

1 9 6 8
Nr 28

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności

№ _____

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 8

WARSZAWA 1968

NR 28

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branzowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne:

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

Członkowie:

mgr inż. Władysław Adaszewski, inż. Edmund Janowski,
prof. Stefan Jasiński, dr Stanisław Włoszczowski,
mgr inż. Adam Moniuszko, mgr inż. Józef Mozejko,
mgr Zofia Życińska

Sekretarz Redakcji - Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH REKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

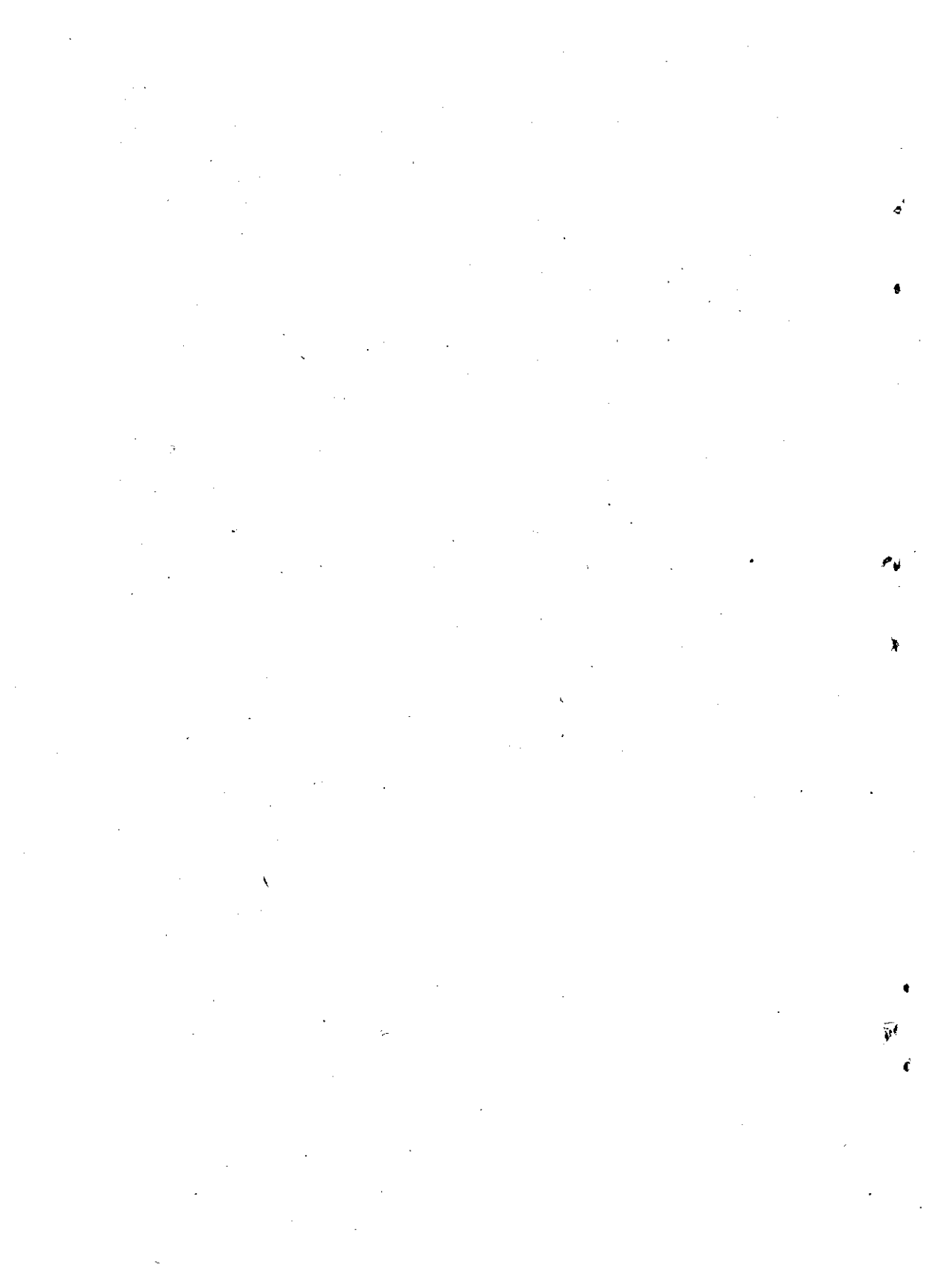
Redaktor: J. Borkowska Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 750. Druk ukończono
w sierpniu 1968 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

SPIS TREŚCI

	Str.
C. Niewiadomski. - Stan aktualny niezawodności elementów, podzespołów i urządzeń teletechnicznych	1



Cyryl Niewiadomski

STAN AKTUALNY NIEZAWODNOŚCI
ELEMENTÓW, PODZESPOŁÓW I URZĄDZEŃ
TELETECHNICZNYCH

1. WSTĘP

Dażenie do niezawodnej pracy wszelkich urządzeń istnieje od początku rozwoju techniki. Jeszcze jednak stosunkowo niedawno urządzenia były niezbyt skomplikowane pod względem funkcjonalnym i konstrukcyjnym, wobec czego niezawodną pracę urządzeń można było zapewnić po prostu przez zastosowanie dostatecznych współczynników bezpieczeństwa, ustalanych zgodnie z intuicją i inżynierskim doświadczeniem. Takie postępowanie nie przedstawiało niebezpieczeństwa, ponieważ tempo rozwoju postępu technicznego było znacznie wolniejsze niż obecnie, dzięki czemu producent i konstruktor dysponowali dostatecznie dużym czasem do zebrania informacji o niezawodności pracy ich urządzeń oraz przedsięwzięcia środków w celu wprowadzenia takich ulepszeń, w wyniku których urządzenia nie stałyby się przestarzałe. Z tych też względów nie było istotnej potrzeby uwzględniania niezawodności w normach i warunkach technicznych oraz dokładnego jej określania w tych dokumentach, w których ograniczano się do podawania co najwyżej, przeważnie krótkich, okresów gwarancyjnych, nie odpowiadających w żadnej mierze współczesnym wymaganiom odnośnie niezawodności.

