

1 9 6 5

Nr 9 (48)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

WARSZAWA — MIEDZESZYN

PRZEGLĄD  
ZAGADNIEŃ  
ŁĄCZNOŚCI

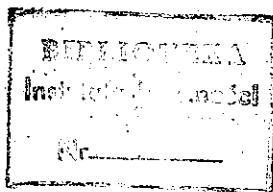




MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

---

# PRZEGLĄD ZAGADNIEN ŁĄCZNOŚCI



ROK 5

WARSZAWA 1965

NR 9(48)

---

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 REKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redakrot: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

---

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności  
Format B5. Nakład 700. Druk ukończono  
w grudniu 1965 r.

**PRZEGLĄD  
ZAGADNIENI ŁĄCZNOŚCI**

**Niezawodność**

**SPIS TRESCI**

	<b>Str.</b>
1. Niezawodność - Opracował C. Niewiadomski	1
2. Niektóre metody zwiększenia niezawodności urządzeń elektronicznych - Opracowała J. Przybysz	28



621.3.019.3

621.395

## NIEZAWODNOŚĆ

Tłumaczył: C. Niewiadomski<sup>1)</sup>

Termin niezawodność dotyczy bardzo dawnego pojęcia w technice, zwłaszcza w teletechnice, a mianowicie pewności funkcjonowania. Eksploatator wie przy tym z codziennego doświadczenia, że jakość urządzeń zależy od dwóch czynników, z których jednym są ich własności elektryczne, a drugim ich zachowanie się w czasie. Tym właśnie drugim aspektem jakości zajmuje się nowa dziedzina techniki, nazywana niezawodnością.

Artykuł niniejszy będzie usiłował wyjaśnić, co przynosi nowego niezawodność jako dziedzina techniki w porównaniu z uprzednio stosowaną techniką oraz jak można wykorzystać niezawodność w dziedzinie telekomunikacji.

### 1. NIEZAWODNOŚĆ JAKO DZIEDZINA TECHNIKI

Podobnie jak wiele dyscyplin naukowych niezawodność wprowadziła pojęcie pomiaru tam, gdzie uprzednio było tylko

---

1) J. Eldin: La fiabilité. Cables et Transmission. 19, 1965, nr 1, s. 45-54.

oszacowanie empiryczne. Podstawą tego pomiaru jest bardzo prosta definicja niezawodności urządzenia, według której jest to prawdopodobieństwo spełniania przez urządzenie funkcji dla niego przewidzianych w określonym czasie i w określonych warunkach. Urządzenie jest rozumiane w powyższym kontekście bardziej szeroko i dotyczy zarówno elementów, jak i podzespołów, zespołów albo kompletnych systemów.

Niezawodność powinna być więc uważana jako uzupełniający parametr urządzenia, o takim samym znaczeniu jak jego parametry elektryczne lub mechaniczne. Z tego względu projektant powinien uważać wartość parametru niezawodności za jeden z celów do osiągnięcia w swoim projekcie, a eksploatacator powinien uwzględniać tę wartość w organizacji sieci i w obliczeniach rentowności połączeń.

Analiza definicji niezawodności wskazuje jednak, że parametr niezawodności nie jest tak łatwo mierzalny jak na przykład parametr elektryczny.

a. Niezawodność jest prawdopodobieństwem. Można ją określić tylko drogą poddania badaniom dużej liczby urządzeń, która jest tym większa, im mniejszy jest przedział ufności. I tak na przykład sprawdzenie, że pewne urządzenie ma niezawodność większą niż 0,99 w czasie 1000 godz. z prawdopodobieństwem 90% wymaga populacji 230 urządzeń oraz niewystępowania żadnego uszkodzenia w powyższym czasie. Sprawdzenie niezawodności 0,999 w tych samych warunkach wymagałoby natomiast poddania badaniom 2300 urządzeń itd.



b. Niezawodność jest zależna od warunków pracy (czynników wymuszających). W przypadku stałych sieci telekomunikacyjnych warunki pracy są zwykle dobrze znane i ponadto bardzo korzystne. Czynniki mechaniczne wymuszające, jak uderzenia i drgania, praktycznie są równe zeru, temperatura pomieszczeń zmienia się w małym zakresie, przynajmniej na kontynencie europejskim ( $10^{\circ}$  do  $30^{\circ}\text{C}$  w przypadku urządzeń stacyjnych i od  $-10^{\circ}$  do  $+45^{\circ}\text{C}$  w przypadku stacji obsługiwanych zdalnie), a wilgotność względna tylko w wyjątkowych przypadkach wynosi ponad 90%. To wszystko oczywiście jest bardzo korzystne zarówno do ustalenia niezawodności, jak i do utrzymywania jej wysokich wartości.

W całkowicie odmiennych warunkach mogą znajdować się natomiast same elementy, które na przykład mogą nagrzać się do wyższych temperatur wskutek położenia w pobliżu elementów promieniujących ciepło lub też mogą podlegać bardzo zmiennym czynnikom wymuszającym elektrycznym (na przykład kondensator pracujący przy różnych napięciach na zaciskach lub przeciwnie pod napięciem stałym, lecz zbliżonym do jego napięcia znamionowego). Dlatego też oszacowanie niezawodności elementów urządzeń telekomunikacyjnych jest skomplikowane wobec konieczności uwzględniania tych różnych czynników wymuszających.

c. Niezawodność jest prawdopodobieństwem prawidłowego funkcjonowania. Takie sformułowanie wymaga z kolei zdefiniowania, co oznacza prawidłowe funkcjonowanie. W przypadku urządzeń i systemów telekomunikacyjnych pojęcie to jest względnie jasne, gdyż wymagania poszczegól-

nych państw i wymagania międzynarodowe ustalają granice, których nie powinny przekraczać charakterystyki, aby urządzenie mogło być uznane za prawidłowo funkcjonujące.

Uszkodzenia, które mogą występować w urządzeniu, trzeba przy tym podzielić na dwie grupy:

- uszkodzenia katastroficzne (nagle), powodujące natychmiastową i zupełną nieużyteczność urządzenia (na przykład uszkodzenie spiny lub zwarcie),

- uszkodzenia naturalne, powodowane, zgodnie z nazwą, powolnym pogarszaniem się któregośkolwiek parametru i przekroczeniem jego dopuszczalnych granic (na przykład pogarszanie się wzmacniacza).

Najgroźniejsza dla eksploatatora, jest oczywiście pierwsza grupa uszkodzeń, gdyż w żadnym przypadku nie jest ona możliwa do przewidzenia.

Druga grupa uszkodzeń, przeciwnie, jest zwykle możliwa do wyeliminowania w urządzeniach telekomunikacyjnych przez konserwację zapobiegawczą, której środkami są organy regulacyjne znajdujące się w dyspozycji eksploatacji lub też wymiana elementu zanim spowoduje on uszkodzenie (na przykład lamp elektronicznych). Statystyki sporządzone przez eksploatację w sieci francuskiej wskazują przy tym, że ponad 80% uszkodzeń zarejestrowanych w kartach naprawczych są uszkodzeniami katastroficznymi, pozostałe zaś 20% są uszkodzeniami naturalnymi, będącymi w przeważającej większości uszkodzeniami modulatorów z prostownikami z tlenków metalu, których zrównoważenie pogarsza się z upływem czasu.

Statystyka ta nie obejmuje jako uszkodzeń niesprawności lamp elektronicznych, gdyż można zawsze tak postępować, żeby wymiana lampy elektronicznej nie spowodowała przerwy w pracy. Analiza przyczyn niesprawności lamp wykazuje z kolei, że przyczyną większości tych niesprawności jest pogorszenie parametru krytycznego lampy.

Z tego wynika więc, że konserwacja zapobiegawcza ma zasadnicze znaczenie dla klasycznych systemów telekomunikacyjnych. Nie ma natomiast wątpliwości, że problemy występujące w systemach, gdzie nie jest ona możliwa, są nieporównywalnie groźniejsze (na przykład kable morskie z wzmacniakami).

d. Niezawodność jest wreszcie funkcją czasu, gdyż w istocie jest ona prawdopodobieństwem funkcjonowania pewnego organu w określonym czasie.

W przypadku urządzeń i elementów elektronicznych krzywa wyrażająca zależność niezawodności  $R$  od czasu ma zwykle postać przedstawioną na rys. 1, natomiast krzywa przedstawiająca prawdopodobieństwo uszkodzenia  $F$  jest oczywiście dopełnieniem uprzedniej do jedności (krzywa przerywana na rys. 1), czyli że

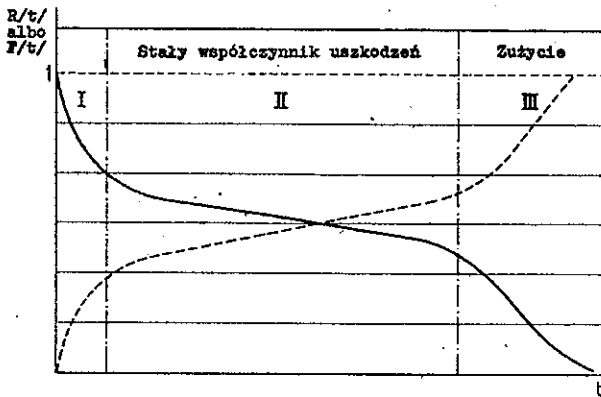
$$F(t) = 1 - R(t)$$

Z krzywych tych można z kolei określić gęstość prawdopodobieństwa uszkodzenia

$$f(t) = \frac{dF}{dt} = - \frac{dR}{dt} ,$$

wobec czego prawdopodobieństwo występowania uszkodzenia w okresie czasu  $t$  do  $t + dt$  odpowiada oczywiście

$$P(\text{uszkodzenia w okresie czasu } t + dt) = f(t)dt$$



Rys. 1. Zależność niezawodności od czasu

————— krzywa  $R/t/$       - - - - - krzywa  $F/t/$

I - uszkodzenia w okresie początkowym /docierania/

Ponadto stosowane jest powszechnie pojęcie intensywności uszkodzeń  $\lambda$ , która jest stosunkiem między  $f(t)$  i  $R(t)$

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt},$$

przy czym  $\lambda(t)dt$  jest warunkowym prawdopodobieństwem występowania uszkodzeń w okresie  $t$  do  $t + dt$ , jeżeli system pozostał w gotowości funkcjonowania do czasu  $t$ .

