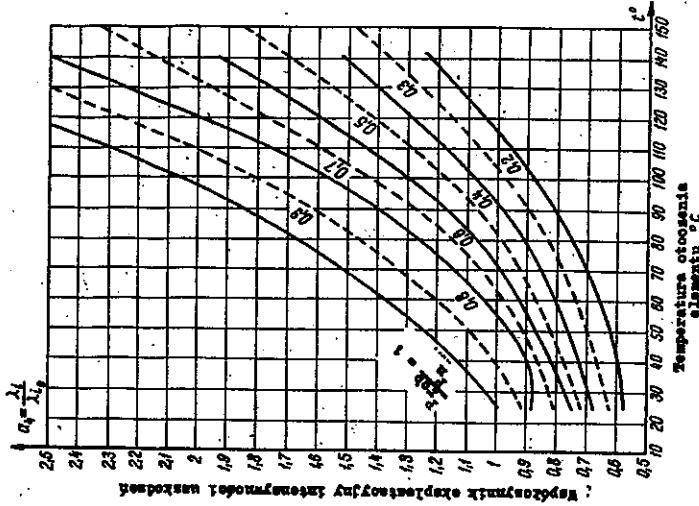
Rys. 10. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń diod i triod lampowych od obciążalności elektrod przy pracy w otoczeniu o temperaturze +90°C



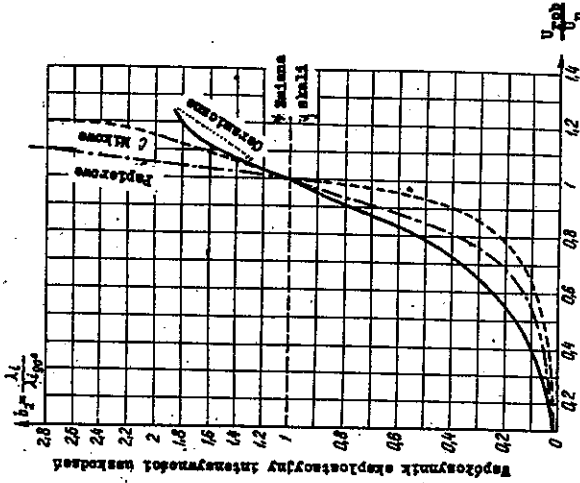
Rys. 11. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń diod półprzewodnikowych od obciążalności elektrod przy pracy w otoczeniu o temperaturze $+90^\circ\text{C}$



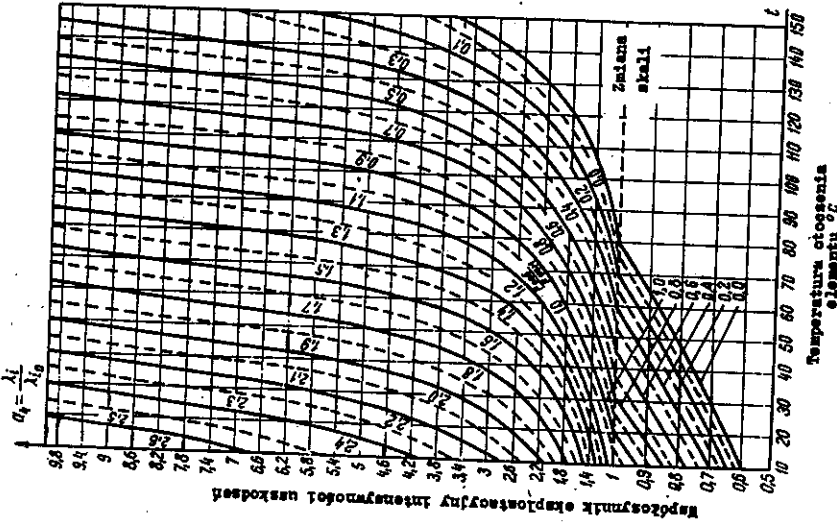
Rys. 12. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń oporników od obciążalności przy pracy w otoczeniu o temperaturze $+90^\circ\text{C}$