Sytuacja ta zmieniała się radykalnie, zwłaszcza w ostatnich dwudziestu latach, wskutek gwałtownego rozwoju techniki, w wyniku którego urządzenia stają się coraz bardziej złożone, zminiaturyzowane i precyzyjne, wydajne i odpowiedzialne pod względem wykonywanych funkcji, zautomatyzowane i eksploatowane w stale trudniejszych warunkach pracy. Od takich urządzeń musi być oczywiście wymagana duża niezawodność pracy, aby odznaczały się one dobrą efektywnością wykorzystania oraz aby straty związane z przestojami spowodowanymi niezdatnością do pracy, konserwacją i naprawami były dostatecznie małe.

W takiej sytuacji intuicja i doświadczenie inżynierskie nie mogły już wystarczyć do opracowania niezawodnych urządzeń. Proste, lecz nieekonomiczne sposoby polepszania niezawodności pracy urządzeń, polegające, na przykład, na zwiększaniu współczynników bezpieczeństwa lub na zwielokrotnianiu elementów, podzespołów względnie zespołów mogą bowiem spowodować niedopuszczalne zwiększenie wymiarów, ciężaru i kosztu urządzenia. Ponadto rozwój postępu jest obecnie tak szybki, iż nowa konstrukcja różni się zwykle znacznie od poprzedniej pod względem złożoności i zasadniczych charakterystyk, wskutek czego nie ma czasu i możliwości nauki na popełnionych przedtem błędach.

Stąd wynika właśnie konieczność wprowadzenia metod naukowych objętych tak zwaną teorią niezawodności, której zadaniem jest badanie prawidłowości występowania uszkodzeń, opracowywanie sposobów przeciwdziałania występowaniu uszkodzeń oraz oszacowywanie efektywności te-

go przeciwdziałania. Zadanie to można było spełnić dzięki przeważnie probabilistycznemu charakterowi występowania uszkodzeń oraz możliwości wykorzystania wobec tego statystyki matematycznej, rachunku prawdopodobieństwa, teorii funkcji losowych i innych dyscyplin matematyki, przy jednoczesnym ustaleniu kryteriów niezawodności i metod jej analizy. Analiza ta musi być możliwie szybka, aby nie była spóźniona i tym samym nieaktualna.

Wszystkie powyższe rozważania dotyczą oczywiście w całej rozciągłości także urządzeń teletechnicznych, których niezawodność trzeba przy tym rozpatrywać zależnie od funkcjonalnego przeznaczenia urządzenia, wymaganego czasu jego eksploatacji i warunków pracy. I tak, na przykład, szczególnie dobrej niezawodności, lecz w stosunkowo niedługim czasie, trzeba wymagać od urządzeń łączności satelitarnej, w przypadku których trzeba ponadto uwzględniać wyjątkowe niekorzystne warunki pracy. Podobnie dobrej niezawodności trzeba wymagać od stacji wzmacniakowych przelotowych nieobsługiwanych względnie wzmacniaków kabli morskich, których wymagany czas eksploatacji jest jednak znacznie większy. Takiego samego dużego czasu eksploatacji wymaga się od urządzeń teletransmisyjnych końcowych lub central telefonicznych, ale ich niezawodność może być gorsza wobec możliwości łatwego usunięcia uszkodzeń. Od większości urządzeń teletechnicznych wymaga się czasu eksploatacji wynoszącego co najmniej 20 lat [1,2], przy czym ostatnio coraz częściej występuje tendencja zwiększania jego do 40 lat.

W obecnym stanie techniki wszystkie te wymagania są

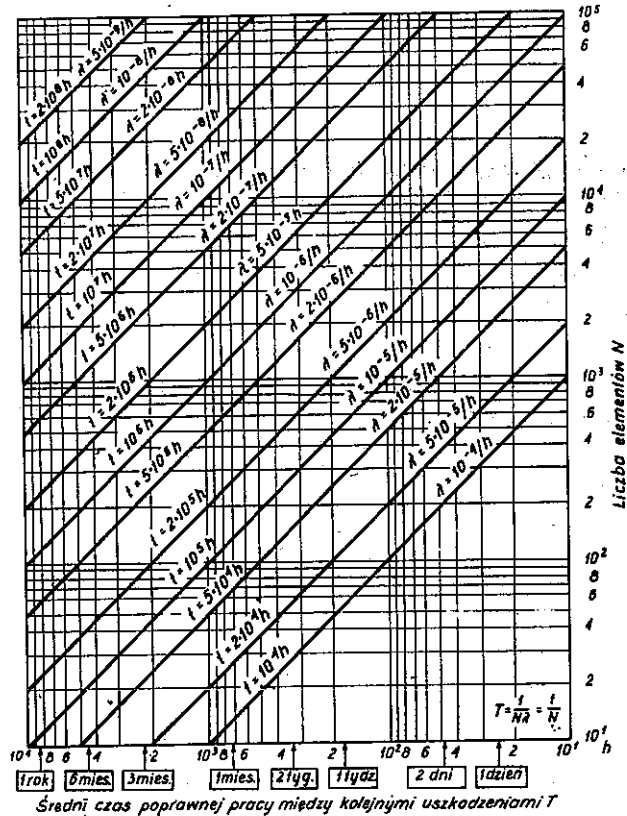
realne i osiągalne. W celu wykazania tego w następnym rozdziale będzie omówiony stan niezawodności elementów i podzespołów, od którego przede wszystkim zależy niezawodność urządzeń, a następnie będzie przedstawiony aktualny poziom niezawodności urządzeń telefonii nośnej, urządzeń telegraficznych, central telefonicznych i niektórych urządzeń radiokomunikacyjnych produkcji zagranicznej.