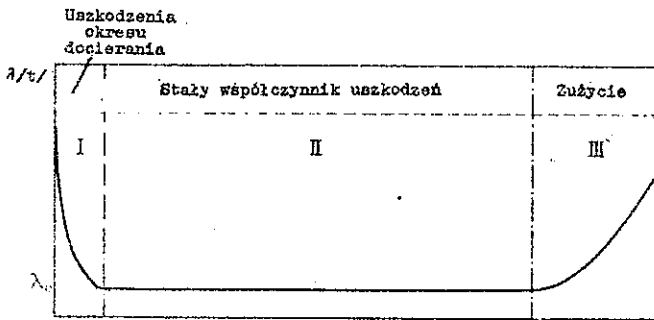
W rezultacie

$$dF = f(t)dt = R(t) \cdot \lambda(t)dt,$$

z czego wynika, że w przypadku  $\lambda(t) = \lambda_0 = \text{const}$  system nie zużywa się, czyli że ma taką samą możliwość uszkodzenia w okresie 0 do  $dt$ , jak w okresie  $t$  do  $t + dt$ , jeżeli system pracował prawidłowo do czasu  $t$ . W takim przypadku można łatwo sprawdzić, że

$$R(t) = e^{-\lambda_0 t}; \quad F(t) = 1 - e^{-\lambda_0 t};$$

$$f(t) = \lambda_0 e^{-\lambda_0 t}$$



Rys. 2. Intensywność uszkodzeń

Jeżeli z krzywej na rys. 1 wykreśla się krzywą  $\lambda(t)$  dla urządzeń elektronicznych, otrzymuje się w ten sposób krzywą przedstawioną na rys. 2, w której można rozróżnić trzy okresy zaznaczone już na rys. 1.

Okres I, w którym intensywność uszkodzeń zmniejsza się, jest okresem docierania, to znaczy okresem takich uszkodzeń, które nie mogły być wyeliminowane przez kontrolę fabryczną. Okres ten odpowiada okresowi oddawania do eksploatacji urządzeń telekomunikacyjnych, w którym

działanie urządzenia polepsza się, gdyż prawdopodobieństwo warunkowe występowania uszkodzenia maleje.

Okres III odpowiada natomiast okresowi zużycia urządzenia. W okresie tym prawdopodobieństwo warunkowe uszkodzeń wzrasta, w wyniku czego staje się korzystne wycofanie z pracy urządzeń lub podzespołów będących przyczyną jego uszkodzeń. Początek okresu III wskazuje na koniec użyteczności urządzenia.

Okres II odpowiada wreszcie okresowi normalnego funkcjonowania, w którym intensywność uszkodzeń jest stała, co oznacza, że prawdopodobieństwo występowania uszkodzenia urządzenia jest takie samo niezależnie od rozpatrywanego czasu, jeżeli urządzenie pozostało w dobrym stanie do tego czasu.

Przyjmuje się zwykle, że okres I jest zakończony w momencie rozpoczęcia eksploatacji oraz że urządzenie jest oddawane do generalnego przeglądu w początku okresu III. W konsekwencji przyjmuje się, że w okresie użyteczności urządzenia intensywność uszkodzeń jest stała, a miarą jego niezawodności w dowolnej chwili jest współczynnik intensywności uszkodzeń  $\lambda_0$  (niezawodność jest tym lepsza, im  $\lambda_0$  jest mniejszy).

Współczynnik  $\lambda_0$  wyrażany jest często w procentach uszkodzeń w ciągu 1000 godzin lub też prawdopodobieństwem uszkodzeń w ciągu godziny, przy czym między tymi dwoma wyrażeniami istnieje oczywista zależność

$$1\% \text{ uszkodzeń w ciągu 1000 godz.} = 10^{-5} / \text{godz.}$$

Można łatwo ponadto wykazać, że w przypadku urządzenia o intensywności uszkodzeń  $\lambda_0$  czas średni między uszkodzeniami wyznacza zależność

$$T_0 = 1/\lambda_0$$

Czas ten wyrażany w godzinach wskazuje, że niezawodność jest tym lepsza, im  $T_0$  jest większy.

#### Podstawowe twierdzenie niezawodności

Jeżeli pewne urządzenie składa się z  $n_1$  części o intensywności uszkodzeń  $\lambda_1$ ,  $n_2$  części o intensywności uszkodzeń  $\lambda_2$  ... i  $n_k$  części o intensywności uszkodzeń  $\lambda_k$  oraz jeżeli uszkodzenie którejkolwiek części powoduje uszkodzenie całego urządzenia, wówczas intensywność uszkodzeń urządzeń wyraża się zależnością

$$\lambda_0 = n_1 \lambda_1 + n_2 \lambda_2 + \dots + n_k \lambda_k$$

W rezultacie prawdopodobieństwo znajdowania się w pracy urządzenia w czasie  $t$  jest iloczynem prawdopodobieństwa znajdowania się każdej części w stanie nieuszkodzonym, czyli że

$$R(t) = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_1 t} \dots e^{-\lambda_2 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \dots$$

$n_1$  czynników                       $n_2$  czynników

$$\dots \underbrace{e^{-\lambda_k t} \cdot e^{\lambda_k t}}_{n_k \text{ czynników}} = e^{-(n_1 \lambda_1 + n_2 \lambda_2 + \dots + n_k \lambda_k) t} = e^{-\lambda_0 t}$$

przy czym  $\lambda_0 = n_1 \lambda_1 + n_2 \lambda_2 + \dots + n_k \lambda_k$ .

Z tego wynika więc, że w przypadku znajomości niezawodności każdej części w warunkach jej pracy można obliczyć w stadium projektowania urządzenia jego niezawodność i ewentualnie zmienić części albo warunki ich pracy, aby w ten sposób uzyskać wymaganą niezawodność.

Bardzo duże wysiłki obecnie podejmowane w celu ustalenia wykresów przedstawiających niezawodność elementów zależnie od występujących czynników wymuszających. Wykresy te uzyskuje się drogą badań laboratoryjnych (gdy  $\lambda_0$  jest mniejszy niż  $10^{-6}$ /godz, koszt pomiarów niezawodności staje się jednak duży) lub też drogą przeliczeń wyników otrzymanych z eksploatacji.

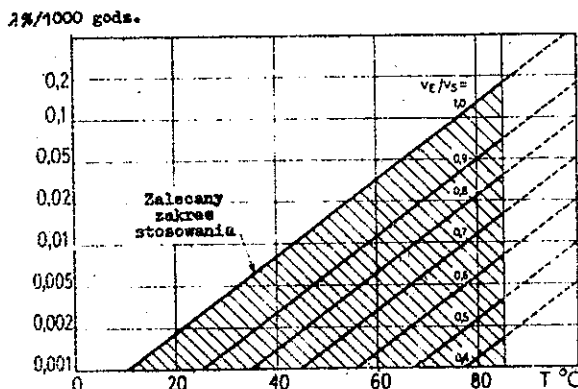
I tak na przykład rys. 3 przedstawia według danych Rome Air Development Center Reliability Notebook intensywność uszkodzeń zależnie od temperatury otoczenia oraz od stosunku napięcia trwałego na zaciskach do napięcia znamionowego pracy kondensatorów mikowych zaprasowanych, pracujących przy wilgotności względnej otoczenia mniejszej niż 60%. Z rysunku tego widać na przykład, że przy temperaturze  $45^\circ\text{C}$  i napięciu odpowiadającym 70% na-



pięcia znamionowego intensywność uszkodzeń wynosi

$$\lambda_1 = 0,001\%/1000 \text{ godz.} = 10^{-8}/\text{godz.},$$

co potwierdza doskonałą niezawodność tego typu elementów.



Rys. 3. Intensywność uszkodzeń kondensatorów mikrowych  
zależnie od temperatury

$V_E$  - napięcie na zaciskach,  $V_S$  - napięcie znamionowe pracy  
Wilgotność względna mniejsza niż 60%

Gdy mamy do czynienia z dużą liczbą podobnych urządzeń i stałą dzięki naprawom wykonywanym w miarę występowania uszkodzeń lub dzięki zastąpieniu przez urządzenia tego samego typu, estymatorem  $\lambda_0$  jest wtedy średnia intensywność uszkodzeń w jednostce czasu. Wystarczy więc wówczas zliczyć w okresie czasu  $T$  liczbę uszkodzeń  $n$  oraz, znając liczbę wszystkich urządzeń  $N$ , obliczyć z nich

$$\lambda_0 = \frac{n}{NT} = \frac{n}{N} \cdot \frac{1}{T}$$

Za pomocą bardzo prostych obliczeń statystycznych można przy tym obliczyć przedział ufności niezawodności, ograniczony wartościami  $\lambda$ , minimalną i maksymalną względem  $\lambda_0$ , który jest tym mniejszy, im większy jest iloczyn NT.

Posługując się odpowiednim systemem zbierania danych, sama eksploatacja jest więc najlepszym źródłem informacji odnośnie niezawodności zarówno urządzeń, jak i elementów. Analiza statystyczna wartości  $\lambda_0$ , uzyskiwanych w miarę upływu czasu, umożliwia ponadto upewnienie się w ważności hipotezy wyjściowej, której zasadą jest stałość wartości  $\lambda_0$ . Wyraźne zwiększenie wartości  $\lambda_0$  jest mianowicie oznaką zużywania się urządzeń oraz wskazuje na konieczność przeprowadzenia przeglądu generalnego lub wymiany urządzenia.

## 2. PRZYKŁADY OKREŚLANIA NIEZAWODNOŚCI

W latach 1961 i 1962 określano intensywność uszkodzeń urządzeń teletransmisyjnych, wykorzystując do tego celu raporty niesprawności sporządzone przez służbę LGD<sup>1)</sup>. Wyniki tych badań, przeprowadzonych dla czterech urządzeń, przedstawia tabl. 1, w której podano  $\lambda_0$ ,  $\lambda_{\min}$  i  $\lambda_{\max}$ , z poziomem ufności 0,9 (90% prawdopodobieństwa znajdowania się wartości rzeczywistej  $\lambda_0$  w powyższym przedziale). Można przy tym uważać, że znajdowanie się  $\lambda_0$  poza

---

<sup>1)</sup> Service des Lignes à Grande Distance - Służba Linii Dalekosiężnych.