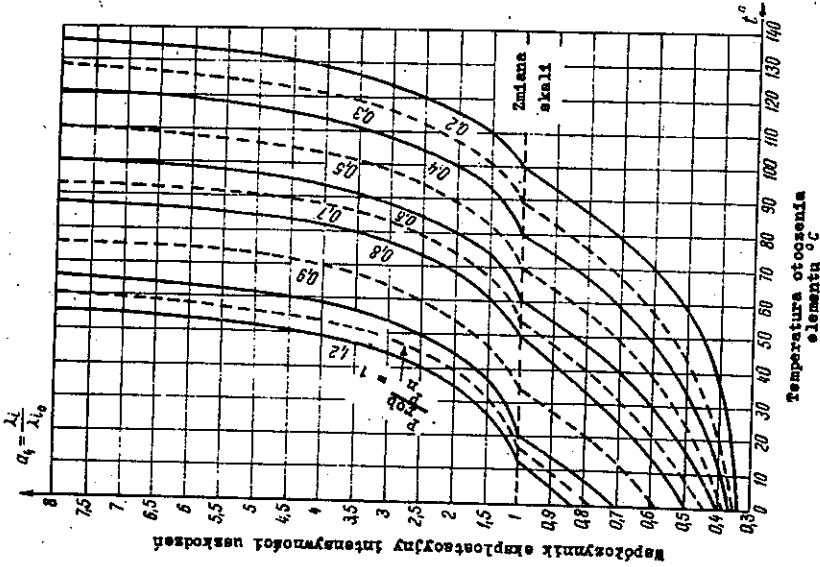
Rys. 14. Zależność współczynnika intensywności uszkodzeń diod i triod lampowych od zmiany temperatury otoczenia i wielkości obciążenia elektrycznego



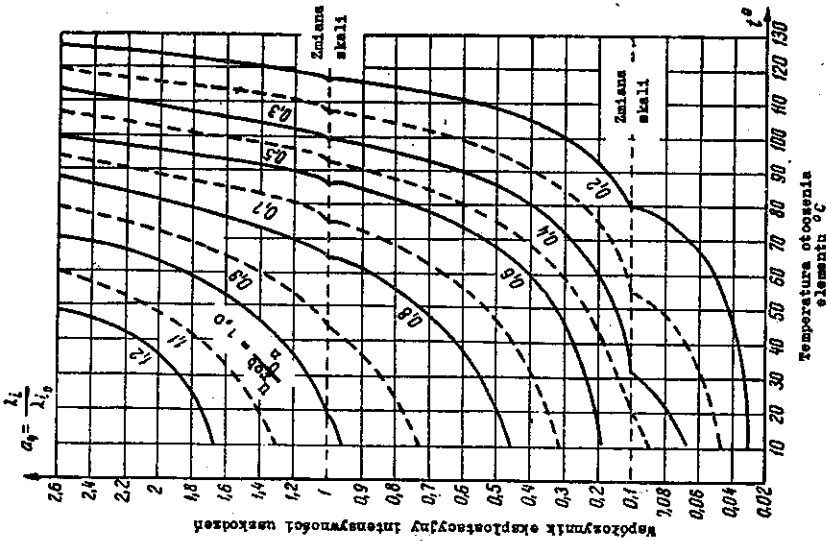
Rys. 13. Zależność współczynnika intensywności uszkodzeń kondensatorów od napięcia kondensatora przy pracy w otoczeniu o temperaturze +90°C



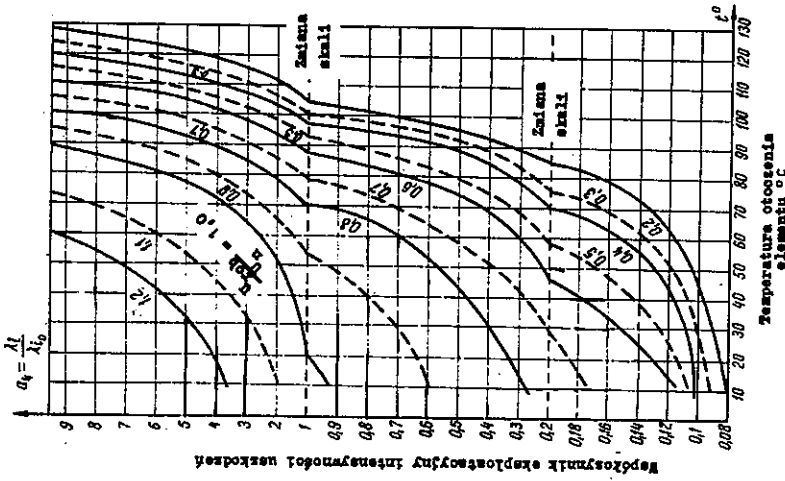
Rys. 15. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń oporników litych od zmiany temperatury otoczenia i wielkości obciążenia elektrycznego