2. NIEZAWODNOŚĆ ELEMENTÓW I PODZESPOŁÓW

2.1. Wpływ liczby elementów na niezawodność urządzeń

Im więcej elementów i podzespołów zawiera urządzenie, czyli im bardziej jest ono złożone, tym gorsza jest niezawodność urządzenia przy takiej samej niezawodności elementów i podzespołów /rys. 1/. Aby więc polepszyć niezawodność pracy bardziej złożonego urządzenia, trzeba go wykonywać z elementów o mniejszym wskaźniku intensywności uszkodzeń, co zapewnia mniejsze prawdopodobieństwo uszkodzenia elementu lub podzespołu /rys. 2/.

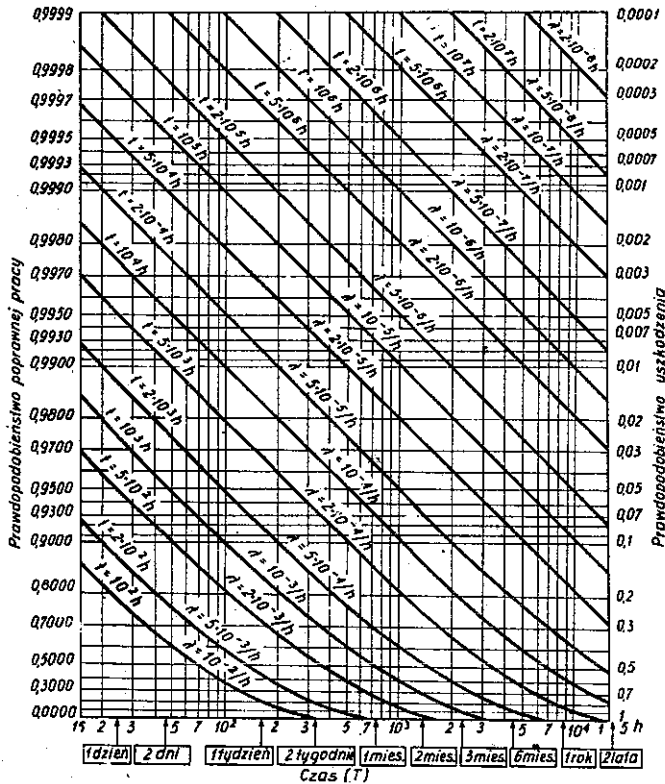
Bezpośrednio po drugiej wojnie światowej średni wskaźnik intensywności uszkodzeń na jeden element urządzenia mającego 100 do 1000 elementów wynosił zaledwie 10^{-3} do 10^{-4} /h. Obecnie natomiast uzyskuje się w urządzeniach mających 10^4 do 10^5 elementów średni wskaźnik intensywności uszkodzeń na element 10^{-7} do 10^{-8} /h, co odpowiada średniemu czasowi poprawnej pracy między kolejnymi uszkodzeniami, wynoszącemu co najmniej 1000 h. W niektórych



Rys. 1. Średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami T zależnie od liczby elementów N o wskaźniku intensywności uszkodzeń λ względnie trwałości t , przy szeregowym połączeniu pod względem niezawodności.

urządzeniach uzyskuje się wskaźnik nawet rzędu $10^{-9}/h$ [3].

Liczba elementów we współczesnych urządzeniach teletechnicznych wynosi przeważnie 10^4 do 10^5 . Jeżeli zaś od tych urządzeń wymaga się średniego czasu między uszkodzeniami nie mniejszego niż 1000 h /42 dni/, muszą one być wykonane /przy szeregowym pod względem niezawodności połączeniu/ z elementów o wskaźniku intensywności



Rys. 2. Prawdopodobieństwo poprawnej pracy i prawdopodobieństwo uszkodzenia zależnie od wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń losowych elementów

ności uszkodzeń rzędu 0,01-0,001%/1000 h, czyli rzędu 10^{-7} do 10^{-8} /h [2]. Jak widać z dalej zamieszczonych danych, jest to łatwo osiągalne w dzisiejszej technice, która może zapewnić wskaźnik intensywności uszkodzeń nawet rzędu do 10^{-9} /h. Powyższe osiąga się przez zastosowanie zwykłych elementów półprzewodnikowych i mikroelektroniki, gdyż użycie pierwszych elementów umożliwia zmniejszenie wskaźnika intensywności uszkodzeń 10 do 200 razy, a użycie drugiej – do 500 razy [3,4].

2.2. Parametry charakteryzujące jakość eksploatacyjną elementów [5]

Wspomniany wyżej wskaźnik intensywności uszkodzeń dotyczy w zasadzie uszkodzeń niesystematycznych, przypadkowych, zupełnych, występujących przede wszystkim w okresie właściwej eksploatacji, charakteryzującym się w przybliżeniu stałą częstością uszkodzeń, nie związanych ze zjawiskiem naturalnego zużywania się elementów. Wskaźnik ten nie jest, niestety, nawet w takim ujęciu całkowicie jednoznaczny, gdyż w razie konieczności zastosowania zwielokrotniania trzeba jeszcze znać, jaki jest w uszkodzeniach stosunek intensywności występowania zwarć do intensywności występowania przerw /tabl. 1/ [3]. Przyłączeniu równoległym podczas zwielokrotniania są korzystniejsze bowiem uszkodzenia zupełne typu przerw, a przyłączeniu szeregowym - typu zwarć.