T a b l i c a 1

Porównanie intensywności uszkodzeń w dwóch kolejnych latach czterech urządzeń przy poziomie ufności 0,9

Rodzaj urządzenia	Rok	Liczba pracujących urządzeń	Czas T /roczny/ godz.	NT $10^6$ godz.	Liczba uszkodzeń n	$\lambda'_0$	$\lambda_{min}$ $10^{-6}$	$\lambda_{max}$	Liczba elementów	$\lambda'$ max na elementy $10^{-6}$	Obserwacje
Sygnalizacyjny układ obrotowy	1961	6900	8800	61	135	2,2	1,9	2,6	128	0,017	Starzenie transformatorów i przesyłników
	1962	7500		66	236	3,6	3,2	4		0,028	
Zacze systemu 12-krotnego	1961	16800	8800	148	667	4,5	4,2	4,8	195	0,023	Starzenie
	1962	19000		167	992	5,9	5,6	6,2		0,030	
Wzmacniacz rozdzielczy o czułości 8 kHz	1961	1400	8800	12	0	0	0	0,27	18	0	-
	1962	1650		14	2	0,14	0,05	0,5		0,008	
Stacja wzmacniakowa linii wspólnej o mocy 900-krotnej	1961	1620	8800	14	137	10	8,4	11	250	0,04	-
	1962	1780		16	124	8	6,6	9		0,032	

granicami przedziału ufności przy poziomie ufności 0,9 świadczy o wydatnej zmianie  $\lambda_0$ .

Jeżeli pominię się wzmacniacz rozdzielczy częstotliwości 8 kHz, który jest urządzeniem prostym, można stwierdzić, że występujące intensywności uszkodzeń są rzędu kilki  $10^{-6}$  w przypadku urządzeń i kilku  $10^{-8}$  w przypadku elementów. Rozrzut wartości występujący między różnymi urządzeniami tłumaczy się dobrze nie różną ich złożonością, która co najwyżej jest dwukrotna, lecz większą trudnością utrzymywania parametrów niektórych z tych urządzeń albo też większą zawartością urządzeń i wyższą w nich temperaturą. Z rys. 3 widać bowiem wyraźnie, że intensywność uszkodzeń elementu może zwiększać się dziesięciokrotnie przy podwyższeniu temperatury otoczenia z  $35^{\circ}$  do  $75^{\circ}\text{C}$  i tych samych czynnikach wymuszających elektrycznych.

Należy jednocześnie przypomnieć, że 80% występujących uszkodzeń należy do uszkodzeń nagłych i katastroficznych oraz że nie obejmują one uszkodzeń lamp elektronicznych. Ocenia się przy tym, że średnia trwałość lamp elektronicznych stosowanych we Francji w sieci LGD wynosi w praktyce 15000-60000 godz., w wyniku czego można przyjąć, że średnia częstotliwość wymiany lamp zwykłej jakości wynosi  $66 \cdot 10^{-6}$ /godz., a lamp podwyższonej jakości  $6 \cdot 10^{-6}$ /godz. Lampy są więc wymieniane 1000 razy częściej niż średnio inne elementy, co całkowicie tłumaczy poddawanie ich szczególnemu doглядowi oraz warunek łatwości ich wymiany.

Jeżeli konserwacja jest prawidłowo prowadzona, wydaje się w przypadku pominięcia lamp jako elementów powodujących uszkodzenia katastroficzne, że zgodnie z doświadczeniem uzyskanym przez resort poczty i telekomunikacji intensywność uszkodzeń można jednakże zmniejszyć do około  $2 \cdot 10^{-6}$ , gdy jako uszkodzenia będą uważane tylko niemożliwe do przewidzenia w tego rodzaju konserwacji uszkodzenia nagłe. Ta intensywność odpowiadałaby rzędnej odcinka prostej krzywej na rys. 2.

W związku z tym wydaje się więc, że tranzystoryzacja urządzeń powinna spowodować znaczne polepszenie ich niezawodności. Dlatego też jest szczególnie interesujące porównanie wyników analizy statystycznej uszkodzeń w ciągu dwóch lat urządzeń tranzystorowanych (7 tranzystorów) nadawczo-odbiorczych telegrafii wielokrotnej, znajdujących się od kilku lat w eksploatacji LGD, z analogicznymi uszkodzeniami urządzeń nadawczo-odbiorczych telegrafii wielokrotnej, wyposażonych w lampy elektroniczne (3 lampy). Porównanie to, przedstawione w tabl. 2, jest tym bardziej charakterystyczne, iż przyczyną większości uszkodzeń urządzeń tranzystorowanych były kondensatory elektrolityczne aluminiowe, które z tego powodu zastąpiono potem kondensatorami tantalowymi, oraz iż zastosowane tranzystory germanowe były produkowane stosunkowo przestarzałą technologią. Skądinąd uszkodzenia, których przyczyną były lampy, nie zostały wprawdzie policzone, lecz nie przeszkadza to jednakże ustaleniu, przyjmując szczególnie staranną konserwację lamp, iż intensywność uszkodzeń lamp wynosiłaby  $9,3 - 15 \cdot 10^{-6}$ /godz., z czego z

kolei wynika, że intensywność uszkodzeń urządzeń z lampami jest 4,5 raza większa niż urządzeń z tranzystorami. Ten stosunek 4,5 byłby znacznie większy, gdyby zastosowano bardziej nowoczesne tranzystory i kondensatory tantalowe.

Można z kolei zadać pytanie, czy w taki sposób określone intensywności uszkodzeń są dobre czy też złe. W celu uzyskania odpowiedzi na to pytanie rozpatrzmy wartości intensywności uszkodzeń katastroficznych elementów produkcji USA, stosowanych w urządzeniach nadziemnych, opublikowane przez Rome Air Development Center (RADC), i niezawodność szacunkową kabli współpracujących z tymi urządzeniami. I tak RADC Reliability Notebook podaje metodę ogólną i bardzo przybliżoną oceny niezawodności urządzenia, której zasadą jest zależność

$$\lambda (10^{-6}/\text{godz.}) = 15 N + 3,5 N',$$

przy czym  $N$  i  $N'$  są to odpowiednio, liczba lamp i tranzystorów. Z zależności tej wynika w przypadku urządzeń nadawczo-odbiorczych telegrafii wielokrotnej, iż intensywność uszkodzeń urządzeń z lampami wynosi  $45 \cdot 10^{-6}/\text{godz.}$ , a urządzeń z tranzystorami  $24 \cdot 10^{-6}/\text{godz.}$  W rzeczywistości jednak otrzymuje się wyniki trzykrotnie lepsze w przypadku urządzeń z lampami (po wliczeniu uszkodzeń lamp) i siedmiokrotnie lepsze w przypadku urządzeń z tranzystorami.

Bardziej dokładne określenie niezawodności można uzyskać przez zastosowanie podstawowego prawa niezawodno-

Porównanie niezawodności telegraficznych urządzeń nadawczo-odbiorczych z tranzystorami i z lampami elektronicznymi

Rodzaj urządzeń	Średnia liczba pracujących urządzeń N	Czas T (2 lata) godz.	NT $10^{-6}$ godz	Liczba uszkodzeń n	$\lambda$ $10^{-6}$	Liczba elementów	$\lambda$ średnio na element $10^{-6}$
Urządzenia nadawczo-odbiorcze telegrafii wielokrotnej z lampami	1025	17500	18	168	9,3	99	0,094
Urządzenia nadawczo-odbiorcze telegrafii wielokrotnej z tranzystorami	4550	17500	80	275	3,4	132	0,026

ści oraz uwzględnienie indywidualnych wartości  $\lambda_i$ , podanych w wykresach opublikowanych przez RADC. W celu ustalenia tych wartości przyjmiemy, że wszystkie elementy podlegają obciążeniu wynoszącemu 40% obciążenia znamionowego oraz że temperatura otoczenia wynosi  $40^{\circ}\text{C}$  w przypadku urządzeń z tranzystorami i  $70^{\circ}\text{C}$  w przypadku urządzeń z lampami. Wyniki takich przeliczeń podano w tabl. 3 i 4, w których przedstawiono ponadto wyniki otrzymane podczas dwuletniej eksploatacji w założeniu, że każde uszkodzenie dowolnego elementu jest powodem jednego uszkodzenia urządzenia. W praktyce jednak niektóre uszkodzenia występują jednocześnie, co tłumaczy różnicę między  $\lambda_0$  podanymi w tabl. 2 i intensywnościami uszkodzeń określonymi z wyników eksploatacji, podanymi w tablicach 3 i 4.

W przypadku urządzeń z lampami niezawodność określona z danych eksploatacyjnych jest trzykrotnie lepsza niż niezawodność oszacowana według danych RADC. Trzeba jednak zwrócić uwagę, że na obliczenia tej ostatniej niezawodności miała duży wpływ intensywność uszkodzeń oporników warstwowych, którą przyjęto równą  $20 \cdot 10^{-6}$ , podczas gdy w praktyce nie przekracza ona  $1,4 \cdot 10^{-6}$ . Natomiast przeciwnie, intensywność uszkodzeń diod jest w rzeczywistości trzykrotnie większa niż ustalona przez RADC. Tak więc w praktyce istnieje znaczna rozbieżność, która wynika niewątpliwie z warunków użytkowania oporników i diod.