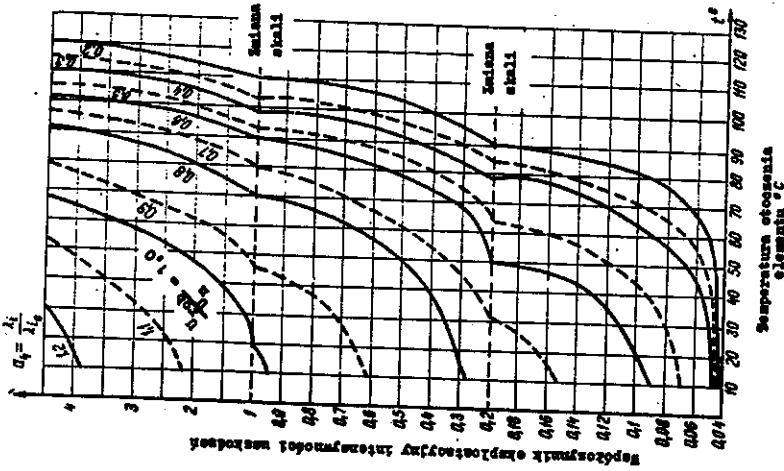
Rys. 16. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń oporników warstwowych od zmiany temperatury otoczenia i wielkości obciążenia elektrycznego



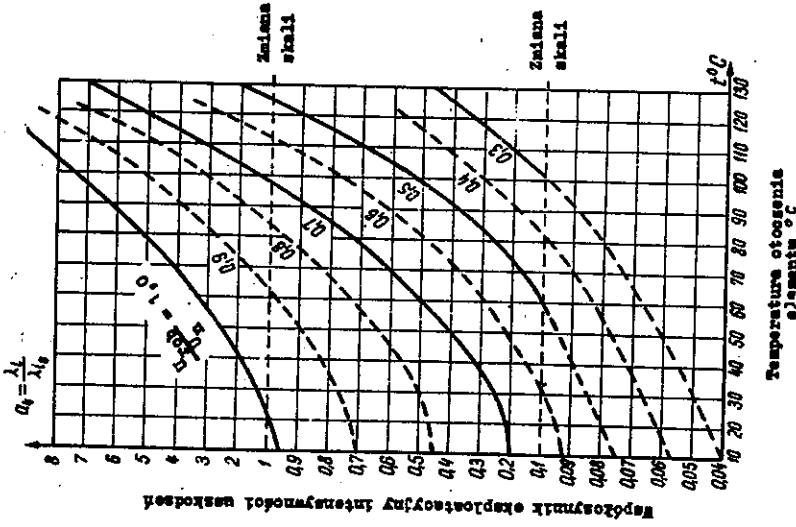
Rys. 17. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń kondensatorów ceramicznych od zmiany temperatury otoczenia i wielkości napięcia pracy



Rys. 18. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń kondensatorów mikrowych z przekładkami z folii od zmiany temperatury otoczenia i wielkości napięcia pracy



Rys. 19. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń kondensatorów mikowych posrebrzonych od zmiany temperatury otoczenia i wielkości napięcia pracy



Rys. 20. Zależność eksploatacyjnego współczynnika intensywności uszkodzeń kondensatorów papierowych od zmiany temperatury otoczenia i wielkości napięcia pracy

WYKAZ LITERATURY

1. Teoria nadiożności w obsłasci radioelektroniki (terminologia), Izd. Akad. Nauk SSSR (1962).
2. Malikow I.M. i in.: Osnovy teorii i rasczota nadiożności. Sudpromgiz (1960).
3. Szor Ja. B.: Statisticzeskije metody analiza i kontrola kaczestwa i nadiożności. Izd. Sowietskoje radio (1962).
4. Wencel E.S.: Teoria wierojatnosti. Fizmatgiz (1962).
5. Pokazatieli nadiożności sowriemiennych elementow i czastiej słożnych sistiem. LETJ (1964).
6. Sziszonok N.A., Riepkij W.F., Barwinskij L.L.: Osnovy teorii nadiożności i eksploatacji radioelektronnoj tiechniki. Sowietskoje radio (1964).