Do oceny jakości elementów niezbędna jest ponadto znajomość czasu, w którym wskaźnik intensywności ich uszkodzeń zupełnych nie zmienia się lub też nie przekracza możliwej do przyjęcia wartości, ponieważ po tym czasie może nastąpić niedopuszczalne zwiększenie wskaźnika intensywności uszkodzeń urządzeń. Taka sama znajomość czasu jest niezbędna w przypadku uszkodzeń umownych elementów, czyli uszkodzeń polegających na przekroczeniu dopuszczalnych wartości określonych parametrów elementów, po czym elementy te w zasadzie wymienia się. Jeżeli zaś po tym czasie elementów z jakichkolwiek względów nie wy-

T a b l i c a 1

Stosunek procentowy uszkodzeń typu przerwy i zwarć niektórych elementów

Rodzaj elementów	Rodzaj uszkodzeń zupełnych	Stosunek procentowy uszkodzeń zależnie od stosunku obciążenia rzeczywistego podczas pracy względem obciążenia znamionowego		
		do 0,3	0,4-0,7	0,8-1,0
Oporniki	Przerwy Zwarcia	90 10	80 20	70 30
Kondensatory papierowe i mlkowe	Przerwy Zwarcia	-	2 98	-
Kondensatory elektrolityczne	Przerwy Zwarcia	15 85	10 90	-
Diody półprzewodnikowe	Przerwy Zwarcia	75 25	60 40	55 45
Tranzystory	Przerwy Zwarcia	20 80	15 85	5 95
Uzwojenia dławików, solenoidów	Przerwy Zwarcia	25 75	15 85	5 95
Transformatory	Przerwy Zwarcia	-	25 75	-

mienia się, wówczas zamiast niego niezbędna jest znajomość średniej trwałości, czyli czasu eksploataowania elementu do całkowitego zużycia /na przykład lamp nadawczych dużej mocy w nadajnikach radiokomunikacyjnych/.

Gdy poszczególne elementy decydują o jakości urządzenia i występują w nim nielicznie, jak na przykład elementy stabilizujące częstotliwość, elementy obwodów rezonansowych itp., wówczas ze względu na licznosc nie ma uzasadnienia w stosunku do nich pojęcie niezawodności. Elementy takie należy traktować indywidualnie, a za ich uszkodzenie uważać określoną zmianę decydującego parametru elementu, wyrażającą się graniczną wartością wskaźnika stabilności tego parametru w czasie, przy czym stabilność ta może być jednokierunkowa /nie oscylująca/ lub przemienna, czyli oscylująca na tle pewnej wartości średniej, która stopniowo przesuwą się w jednym kierunku. W przypadku niestabilności czasowej przemienną niezbędną jest podanie maksymalnej dewiacji parametru między dwoma sąsiednimi ekstremami oraz czasu między ekstremami /odpowiadającemu połowie okresu oscylacji/. Typowymi elementami, w przypadku których niezbędna jest znajomość stabilności jednokierunkowej /długookresowej/ i przemienną /chwilowej/, są elementy z kwarcu, kondensatory, oporniki pomiarowe i inne. Znając nachylenie charakterystyki zmian parametru w czasie, można oczywiście przewidzieć czas, w którym zostanie przekroczona dopuszczalna wartość parametru, czyli czas, po którego upływie należy przeprowadzić regulację za pomocą elementu regulowanego. Czas, w którym zmiana parametru jest

liniowa i w przybliżeniu stała, nazywany czasem stabilnej pracy, jest także parametrem jakości elementu, charakteryzującym przebiegające w nim zjawiska starzenia.

W ten sposób więc elementy mogą charakteryzować jeden lub kilka poniższych parametrów jakości eksploatacyjnej:

- trwałość,
- wskaźnik intensywności uszkodzeń /w warunkach nominalnych lub rzeczywistych pracy, w warunkach składowania oraz w warunkach procesów włączania i wyłączania/,
- cząstkowy wskaźnik intensywności uszkodzeń typu przerw lub zwarc,
- czas pracy niezawodnej,
- niestabilność czasowa jednokierunkowa,
- czas pracy stabilnej,
- dewiacja niestabilności czasowej przemiennej,
- czas niestabilności przemiennej.

2.3. Wpływ warunków pracy elementów na wartości parametrów ich jakości

Wartość parametrów jakości elementów zależy w zasadniczy sposób od warunków /czynników wymuszonych/ ich pracy. Im mianowicie jest mniejsze obciążenie, przede wszystkim elektryczne i ciepłe, tym lepsze są parametry jakości elementów.

Zmniejszenie obciążenia charakteryzuje niższy współczynnik

$$K = \frac{P_r}{P_n},$$

w którym

P_r - wartość rzeczywista zasadniczej własności elementu, obliczona ze schematu elektrycznego lub określona w wyniku badań,

P_n - wartość tej własności w znamionowych warunkach pracy według normy lub warunków technicznych.

Za zasadniczą własność elementu uważa się taką własność, która najbardziej wpływa na charakter, warunki i parametry jakości pracy elementu. W przypadku kondensatorów własnością tą jest napięcie, a w przypadku oporników - moc. Niektóre elementy charakteryzuje jednak kilka własności, przy czym, na przykład, przekaźniki charakteryzują napięcie lub natężenie prądu uzwojenia wzbudzenia, napięcie przełączanego obwodu albo natężenie prądu przepływającego przez zestyki przełączanego obwodu.