W przypadku urządzeń stranzystorowanych niezawodność określona z danych eksploatacyjnych jest pięciokrotnie



Niezawodność urządzenia z lampami określona z niezawodności elementów  
(z wyłączeniem lamp)

Rodzaj elementu	Liczba elementów w urząd- zeniu	$\lambda$ RADC $10^{-6}$	$n_i \lambda_i$ RADC $10^{-6}$	$\lambda$ LGD $10^{-6}$	$n_i \lambda_i$ LGD $10^{-6}$
Kondensatory mikowe	14	0,02	0,28	0,004	0,056
Kondensatory papierowe	11	0,12	1,32	0,02	0,02
Kondensatory styrofleksowe	5	0,12	0,60	0,11	0,55
Oporniki warstwowe	41	0,50	20,50	0,035	1,44
Potencjometry drutowe	2	1,50	3,00	0,027	0,054
Transformatory	7	0,30	2,10	0,35	2,45
Elementy indukcyjne	8	0,10	0,80	0,02	0,16
Przełączniki	1	0,80	0,80	0,00	0,00
Termistory	2	0,20	0,40	0,027	0,054
Diody	5	0,50	2,50	1,33	6,65
Spoiny i styki	200	0,01	2,00	0,002	0,40
Razem			34		12

T a b l i c a 4

Niezawodność urządzenia tranzystorowanego  
określana z niezawodności elementów

Rodzaj elementu	Liczba elemen- tów w urząd- zeniu	$\lambda$ RADC $10^{-6}$	$n\lambda$ RADC $10^{-6}$	$\lambda'$ LGD $10^{-6}$	$n\lambda'$ LGD $10^{-6}$
Kondensatory mikowe	10	0,01	0,10	0,004	0,04
Kondensatory cera- miczne	5	0,01	0,05	0,008	0,04
Kondensatory elek- trolityczne	14	0,50	7,00	0,26	3,64
Kondensatory styro- fleksowe	11	0,07	0,80	0,015	0,16
Kondensatory tanta- lowe	2	0,10	0,20	0,006	0,01
Oporniki szklione	4	0,30	0,20	0,22	0,88
Oporniki warstwowe	44	0,30	13,20	0,011	0,48
Potencjometry drutowe	1	1,20	1,20	0,00	0,00
Elementy indukcyjne	10	0,10	1,00	0,001	0,01
Transformatory	6	0,20	1,20	0,027	0,16
Przełączniki	1	0,50	0,50	0,00	0,00
Tranzystory	7	0,60	4,20	0,11	0,77
Diody Zenera	1	0,50	0,50	0,00	0,00
Diody prostownikowe	11	0,10	1,10	0,013	0,14
Spoiny i styki	260	0,005	1,30	0,0005	0,13
Razem			33		6

lepsza niż niezawodność oszacowana z danych RADC. Ta ostatnia byłaby jednakże o wiele lepsza (powyższy stosunek zmniejszyłby się do trzykrotnego), gdyby intensywność uszkodzeń oporników warstwowych przyjęto, jak to jest w rzeczywistości w eksploatacji, równą  $0,01 \cdot 10^{-6}$ , a nie  $0,3 \cdot 10^{-6}$  według danych RADC, czyli 30-krotnie większą.

Można ogólnie powiedzieć, że wartości podane przez RADC wydają się pesymistyczne w porównaniu z doświadczeniami LGD. Tym niemniej nie należy zapominać, że

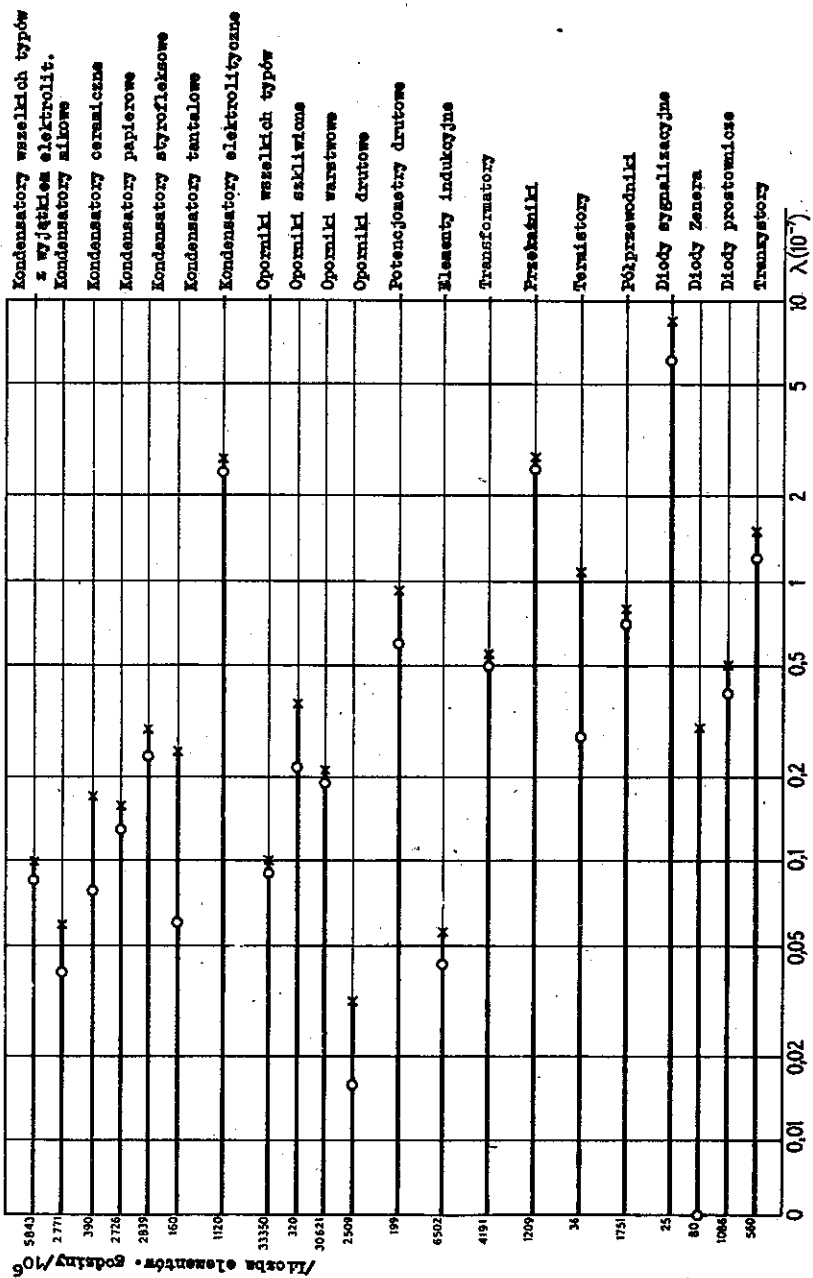
- urządzenia firmy Sotelec są wykonywane z elementów starannie selekcjonowanych,

- elementy te są stosowane według bardzo ostrożnych założeń,

- urządzenie jest eksploatowane nieprzerwanie, przez personel bardzo wykwalifikowany i w łagodnych warunkach klimatycznych (zwłaszcza przy braku drgań).

W związku z tym okazało się konieczne, w celu uwzględnienia tych odmiennych czynników, ustalenie niezawodności elementów w warunkach pracy urządzeń firmy Sotelec, co przedstawia rys. 4. w odniesieniu do urządzenia 51 L, eksploatowanego przez LGD w ciągu dwóch lat. Na rysunku tym podano wartości średnie, nie uwzględniając różnic wynikających z pochodzenia elementów, ponadto zaś wyeliminowano ze statystyki:

- uszkodzenia systematyczne, spowodowane nieodpowiednim rozwiązaniem konstrukcyjnym obwodów albo zastosowaniem niedostatecznie zbadanych elementów, to znaczy uszkodzenia, których przyczyny zostały usunięte,



Rys. 4. Niezawodność elementów w warunkach pracy urządzeń firmy Sotelec

... - uszkodzenia wtórne, będące konsekwencją innego uszkodzenia.

Innym sposobem stwierdzenia poprawności niezawodności szacunkowej jest porównanie niezawodności urządzeń z niezawodnością kabli. I tak wypośredkowane dane statystyczne niezawodności kabli wykazują, że w praktyce występują około trzy uszkodzenia rocznie na kilometr kabla, przy czym najbardziej obciążonymi kablami w urządzeniu są aktualnie kable z parami współosiowymi pracujące w pasmie częstotliwości do 4 MHz, które są wyposażone w cztery wzmacniaki co 9 km, a więc w 44 wzmacniaki na linii o długości 100 km. Ponieważ intensywność uszkodzeń wzmacniaka jak podano wynosi  $9 \cdot 10^{-6}$ /godz., wynika z tego, że średnia liczba uszkodzeń kabla o długości 100 km wynosi rocznie

$$9 \cdot 10^{-6} \times 44 \cdot 9000 = 3,6 \text{ uszkodzenia,}$$

czyli że w najbardziej niekorzystnym przypadku liczba uszkodzeń kabla jest w przybliżeniu taka sama jak uszkodzeń urządzeń.

Uwzględniając jednakże niezawodność bardziej ulepszonych tranzystorów, o mniejszej obciążalności i łagodniejszych czynnikach elektrycznych wymuszających, nie wydaje się przesadnie ambitny pogląd, iż ekonomicznie możliwe do realizacji są urządzenia stranzystorowane o globalnej intensywności uszkodzeń  $10^{-6}$ /godz. w przypadku urządzeń składających się ze 100 części. Inaczej mówiąc, w zespole urządzeń o takiej złożoności zaledwie jedno

urządzenie spośród stu powinno być naprawiane każdego roku. Jeżeli więc osiągnię się tę liczbę oraz jeżeli wszystkie urządzenia zostaną wyposażone w środki samoczynnej regulacji, możliwe będzie w eksploatacji znaczne zmniejszenie obsługi urządzeń stacyjnych (do dwóch pracowników na 10000 urządzeń o powyższej złożoności). Ponadto wystarczy wtedy wykonywać naprawy w skali krajowej lub co najwyżej okręgowej, a na miejscu przeprowadzać tylko typowe wymiany.

Liczbę powyższe uzasadniają również celowość budowy stacji wzmacniakowych podziemnych.

### 3. ZASTOSOWANIE NIEZAWODNOŚCI W DZIEDZINIE TELEKOMUNIKACJI

Można z kolei zadać pytanie w wyniku uprzednich rozważań, czy niezawodność jest po prostu zwykłą rachunkowością uszkodzeń oraz jaki wobec tego może być jej wkład w dziedzinie telekomunikacji.