Depuszczalne współczynniki obciążeń elementów zależą od charakteru i warunków pracy urządzeń oraz są przyjmowane zgodnie z doświadczeniem konstrukcyjnym i eksploatacyjnym. Gdy podczas projektowania wypada, że współczynnik jest większy niż zalecany, podany w tabl. 2, należy wtedy zmienić schemat elektryczny albo zastosować element o odpowiednich parametrach znamionowych. W tych przypadkach, w których zależy na wymiarach i ciężarze u-

T a b l i c a 2

Zalecane współczynniki obciążenia elementów

Rodzaj elementu	Własność zasadnicza	Maksymalny współczynnik obciążenia urządzenia działaniu		Inne własności zasadnicze
		krótko-trwałym	długo-trwałym	
1	2	3	4	5
Oporniki niedru- towe				
warstwowe meta- liczne		0,8	0,7	
węglowe i kompó- zycyjne lakiero- wane	Moc	0,6	0,5	
warstwowe węglo- we		0,4	0,3	
Oporniki drutowe	Moc	0,5	0,4	
Kondensatory	Napięcie	0,7	0,5	
Diody półprzewo- dnikowe i półprzewo- dniki selenowe	Prąd wyprostowa- ny w kierunku przewodzenia	0,7	0,5	

c.d. tabl. 2

1	2	3	4	5
Tranzystory	Napięcie wsteczne	0,7		
	Prąd emitera	0,5	0,5	Prąd bazy
	Prąd kolektora	0,5	0,5	Napięcie kolektor-baza
	Moc	0,5	0,5	Napięcie emiter-baza
	Napięcie wsteczne na złączach	0,7	0,5	
	Napięcie robocze na elektrodach	0,7	0,5	
Lampy elektronowe próżniowe i gazowane	Moc admisyjna dowolnej elektrody	0,7	0,5	Prąd lampy
	Napięcie między katodą i grzejnikiem	0,7	0,5	Napięcie elektrod
	Napięcie żarzenia	0,95+0,05	0,5	Napięcie wyprostowane
	Napięcie żarzenia	0,95+0,05	0,95+0,05	Napięcie wsteczne
Elementy próżniowe wielkiej częstotliwości	Napięcie żarzenia	0,95+0,05	0,95+0,05	Napięcie przyspieszające

c.d. tabl. 2

1	2	3	4	5
	Moc admissyjna anody	0,7	0,5	Napięcie modyulatora, rezonatora i kolektora
Transformatory prądowe, żarzenia, anodowe i impulsowe	Odchyłka napięcia wtórnego	1,0±0,05 /dopuszczalne dla lamp/	1,0±0,05	
	Prąd roboczy	0,9	0,7	
	Gęstość prądu w uzwojeniu pierwotnym i wtórnym	0,9	0,8	
Cewki indukcyjne, dławiki, przekaźniki i przełączniki samoczynne	Gęstość prądu w uzwojeniu	0,9	0,8	Liczba ządziałań
	Prąd przepływający przez ze styki	0,7	0,5	
	Napięcie przełączników obrotu	0,8	0,6	
Przełączniki i złącza mechaniczne, wtykowe	Prąd przepływający przez ze styki	0,8	0,8	
	Napięcie między sąsiednimi zest.	0,7	0,7	
Przewody	Gęstość prądu	8 A/mm ²	8 A/mm ²	

urządzeń, nie należy stosować współczynników obciążeń mniejszych niż 0,4 [6].

2.4. Aktualny poziom wskaźników intensywności uszkodzeń elementów

Przeciętny poziom produkcji światowej elementów pod względem wskaźników intensywności uszkodzeń przedstawia najlepiej zestawienie G. Hillera [7], podane w tabl. 3, ujmujące wskaźniki przy obciążeniach znamionowych i normalnych warunkach otoczenia. Z porównania tego zestawienia z zestawieniem podanym w tabl. 4 [2,8,9,10] widać, że przeciętny poziom jest jednak 10 do 100 razy gorszy niż poziom niezawodności elementów stosowanych obecnie w urządzeniach telekomunikacyjnych, który według danych francuskich wynosi przeciętnie 0,027% uszkodzeń/rok, a według danych włoskich 0,04% uszkodzeń/rok [2]. Trzeba jednocześnie zaznaczyć, że dane te dotyczą elementów wysokiej, lecz nie gwarantowanej jakości, stosowanych przy obciążeniach mniejszych niż znamionowe. Powszechne stosowanie w urządzeniach teletechnicznych elementów gwarantowanej jakości byłoby bowiem zbyt kosztowne.

Dane o wskaźnikach intensywności uszkodzeń elementów produkcji krajowej, przeznaczonych do wyrobów powszechnego użytku, są zamieszczane w tzw. karcie wyników badań niezawodności i stabilności wyrobów, będącej załącznikiem do warunków technicznych dotyczących wyrobu. W karcie tej podaje się aktualne średnie wskaźniki intensywności uszkodzeń wyrobu przy obciążeniu znamionowym,

T a b l i c a 3

Wskaźniki intensywności uszkodzeń elementów elektronicznej przeciętnej, aktualnej produkcji światowej

Rodzaj elementu	Wskaźnik intensywności uszkodzeń $1 \cdot 10^{-6} / h$
1	2
Przestawniki selenowe	40
Lampy elektronowe	
prostownicze	10
o zimnej katodzie	30
elektropromieniowe	20
dużej mocy	15
mikrofalowe	20
inne	5
o zwiększonej trwałości	2
Oporniki	
warstwowe nastawne	2
drutowe precyzyjne	3
drutowe nastawne, z cienkich drutów	1
drutowe nastawne, z grubych drutów	0,5
drutowe zwykłe	0,4
warstwowe zwykłe	0,3
warstwowe węglowe	0,2
warstwowe metalizowane	0,1
Kondensatory	
elektrolityczne aluminiowe mokre	5
elektrolityczne tantalowe mokre	1

c.d. tabl. 3.

1	2
papierowe z folii z tworzyw sztucznych z papieru metalizowanego ceramiczne dostrojczce rurkowe /ceramiczne/ dostrojczce krążkowe mikowe	0,1 0,1 0,05 0,1 0,08 0,05 0,02
Elementy indukcyjne cewki z cienkich drutów cewki z grubych drutów rdzenie ferrytowe dławiki transformatory z rdzeniem z blach	2 0,3 2 0,3 0,3
Elementy półprzewodnikowe Tranzystory dużej mocy małej mocy germanowe krzemowe krzemowe planarowe Diody dużej mocy małej mocy germanowe krzemowe	1,5 0,7 0,6 0,4 0,05 1,5 0,7 0,3 0,2
Elementy z kwarcu Przełączniki Przełączniki Oprawki, gniazda	1 1 5 0,12

1	2
Złącza wtykowe	0,8
Elementy stykowe	0,16
Wskaźniki optyczne	0,1
Spoiny lutowane	0,02-0,1

uzyskane w czasie 5000 h przy temperaturze otoczenia 40° w przypadku elementów biernych oraz 25° lub 70° w przypadku elementów półprzewodnikowych. W karcie podaje się wskaźnik obejmujący uszkodzenia zupełne i stopniowe, wskaźnik dotyczący tylko uszkodzeń zupełnych, a ponadto także wyniki badań stabilności.

Wskaźniki intensywności uszkodzeń elementów półprzewodnikowych produkcji krajowej, według wspomnianej karty, przedstawia tabl. 5 [11]. W tabl. 6 podano natomiast wskaźniki kondensatorów i oporników, zestawione z różnych publikacji krajowych [12-14]. Niestety dane te nie obejmują wpływu czynników wymuszonych na wartość wskaźnika, który dotychczas był przedmiotem bardzo nielicznych prac, dotyczących oporników typu OM [15] oraz tranzystorów typu TG 37-40 i TG 50-55 [16].

Uszkodzenia najczęściej występujące w elementach urządzeń teletechnicznych oraz najbardziej efektywne metody ich wykrywania przy odbiorze urządzeń podane są w tabl. 7 [1].

Wskaźniki intensywności uszkodzeń elementów uzyskiwane podczas eksploatacji urzędzeń telekomunikacyjnych

Rodzaj elementu	Wskaźnik intensywności uszkodzeń, 10 ⁻⁸ /h					
	według danych francuskich [8] w urzędzeniach lampowych telefonii nasnej	według danych francuskich [8] w urzędzeniach tranzystorowych telefonii nasnej	według danych USA [9] w centralach telefonicznych elektrycznych	według danych NRF [10]	według danych włoskich [2]	
1	2	3	4	5	6	
Oporniki						
węglowe warstwe	1,0	0,4	0,71	0,3		
węglowe kompozycyjne	0,4	< 1,5	/1,7/		0,5-1,0	0,65
metalizowane drutowe	2				10	0,5
Potencjometry						
warstwowe drutowe	10	< 10				
Termistory		< 1,0	2		1,0	

c.d. tabl. 4.

1	2	3	4	5	6
Kondensatory					
mikowe	0,3	0,4	0,5	0,1	
ceramiczne		1,0	0,6		
papierowe	1,5	0,8	3,0	0,5	
papierowe me- talizowane				0,2	
polistyrenowe	3	3		0,5	0,6
poliestrowe zwy- kłe i metaliz.		<0,12	/1,5/	0,5	0,3
elektrolityczne					
alumińowe		200		6	0,8
elektrolityczne					
tantalowe su- che			/10,1/		0,3
powietrzne na- stawne			/3,2/		
Cewki indukcyjne	0,4	0,6	2,8	<1,0	
Transformatory	4	7	/14,6/		
Tranzystory		20			
krzemowe			/8,5/		
germanowe pnp			6,2	5	0,6-1,5
" npn			/57,9/		

Wskaźniki intensywności uszkodzeń elementów uzyskiwane podczas eksploatacji urządzeń telekomunikacyjnych

Rodzaj elementu	Wskaźnik intensywności uszkodzeń, 10 ⁻⁸ /h				
	według danych francuskich [8] w urządzeniach lampowych telefonii nasnej	według danych francuskich [8] w urządzeniach tranzystorowych telefonii nasnej	według danych USA [9] w centralach telefonicznych elektrycznych	według danych NRF [10]	według danych włoskich [2]
1	2	3	4	5	6
Oporniki					
węglowe warstwowo	1,0	0,4	0,1	0,3	
węglowe kompozytowe	0,4	< 1,5	1,7	0,5-1,0	0,65
metalizowane	2	2		10	
Termistor	10	< 1,0		0,5	
Potencjometry		2		1,0	

c.d. tabl. 4.

1	2	3	4	5	6
Kondensatory					
mikowe	0,3	0,4	0,5	0,1	
ceramiczne		1,0	0,6		
papierowe	1,5	0,8	3,0	0,5	
papierowe metalizowane				0,2	
polistyrenowe	3	3		0,5	0,6
poliestrowe zwykłe i metaliz.		<0,12	/1,5/	0,5	0,3
elektrolityczne				6	0,8
alumińowe		200			
elektrolityczne					
tantalowe suche		2	/10,1/		0,3
powietrzne nastawne		<8	/3,2/		
Cewki indukcyjne	0,4	0,6	2,8	<1,0	
Transformatory	4	7	/14,6/		
Tranzystory		20			
krzemowe			/8,5/		
germanowe pnp			6,2	5	0,6-1,5
" npn			/57,9/		

c.d. tabl. 4.