Niezawodność jest niewątpliwie na pierwszy wygląd pewną rachunkowością. Jak każdy rachunek dobrze wykonany, rzuca ona jednakże nowe światło na jakość urządzenia i wyraża liczbowo fakty dotychczas często niejasne, co umożliwia zwrócenie uwagi na poważne wady lub wykrycie anormalnych warunków eksploatacji. Tak więc niezawodność jest przede wszystkim instrumentem diagnostyki.

Od samego początku jej zastosowania do urządzeń eksploatowanych przez LGD przyniosła ona niespodziankę. I tak analiza wykazała, że co najmniej 50% uszkodzeń wy-

stępujących w urządzeniach telekomunikacyjnych o największych intensywnościach uszkodzeń jest wynikiem nieprawidłowego użycia elementu oraz że uszkodzenia te można było usunąć przez inne rozmieszczenie elementu lub przez zmianę czynników wymuszających, którym podlega element w urządzeniu. W taki sposób intensywność uszkodzeń można było zmniejszyć dwa do pięciu razy.

Niezawodność jest ponadto narzędziem studiów, umożliwiającym projektantowi urządzenia sporządzenie przewidywanego bilansu intensywności uszkodzeń oraz ewentualnie zmianę konstrukcji, elementów albo sposobu użytkowania urządzenia. Taki rachunek można rzeczywiście łatwo wykonać, posługując się podstawowym twierdzeniem niezawodności i wykresami intensywności uszkodzeń. Nie jest jednak wykluczone, że w przypadku trudności osiągnięcia zamierzonej intensywności uszkodzeń może okazać się konieczne obejście podstawowego twierdzenia przez zastąpienie konstrukcji szeregowych, to znaczy takich, w których niesprawność jakiegokolwiek elementu powoduje niesprawność całego urządzenia, przez konstrukcje szeregowo-równoległe, w których elementy najbardziej krytyczne są zdublowane w taki sposób, aby niesprawność jednego z tych elementów nie powodowała niesprawności systemu. Taka technika, o dużej możliwości polepszenia niezawodności systemów, jest właśnie zwykle stosowana w systemach telekomunikacyjnych o dużej liczbie kanałów, jak na przykład w liniach radiowych, w których dubluje się lampy wyjściowe, albo we wzmacniakach linii współosiowych, w których daje się dwa wzmacniacze połączone szeregowo z

takim wspólnym ujemnym sprzężeniem zwrotnym, aby w przypadku uszkodzenia jednego wzmacniacza drugi mógł przejąć całe obciążenie.

Tak więc korzyścią określania niezawodności w powyższych przypadkach jest uzyskanie lepszego osądu oraz liczbowej oceny bezpieczeństwa w przypadku stosowania jednego z dwóch systemów.

Niezawodność jest wreszcie narzędziem zarządzania systemami, ponieważ dzięki określeniu intensywności uszkodzeń systemu składającego się z pewnej liczby urządzeń umożliwia ona:

- ustalenie obsługi niezbędnej do eksploatacji i konserwacji układu,

- ustalenie stanu przyrządów i elementów niezbędnych do napraw,

- ustalenie najlepiej dostosowanych zasad konserwacji w celu zapewnienia określonej gotowości do pracy systemów albo też, inaczej mówiąc, określonej jakości eksploatacji.

Ponadto, co należy szczególnie podkreślić, badania niezawodności systemów umożliwiają ustalenie typu urządzeń o optymalnej globalnej ekonomiczności w eksploatacji. Jest bowiem oczywiste, że koszt określonego urządzenia ma tendencję do wzrostu w miarę polepszania się niezawodności określonej na przykład średnim czasem między kolejnymi uszkodzeniami  $T$ , podczas gdy koszty eksploatacji i konserwacji (niezbędnej obsługi) oraz koszty napraw wtedy zmniejszają się. Oczywiście niezawodność



nie może przy tym przekraczać określonego minimalnego poziomu, aby nie spowodowało to nadmiernego uszczerbku opinii administracji wskutek przerw połączeń.

Koszt godziny eksploatacji jest więc sumą kosztów amortyzacji urządzenia (które zwiększają się ze wzrostem  $T$ ) i kosztów eksploatacji (które zmniejszają się ze wzrostem  $T$ ), przy czym istnieje taka wartość  $T$ , której odpowiada minimalny koszt godziny eksploatacji i którą właśnie należy starać się osiągnąć. W taki sposób stało się odąd możliwe obiektywno kierowanie problemem doboru typu urządzenia z jednoczesnym uwzględnieniem dwóch tendencji, z których jedna wyrażała się dążeniem do jak najmniejszego kosztu urządzenia, a według drugiej uważa się, iż nie ma takiej pewności, którą można byłoby uznać za wystarczającą dla urządzeń telekomunikacyjnych.

#### 4. UWAGI KOŃCOWE

Celem niezawodności jest podanie liczb i ścisłych faktów tam, gdzie dotąd był tylko mniej lub więcej intuicyjny osąd. Jakkolwiek technika niezawodności jest trudna, ponieważ wymaga połączenia mistrzostwa techniki statystyki oraz niemalej dozy zdrowego rozsądku, technika ta jest jednakże cennym narzędziem w rękach odpowiedzialnych za organizację systemów i wybór technologii ich realizacji. Technika tą należy wobec powyższego kierować się, w takiej samej mierze jak własnościami elektrycznymi, we wszystkich wysiłkach tego łańcucha, który rozpoczyna się od eksploatatora, przechodzi kolejno przez in-

żyniera biura studiów, inżyniera rozwoju technicznego, inżyniera zatrudnionego w produkcji i odbiorców oraz wraca w końcu do eksploatatora.

621.3.019.3

## NIEKTÓRE METODY ZWIĘKSZENIA NIEZAWODNOŚCI URZĄDZEŃ ELEKTRONICZNYCH

Opracowała: J. Przybysz<sup>1)</sup>

Niektóre metody wykonywania prób zmęczeniowych przy badaniach urządzeń elektronicznych, dokonywanych w czasie procesu produkcyjnego, pomagają wykryć zakłócenia w działaniu i wady elementów, które powodowałyby uszkodzenie urządzeń w pierwszym okresie eksploatacji. W artykule na podstawie danych statystycznych przeprowadzono analizę dodatniego wpływu takich badań na obniżenie ilości uszkodzeń. Podkreślono konieczność systematycznego notowania ilości uszkodzeń i analizy ich przyczyn. Informacje uzyskane w ten sposób pomagają konstruktorom i przemysłowi zwiększyć niezawodność urządzeń elektronicznych.

---

<sup>1)</sup> J. Lhoták. Některé cesty ke zvýšení spolehlivosti elektronických zařízení. Slaboproudý Obzor 1965, nr 2, s. 66-71.

## 1. WSTĘP

Coraz większe przenikanie elektroniki do wszystkich dziedzin gospodarki narodowej, przede wszystkim do urządzeń inwestycyjnych, coraz większa złożoność urządzeń elektronicznych i problemy związane z ekonomią ich konserwacji prowadzą do tego, że ich niezawodność jest obecnie uważana za jedną z podstawowych cech razem z pozostałymi parametrami urządzeń, jak np. moc, czułość, selektywność, stosunek szumów, dokładność, stabilność itp. Przeprowadza się cały szereg prac związanych z problemami matematycznego wyrażenia niezawodności urządzeń elektronicznych i problemami konstrukcyjnymi z punktu widzenia zwiększenia ich niezawodności.

Rozwiązania problemów niezawodności urządzeń muszą wychodzić nie tylko z teoretycznego i praktycznego sposobu rozwiązania urządzeń, ale także z licznych, systematycznych i pewnych danych statystycznych o uszkodzeniach urządzeń i ich przyczynach w czasie długotrwałej eksploatacji. Niektóre nieodpowiednio i niefachowo określone i stosowane wskaźniki ekonomiczne często utrudniają konstruktorom nowych urządzeń projektowanie ich z najwyższą możliwą niezawodnością, zmuszają do rozwiązywania zagadnień konstrukcyjnych przede wszystkim z punktu widzenia ekonomii wytwarzania, mniej zaś z punktu widzenia ekonomii eksploatacji i konserwacji.

Użytkownik jednak często sam nie uprzytamnia sobie przyszłości i wymaga rozległej uniwersalności urządzeń,

która prowadzi do ich skomplikowania, a przez to do obniżenia niezawodności. Między obu stronami, tj. między producentem a użytkownikiem nie ma zrozumienia, jak również środków na systematyczne badania i ocenę uszkodzeń urządzeń, a przez to na uzyskanie zwiększenia ich niezawodności.

W dalszym ciągu naszych rozważań przyjrzymy się niektórym danym statystycznym o zwiększaniu niezawodności urządzeń elektronicznych przez odpowiedni wybór ich elementów i różnych środków w procesie produkcyjnym. Dane te dotyczą wielokanałowych urządzeń telefonii nośnej, dają się jednak uogólnić także na pozostałe urządzenia elektroniczne.

## 2. KRYTERIUM USZKODZENIA

### TELEKOMUNIKACYJNEGO URZĄDZENIA ELEKTRONICZNEGO I NIEBEZPIECZEŃSTWO USZKODZENIA W FUNKCJI CZASU

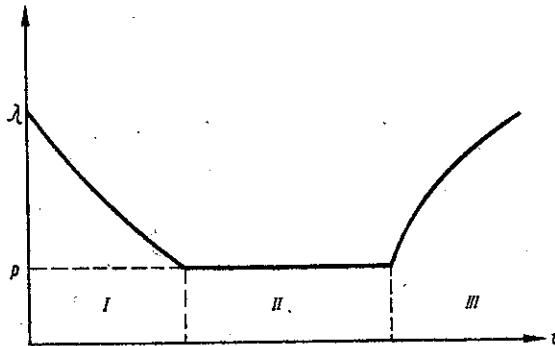
Uszkodzenie urządzenia występuje w następujących przypadkach:

a) własności techniczne urządzenia zmieniają się w takim zakresie, że zostają przekroczone ustalone warunki eksploatacyjne, np.: przekroczenie dopuszczalnego zniekształcenia nieliniarnego i szumów w wyniku zmiany warunków pracy tranzystorów i zwiększenia ich własnego szumu; zwiększenie dopuszczalnej wartości resztkowego poziomu częstotliwości nośnych w wyniku pogorszenia symetrii diod modulatora pierścieniowego; przekroczenie zagwarantowanego zniekształcenia tłumieniowego jako wy-

nik zmiany indukcyjności cewek lub pojemności kondensatorów, filtrów kanalowych itp.:

b) urządzenie przestanie działać zupełnie lub częściowo z powodu zwarcia lub uszkodzenia jego elementów.