1	2	3	4	5	6
Diody					
sygnalowe				1,0	0,7-1,0
Zeñera		2	0,45-0,6	1,0	
prostownicze		0,6			
Przełączniki rurkowe		3	34,4	6	7,8
Elementy z kwarcu			/2,0/		16

Uwaga 1. Liczby w nawiasach dotyczą wyników badań laboratoryjnych.

Uwaga 2. Dane USA dotyczą następujących obciążeń:

oporniki i elementy półprzewodnikowe - 0,25 mocy znamionowej,
 kondensatory ceramiczne, papierowe i powietrzne nastawne - 0,25 napięcia znamionowego,
 kondensatory mikowe - 0,10 napięcia znamionowego,
 kondensatory poliestrowe - 0,20 napięcia znamionowego,
 kondensatory tantalowe - 0,5-0,8 napięcia znamionowego,
 elementy indukcyjne - 0,20-0,25 mocy znamionowej,
 przełączniki - 0,20 mocy znamionowej.

Uwaga 3. Dane NRF odnośnie kondensatorów dotyczą kondensatorów uszczelnianych przez zalewanie żywicą.

T a b l i c a 5

Wskaźniki intensywności uszkodzeń elementów półprzewodnikowych produkcji krajowej z 1966 r.
/czas badań 2000 h/

Rodzaj elementu	Wskaźnik intensywności uszkodzeń przy pracy ciągłej $10^{-5}/h$	
	uszkodzenia podstawowe	uszkodzenia zupełne
Tranzystory		
TG 2-8	1,7	/0,23/
TG 9-20	0,72	0,72
TG 37-40	1,26	1,26
TG 50-55	1,69	1,12
TG 70-72	2,60	/0,86/
BF 504-506	/0,25/	/0,25/
Diody		
DG 20	1,82	/0,21/
DG 21	2,60	0,86
DG 31	/0,43/	/0,43/
DG 51-52	1,70	/0,57/
DOG 53-58	/0,86/	/0,86/
DOG 61-62	0,78	/0,26/
DZG 2-7	0,36	0,36
AAV 37	1,01	/0,34/

Uwaga 1. Uszkodzenia podstawowe są to uszkodzenia spowodowane przekroczeniem dopuszczalnych granic parametrów elementów.

Uwaga 2. Liczby podane w nawiasach dotyczą górnego przedziału ufności o poziomie 0,50 /przy przyjęciu wykładniczego rozkładu uszkodzeń, który w rzeczywistości jest bardziej zbliżony do logarytm-normalnego/.

Uwaga 3. Dzięki zmianie technologii produkcji tranzystorów typu TG 50-55 wskaźnik intensywności

ich uszkodzeń podstawowych zmniejszył się o-
 statnio do $0,11 \cdot 10^{-5}/h$, a zupełnych do
 $0,04 \cdot 10^{-5}/h$ /przy czasie badań 1000 h/.

T a b l i c a 6

Wskaźniki intensywności uszkodzeń kondensatorów i
 oporników produkcji krajowej /czas badań 10000 h/

Rodzaj elementu	Wskaźnik intensywności u- szkodzeń, $10^{-6}/h$
Kondensatory	
ceramiczne	
KCR	0,33
KCP	0,33
KFP	0,6-6,0
mikowe	
KSO	1,0-12,9
papierowe	
KP	6,5-7,5
polistyrenowe	
KSF	2,0
KSFts	< 3,3 /1000 h/
elektrolityczne	
KEN	14,5
KEM	6,0
KES	10,7
KEDO	12,0
Oporniki	
OWS 221, 222	1,4 /5000 h/
OM	0,5 /5000 h/

T a b l i c a 7

Najczęściej występujące uszkodzenia elementów teletechnicznych oraz najbardziej efektywne metody ich wykrywania przy odbiorze urządzeń

1 Rodzaj elementu	2 Przyczyny uszkodzeń elementów	3 przez o- pukiwa- nie	4 przez pod- dawanie cyklów cieplnym 10-50°C	5 Najbardziej efektywne metody wykrywania uszkodzeń
Oporniki warstwowe	Przerwy w miejscach połączeń wyprowadzeń, wady materiałowe	X		
Oporniki drutowe	Przerwy w miejscach połączeń wyprowadzeń oraz przerwy uzwojeń, zwłaszcza z cienkich drutów	X		
Potencjometry warstwowe	Przerwy i zły styk wyprowadzenia lub ślizgacza	X		
Potencjometry drutowe	Jak wyżej oraz korozja w miejscach styków	X		

c.d. tabl. 7

1	2	3	4	5
Kondensatory	Zwarcia w uzwojeniu i przerwy		X	
Elementy indukcyjne	Jak wyżej oraz wady lepszoza i materiałów /ferryty/	X		
Diody półprzewodnikowe	Za mały opór w kierunku wstecznym, nadmierne zmiany charakterystyk, za duże szumy		X	
Tranzystory	Nadmierne zmiany wzmocnienia prądu, zwarcia między elektrodami i przerwy, za duże szumy, zniekształcenia nielinowe		X	X
Przekładniki	Przerwy, zwarcia do masy, wady zestyków		X	X

2.5. Wskaźniki intensywności uszkodzeń oraz stabilność własności poszczególnych rodzajów elementów produkcji zagranicznej