Badania statystyczne niebezpieczeństwa uszkodzenia urządzenia lub jego części w funkcji czasu dały wykres jak na rys. 1. Na początku i końcu okresu życia systemu lub jego części prawdopodobieństwo powstania uszkodzenia jest większe.



Rys. 1. Prawdopodobieństwo powstawania uszkodzenia w funkcji czasu

W pierwszej części krzywej pojawiają się elementy z wadami produkcyjnymi, jak również błędy montażu urządzeń (lutowanie "na zimno", przerwy i zwarcia w wyniku niestarannej pracy). W drugiej części pojawiają się przypadkowe i rzadkie uszkodzenia: następuje "dotarcie" systemu. Wartość funkcji w tym okresie czasu oznacza się w literaturze jako prawdopodobieństwo  $p$  i wyraża się w promilach na 1000 godzin lub w procentach na rok. Powyższe zdanie wyraża, jak duże byłoby prawdopodobieństwo  $p$  dla elementów.

Jednostka kanałowa urządzeń telefonii nośnej na średnic i duże odległości zawiera około 600 elementów. Założmy prawdopodobieństwo  $p$  dla tej kanałowej jednostki

$$p_{kj} = 4 \cdot 10^{-2} / \text{rok}$$

(oznacza to prawdopodobieństwo, że w jednym roku 4 jednostki ze 100 zostaną usunięte z powodu uszkodzenia).

Udział elementów w uszkodzeniach zespołów wyznaczony doświadczalnie wynosi około 80% - resztę stanowią błędy produkcyjne. Udział elementów wynosi zatem

$$3,2 \cdot 10^{-2} / \text{rok}$$

Jeżeli obliczymy w przybliżeniu:

$$p_{kj} \approx n \cdot p_s$$

gdzie:

$n$  - liczba elementów,

$p_s$  - prawdopodobieństwo uszkodzenia elementu,

otrzymamy:

$$p_s \approx 0,05 \cdot 10^{-3} / \text{rok}$$

Z doświadczeń przeprowadzonych z tranzystorami przemysłowymi ASY24 otrzymano wartość 6 :

$$0,43 \cdot 10^{-3} / \text{rok}$$

tn. 8-krotnie gorszą niż nasze założenie.

Po określonym czasie, w III etapie następuje znowu wzrost wadliwości w wyniku kończenia się okresu "życia" elementów i materiału urządzeń. Przyczyną jest zużycie elektryczne, mechaniczne, wpływ ośrodka agresywnego itp.

### 3. METODY ZMNIEJSZENIA WADLIWOŚCI W POCZĄTKOWEJ FAZIE EKSPLOATACJI

Wielkość prawdopodobieństwa niezawodności  $p$  w II części krzywej według rys. 1 jest określona przez koncepcję urządzenia, przez wybór elementów niezawodnych i przez wybór optymalnych dla nich warunków pracy; tą problematyką zajmować się nie będziemy. W dalszym ciągu będziemy zajmować się metodami zmniejszenia ilości uszkodzeń w początkowej fazie eksploatacji, tzn. w I części krzywej na rys. 1.

Statystyka wykazuje, że początkowo znaczna ilość uszkodzeń urządzeń zaczyna zmniejszać się po eksploatacji urządzeń przez kilkaset do tysiąca godzin. W tym czasie pojawia się najwięcej wadliwych elementów, błędów spowodowanych niedbałym lub wadliwym montażem, nieprzestrzeganiem odpowiednich procesów technologicznych oraz nieuważną kontrolą.

Dążenie do zmniejszenia wadliwości urządzeń w pierwszej fazie ich eksploatacji skłania wytwórcę do szukania metody obniżenia ilości uszkodzeń do minimum i dokonania tego w miarę możliwości w okresie czasu, gdy urządzenie znajduje się w okresie produkcji i badań. Osiąga się to przez wzmożenie prób zmęczeniowych elemen-

tów przed montażem oraz fragmentów urządzeń, a w końcu całego urządzenia, wprowadzanego do eksploatacji. Musimy sobie przy tym uświadomić, że nie można polepszyć niezawodności urządzeń przez nasilenie prób zmęczeniowych w czasie badań, lecz że w ten sposób doprowadzamy jedynie do odkrycia i usunięcia tych wad, które by się objawiły w pierwszej fazie eksploatacji.

Przy wyborze warunków pracy, prowadzących do zmęczenia elementów i urządzeń, musimy postępować ostrożnie, abyśmy przez wybór nieodpowiednich parametrów w czasie prób zmęczeniowych elementów i fragmentów urządzeń nie uszkodzili ich, a tym samym nie przyczynili się do skrócenia okresu ich życia. Musi być zachowana zasada, że nie wolno nam przekroczyć parametrów granicznych, ustalonych przez wytwórnictwo elementów.

Najczęściej stosowanymi metodami zwiększania obciążenia w czasie produkcji są:

- a) próby zmęczeniowe mechaniczne,
- b) próby zmęczeniowe cyklami cieplnymi,
- c) podawanie "sztucznego ruchu" na elementy i urządzenia w przypadku podwyższenia temperatury otoczenia.

### 3.1. Próby zmęczeniowe mechaniczne i szukanie uszkodzeń za pomocą wykrywacza wadliwych styków

Do tej kategorii prób zmęczeniowych należą próby na wytrząsarkach mechanicznych ze stołem wibracyjnym, za pomocą których powinno się wykryć większe wady powstałe



przy montażu zespołów, jednak zasadnicze wykrywanie wad odbywa się za pomocą wykrywacza złych styków.

Zasada działania urządzenia polega na tym, że sygnał wyjściowy urządzenia badanego wprowadza się na wejście wzmacniacza wykrywacza wadliwych styków. Poszczególne elementy drutowe i styki przełączające obiektu badanego doprowadza się stopniowo do wibracji przez postukiwanie pręcikami i młoteczkami odpowiedniej wielkości. Styki niestabilne przy tych wibracjach zmieniają co krótki okres czasu swój opór przejścia, przez co wytwarza się modulacja sygnału przechodzącego przez badane urządzenie. Zmodulowany sygnał jest przez odbiornik wykrywacza wadliwych kontaktów wzmacniany, demodulowany i wprowadzany na głośnik, gdzie objawia się jako charakterystyczny trzask.

Jeżeli obiekt badany (jak np. generator) nie wytwarza sam sygnału, wprowadzamy na jego wejście napięcie o odpowiedniej częstotliwości i poziomie z generatora badaniowego wykrywacza wadliwych styków. Doprowadzamy napięcie o jak najmniejszym poziomie, aby nie nastąpiło chwilowe przebicie przez podwyższone napięcie, a przez to poprawienie połączenia szkodliwego. Ocena statystyczna prób dokonana przez producentów zagranicznych, którą przedstawimy w dalszym ciągu tekstu, wykazuje, że właśnie te badania pomagają wykryć większą część wad urządzeń i wadliwych części. Ciekawe jest to, że zarząd poczty angielskiej używa właśnie tego sposobu "przekuwania" urządzeń teletransmisyjnych przy konserwacji profilaktycznej raz do roku. W tej dziedzinie nie ma do-

tań doświadczeń naszych fabryk, gdyż metoda tego typu po pierwszych niepowodzeniach jest niedostatecznie doceniona i opracowana. Brakuje również odpowiedniej aparatury; obecnie kończy się opracowanie wykrywacza wadliwych styków.

### 3.2. Próby zmęczeniowe cyklami cieplnymi

Elementy ewentualnie fragmenty lub całe urządzenia poddaje się długim cyklom cieplnym, np. od  $+10^{\circ}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$  w ciągu 24 godzin. Kilka takich cieplnych cykli może przede wszystkim usunąć ukryte naprężenia mechaniczne, które by się ujawniły dopiero po dłuższym okresie rzeczywistej pracy. Ważną sprawą jest wybór granicznych wartości cykli cieplnych, czasu ich trwania, sposób rejestracji pomiarów i oceny zmian elementów i fragmentów urządzeń. Przy badaniu zespołów funkcjonalnych urządzeń należy wybrać i rejestrować w trakcie cykli cieplnych taki parametr, który jest pewną funkcją najważniejszej jednostki.

Okazuje się, że należy śledzić w czasie prób jeden albo więcej tych parametrów i usuwać te jednostki, które wykazują nieprawidłowe, choćby nawet powtarzające się zmiany obserwowanego parametru. Tolerancję dla tych wahań należy ustalić ze względu na nieuniknione zmiany własności poszczególnych elementów w zależności od temperatury otoczenia, ze względów fizykalnych w zależności od wpływów zewnętrznych, jak np. zmiana napięcia zasilającego, uchyb przyrządów pomiarowych, błędy odczytu

itp. Poza tym należy zapewnić, aby nie było wpływu poszczególnych zjawisk powtarzających się, jak np.: niepewnych styków, przerw w zasilaniu energią elektryczną itp.

Tego sposobu użyto przy badaniu płytek z obwodami drukowanymi dla hermetyzowanego, przelotowego wzmacniacza tranzystorowego systemu TESLA - KNK6 S [5]. Programowane urządzenie klimatyzacyjne włącza do dziewięciu skrzyń powietrze o temperaturze 15 do 20°C przez 12 godzin, a przez następne 12 godzin powietrze o temperaturze +40°C. W każdej skrzyni umieszcza się na cztery tygodnie kilkadziesiąt sztuk płytek, stanowiących (pod względem funkcji) zwrotnicę lub wzmacniacz szerokopasmowy przelotowej stacji wzmacniakowej. Płytki z obwodami drukowanymi są włączone do układu pracy i kilka razy dziennie mierzy się ich zasadnicze parametry (zniekształcenie tłumieniowe zwrotnic i wzmocność wzmacniacza, zawsze dla kilku częstotliwości). Płytki są dołączone do punktów rozdzielczych przez lutowanie w celu uniknięcia wpływu przejść w przejściach styków nożowych. Rejestruje się utrzymanie programu temperatur i zmiany napięcia zasilającego dla płytek wzmacniacza, które zapewnia bateria akumulatorów. Z dalszego badania "sztucznym ruchem" i z cyklu produkcyjnego wyławia się płytki, w których pojawi się nawet krótkotrwałe wahanie poziomu od 0,1 do 0,15 N.

### 3.3. Badanie urządzeń i ich fragmentów za pomocą "sztucznego ruchu" w warunkach eksploatacyjnych

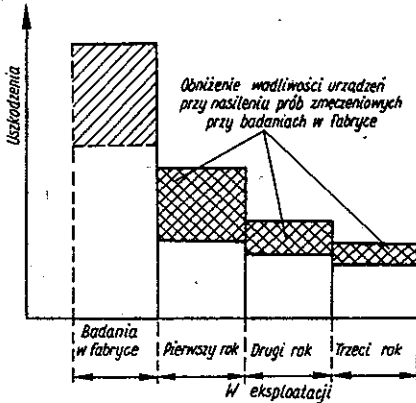
Próby ze "sztucznym ruchem" przeprowadza się przez jeden, dwa, a nawet więcej tygodni, po ostatecznym wyregulowaniu urządzeń. Czasami zwiększa się temperaturę otoczenia w salach prób aż do najwyższej dopuszczalnej wartości według warunków technicznych.

W zespołach końcowych urządzeń sześciokanałowych KNK6 S przeprowadza się próbną pracę w warunkach normalnych przez dwa tygodnie we wszystkich zespołach (półkach) po ich montażu i wyregulowaniu. Po skompletowaniu całych stojaków i ich wyregulowaniu zawsze łączy się dwa stojaki poprzez sztuczne łącza na okres czterech tygodni. W tym czasie przez regularne pomiary kontrolne wykrywa się i usuwa zespoły, które wykazują odchylenia od przepisanych tolerancji.

## 4. OCENA MATERIAŁÓW STATYSTYCZNYCH

Dane przedstawione na rysunkach są wynikiem dziesięcioletniej pracy nad badaniem telekomunikacyjnych urządzeń elektronicznych dla telefonii nośnej firmy SEL (NRF).

Rysunek 2 obrazuje wpływ zastosowania nasilenia prób zmęczeniowych przy badaniu urządzeń w zakładzie produkcyjnym na ilość urządzeń i to tak przy badaniach w fabryce, jak i w eksploatacji w pierwszych trzech latach. Poliniowane wycinki na tym rysunku podają średnią ilość

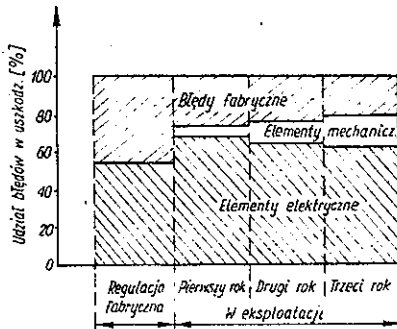


Rys. 2. Wpływ zastosowania nasilenia prób zmęczeniowych w trakcie badań na wadliwość urządzeń w eksploatacji

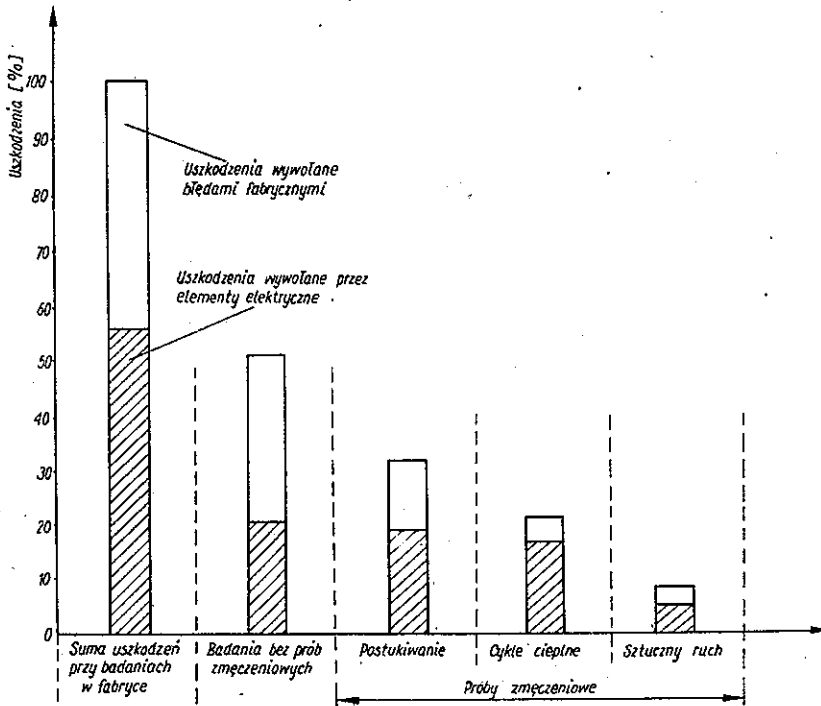
uszkodzeń urządzeń, którą stwierdzono w wypadku, gdy nie wprowadzono badań przy zwiększonym nasileniu prób. Pokratkowane wycinki pokazują zmianę wadliwości po wprowadzeniu prób zmęczeniowych w czasie badań w fabryce. W tym przypadku ilość błędów stwierdzonych w czasie badań w fabryce wzrosła prawie dwukrotnie, zaś ilość uszkodzeń w urządzeniu po jego oddaniu do eksploatacji przeciwnie, zmalała w pierwszych trzech latach do połowy, a potem do jednej trzeciej.

Na rysunku 3 rozdzielono uszkodzenia według przyczyny i momentu powstania. Więcej niż 50% uszkodzeń wywołane jest przez elementy, a mianowicie w okresie badań w fabryce udział elementów w ogólnej ilości uszkodzeń w ciągu pierwszych lat eksploatacji wzrasta do 70%, podczas gdy udział błędów fabrycznych ("zimne" lutowania, złamane przewody, zwarcia) maleje. Uszkodzenia części mechanicznych z powodu zużycia rosną, ale stanowią najwyżej 10% całkowitej sumy.

Dotychczas mówiliśmy o badaniu urządzeń w fabryce w



Rys. 3. Udział poszczególnych rodzajów błędów w ogólnej ilości uszkodzeń



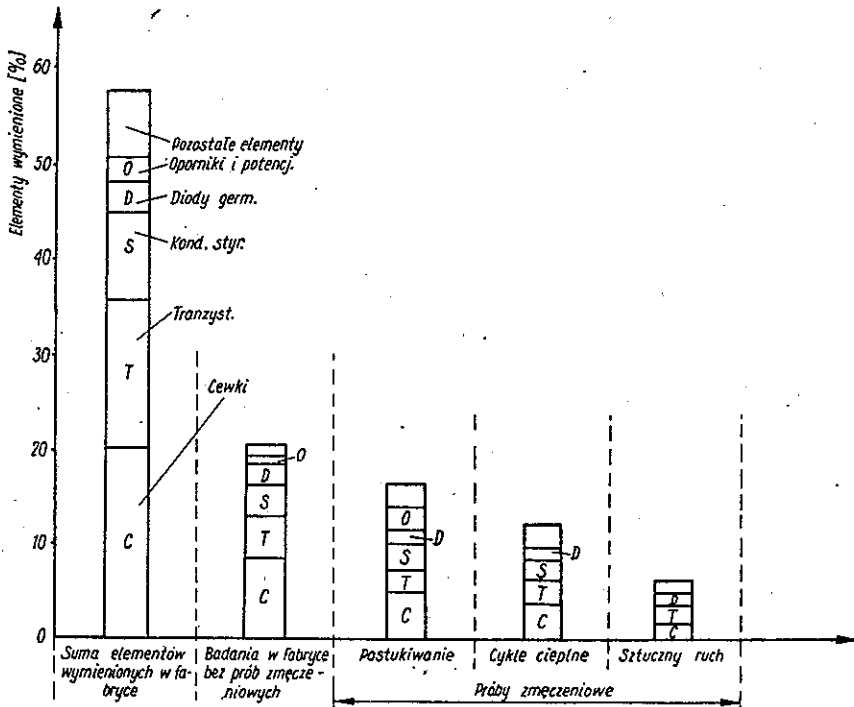
Rys. 4. Udział uszkodzeń elementów w ogólnej ilości uszkodzeń, stwierdzonych przy produkcji i przy poszczególnych rodzajach prób zmęczeniowych

różnych utrudnionych warunkach. Rys. 4 pokazuje ilość błędów, stwierdzonych w trakcie badań bez prób zmęczeniowych i przy wprowadzeniu utrudnionych warunków pracy, tzn. przy postukiwaniu lub wibracjach mechanicznych, w trakcie cykli ciepłych i przy sztucznym ruchu. Przedstawiono ilość błędów z winy produkcji lub elementów dla poszczególnych przypadków. Jest widoczne, że próby zmęczeniowe mechaniczne z wykrywaniem wadliwych styków za pomocą wykrywacza i cyklami ciepłymi są najskuteczniejszą metodą wyszukiwania błędów elementów i działania.

Rysunek 5 wskazuje, w jakim stopniu na poszczególne błędy wpłynęły główne grupy elementów i w jakim stopniu wady elementów ujawniają się przy poszczególnych metodach przeprowadzania prób zmęczeniowych w trakcie badań. Przy badaniu przez postukiwanie ujawniają się mechaniczne wady styków, połączeń spawanych i innych wewnątrz elementów tranzystorów, oporników itp.).

W kondensatorach, gdzie chodzi o wadę w połączeniu spoiny z folią, ujawnia się większy procent błędów przy cyklach ciepłych. Tłumaczy się to w ten sposób, że niedostateczna spoina łącząca przewód z folią nie zawsze ujawni się przy wibracjach, dopiero przy cyklach ciepłych następuje mechaniczne przerwanie styku i częściowe utlenienie, wówczas dopiero ujawnia się niedostateczny styk.

Podobne doświadczenia uzyskaliśmy z kondensatorami styrorefleksowymi dla analogicznych urządzeń naszej produkcji.



Rys. 5. Udział części wadliwych, wykrytych przy różnych rodzajach prób zmęczeniowych w produkcji

W minionym okresie często powstawały uszkodzenia w filtrach w wyniku źle przylutowanych doprowadzeń do folii kondensatorów styrofleksowych. Nie można było stwierdzić inaczey tej wady, jak przez zniszczenie kondensatora. Często lokalizacja tego uszkodzenia jest również trudna, bowiem często nawet małe uderzenie napięciowe (ładunek z lampy lutowniczej, dołączenie napięcia pomiarowego) przebija zły styk między doprowadzeniem a folią i kondensator wydaje się dobry. Wprowadzenie profilaktycznego dozoru przy produkcji kondensatorów, pró-



by niszczące określoną ilość kondensatorów w każdej dostawie i w końcu cykle cieplne kondensatorów przeznaczonych dla czułych obwodów przyczyniły się do obniżenia wadliwości kondensatorów.

W literaturze coraz częściej zaleca się stosowanie sztucznego ruchu tranzystorów. Statystyka jest w zgodzie z tymi zaleceniami, doświadczenia własne wykazały, że kilkumiesięczne nadzorowanie i praca tranzystorów w warunkach sztucznego ruchu pozwalają usunąć większą część tranzystorów i diod, które później mogłyby spowodować uszkodzenia. W tablicy 1 są przedstawione przyczyny uszkodzeń poszczególnych wadliwych elementów i są podane warunki badań, w których uszkodzenie ujawniło się. Na przykładzie tranzystorów okazuje się, że czasami należy użyć dla jednego i tego samego elementu nawet dwóch sposobów badań.

Badania tranzystorów przy sztucznym ruchu wykazują w jak wielkim stopniu ich niezawodność zależy od wyboru odpowiedniego typu i producenta. Np. dla jednego typu tranzystorów w.cz. ilość usuniętych tranzystorów wahała się od 6 do 8%. Dla innego typu innego wytwórcy odrzuty wynosiły 20%, a w niektórych partiach towaru wzrastały do 60%, co świadczyło o niedotrzymaniu odpowiednich procesów technologicznych przy poszczególnych seriach produkcyjnych. Przy przestawieniu się na podobny typ od innego wytwórcy, ale przy wykonaniu tranzystorów dla zastosowania w przemyśle, ilość odrzuconych tranzystorów zmalała do 1%.

Przyczyny błędów usuniętych elementów i dane, przy którym rodzaju prób zmęczenia stwierdzono wady

Element	Powód usunięcia elementu w czasie badań w fabryce	Metoda prób		
		PO	TC	Z
Kond. styrofoleks.	Przerwy, zwarcia		X	
Kond. papier.	Zwarcia, przerwy		X	
Opornik warstwowy	Przerwa na doprowadzeniu	X		
Potencjometr warstwowy	Przerwy i zły styk	X		
Dioda Germanowa	Niska oporność zaporowa Wzrost szumu Zmiana charakterystyki Wzrost szumu i zniekształceń			X
Tranzystor	Zmiana współczynnika wzmocnienia, zwarcia i przerwy elektrod		X	X
Uzwojenia	Przerwy, zwarcia, złe połączenie ferrytu		X	
Przełączniki	Przerwy uzwojenia, zwarcia do jarzma			

PO - postukiwanie  
TC - cykle cieplne  
Z - sztuczny ruch

Większość uszkodzeń ujawniła się przy badaniach oznaczonych przez X

T a b l i c a 2

Wadliwość spowodowana przez uszkodzenia elementów

Element	Ilość sztuk	P. 10 <sup>-5</sup> uszkodzeń przy badaniach w fabryce	Zmęczenie elementów w obwodzie	Uszkodzenia w pierwszych 5 latach p. 10 <sup>-5</sup> za rok		
				Pierwszy rok	Drugi rok	Trzeci rok
Opornik warstwowy	1000.10 <sup>3</sup>	0,03	Np/Nn=0,15	0,01	0,01	0,01
Kondensator MP	≈90.10 <sup>3</sup>	0,1	Ep/En=0,2	0,1	0,1	0,1
Kondensator styrorefleksowy	1000.10 <sup>3</sup>	0,2	Ep/En=0,15	0,07	0,03	0,02
Kondensator MKL	≈25.10 <sup>3</sup>	0,1				
Kondensator papierowy	60.10 <sup>3</sup>	0,1	Ep/En=0,2	0,1	0,1	0,1
Elementy z uzwojeniem	≈400.10 <sup>3</sup>	1,1	-	0,1	0,1	0,1
Diody germanowe	≈250.10 <sup>3</sup>	0,8	-	0,1	0,1	0,1
Potencjometry warstwowe	≈15.10 <sup>3</sup>	1,2	-	1	2	2
Przekładniki	≈15.10 <sup>3</sup>	4	-	1	2	2
Oporniki drutowe	≈20.10 <sup>3</sup>	3	-	0,2	0,2	0,2

z/ Stosunek zastosowanego obciążenia Np do dopuszczalnego obciążenia Nn

W tablicy 2 podano według artykułu [1] wadliwość poszczególnych elementów w obserwowanych urządzeniach i to nie tylko w czasie badań w fabryce, ale i w czasie eksploatacji w pierwszym, drugim i trzecim roku.

W tablicy podano ilość obserwowanych elementów, a w trzeciej kolumnie podano, w jaki sposób przeprowadzono próby zmęczeniowe na elementach.

Porównajmy teraz statystyczny materiał zagraniczny z danymi uzyskanymi w fabrykach własnych. W tabl. 3 podano ilość i podział stwierdzonych uszkodzeń zespołów kanałowych KNKG S w czasie dwutygodniowych prób w sztucznym ruchu. Z tablicy wynika, zgodnie ze źródłami zagranicznymi, że większość ujawnionych błędów jest spowodowana przez produkcję (80%: montaż i badania) reszta przez błędy elementów.

T a b l i c a 3

Wadliwość wykryta w czasie 2-tygodniowego  
"sztucznego ruchu"

Ilość badanych zespołów	813
Usunięto po uszkodzeniu	306
Usunięto (w procentach)	38%
Z winy produkcji	80%
Z winy elementów	20%

Tablica 4 podaje ilość błędów tego samego typu zespołu kanałowego, które stwierdzono w czasie 4-tygodniowych prób w "sztucznym ruchu" całego urządzenia sześciokana-

lowego. Ilość zespołów usuniętych ze względu na uszkodzenie poważnie zmalała (z 38% na 4,7%), a stosunek uszkodzeń z winy produkcji i elementów zmienił się na odwrotny. Okazało się ponadto, że w ciągu trzeciego i czwartego tygodnia prób w "sztucznym ruchu" ilość uszkodzeń nie maleje do wartości pomijalnej i że przynajmniej czterotygodniowe próby ze "sztucznym ruchem" są celowe.

T a b l i c a 4

Wadliwość zespołów przy czterotygodniowych próbach ze sztucznym ruchem.

Ilość zespołów badanych	1092
Ilość zespołów usuniętych	51
Z tego w I tygodniu	25
w II tygodniu	6
w III tygodniu	13
w IV tygodniu	8
Usunięto razem	4,7%
Z winy produkcji	17%
Z winy złych elementów	83%

Tablica 5 podaje absolutną ilość elementów, które spowodowały uszkodzenia zespołów kanałowych w czasie prób czterotygodniowych. Dla porównania przedstawiamy całkowitą ilość elementów użytych w tych badanych zespołach.

T a b l i c a 5

Udział uszkodzeń elementów  
w czasie 4-tygodniowych badań

Element	Suma ele- mentów	Ilość uszkod- zeń
Oporniki	$80 \cdot 10^3$	5
Potencjometry drutowe	$1 \cdot 10^3$	6
Transformatory	$12 \cdot 10^3$	15
Uzwojenia ferrytów	$9 \cdot 10^3$	2
Kondensatory styrofleksowe	$20 \cdot 10^3$	4
Tranzystory do 150 mW	$8 \cdot 10^3$	14
Diody	$23 \cdot 10^3$	6
Przekaźniki	$2 \cdot 10^3$	1

## 5. ZAKOŃCZENIE

Powyższy artykuł objaśnia, jak mogą odpowiednie metody badań przy produkcji urządzeń telekomunikacyjnych obniżyć początkową spodziewaną ilość uszkodzeń elektronicznych. Niezawodność urządzenia elektronicznego jest jednym z parametrów, którego wymaga eksploatacja od producenta. Zakres tego wymagania może być ustalony na podstawie uzyskanych danych statystycznych o niezawodności elementów, ich obwodów pracy, jak również całego urządzenia. Dlatego należy zwrócić szczególną uwagę i przeznaczyć odpowiednie środki na systematyczne badania wadliwości i jej przyczyn, i to tak w poszczególnych procesach

produkcyjnych, jak i w czasie oddawania urządzeń do eksploatacji.

W ten sposób uzyskane dane statystyczne mogą skutecznie pomóc konstruktorom przy opracowywaniu nowych elektronicznych urządzeń i elementów o wysokiej niezawodności, jak również w celu polepszenia niezawodności urządzeń już wyrabianych.

#### WYKAZ LITERATURY

1. Weinmann: Die Zuverlässigkeit elektronischer Bauelemente-Betriebserfahrungen über die Ausfallraten von Bauelementen in nachrichtentechnischen Geräten und Anlagen. NTZ (1963) nr 11, s. 578-580.
  2. Hoff: Charakteristiki spoehlivosti elektronickýoh součástek. Sdělovaci technika (1961) nr 7, s.252-254.
  3. Čermak: Vliv součástek na spoehlivost radioelektronickýoh zařízení. Sdělovaci technika (1962) nr 5, s. 168-170.
  4. Haekse: Lebensdaueruntersuchungen an Bauelementen. Nachrichtentechnik (1964) nr 4, s. 146-147.
  5. Lhotak: Zařizeni nosné telefonie na krátke vzdálenosti KNK6-S Sdělovaci technika (1964) nr 6, s.215-217.
  6. Jentsch: Erfahrungen über die Betriebszuverlässigkeit von Dioden und Transistoren. NTZ (1961) zeszyt 3, s. 135-137.
-

Biblioska 9. t.