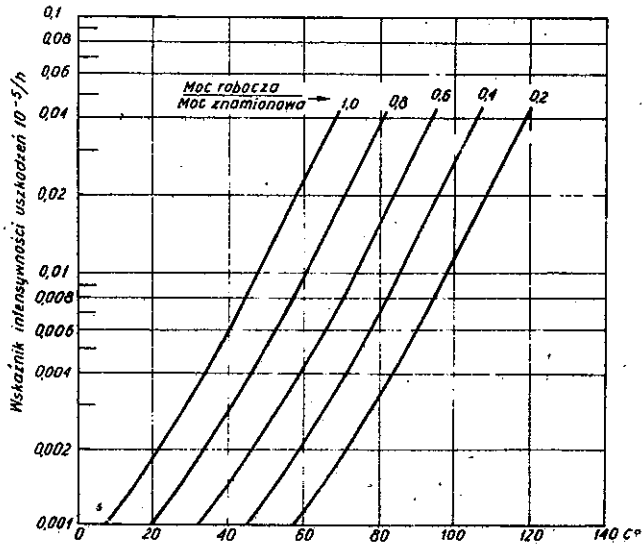
2.5.1. Oporniki

Wykresy wskaźników intensywności uszkodzeń zupełnych oporników węglowych objętościowych, oporników warstwowych o dużej stabilności oraz oporników drutowych przedstawiają rys. 3-7, a stabilność oporu oporników warstwowych rys. 8. Wykresy te, podobnie jak dotyczące następnych elementów, są wzięte z wyciągów z norm francuskich CCTU /Comité de Coordination des Télécommunications/, wzorowanych na wojskowych normach USA, a dane dotyczące stabilności - z pracy H. Trettera [10].

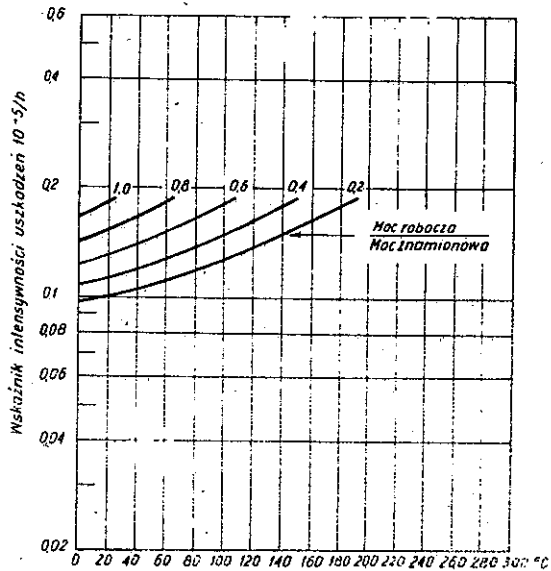
Jakkolwiek wskaźnik intensywności uszkodzeń oporników jest stosunkowo mały w porównaniu ze wskaźnikiem innych elementów, ma on tym niemniej duży wpływ na wskaźnik intensywności uszkodzeń urządzeń wobec dużej w nich liczby oporników.

2.5.2. Potencjometry

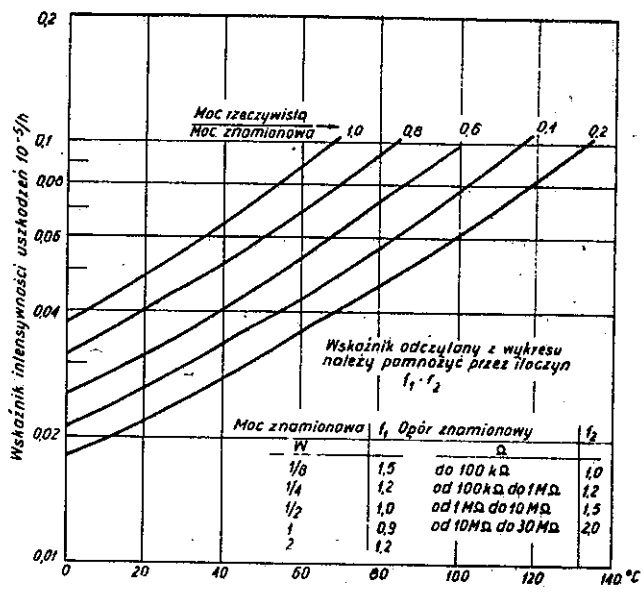
Wskaźniki intensywności uszkodzeń potencjometrów są o $0,01 \cdot 10^{-5}/h$ większe niż odpowiednich im pod względem typu oporników.



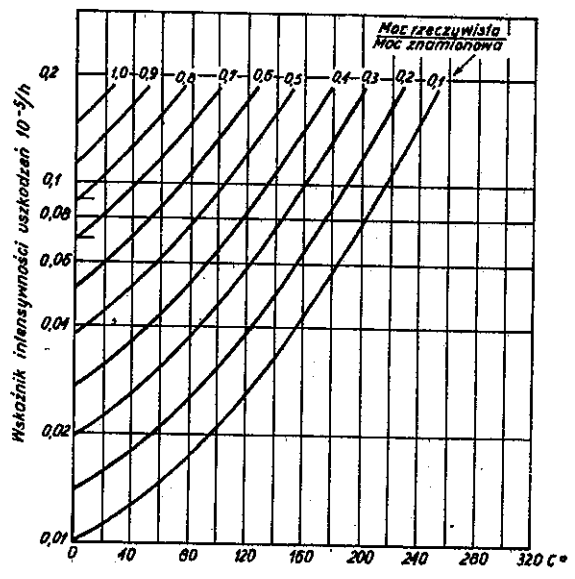
Rys. 3. Wykres zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń oporników węglowych objętościowych od temperatury i obciążenia /wilgotność względna mniejsza niż 60%/ według normy CCTU 04-01



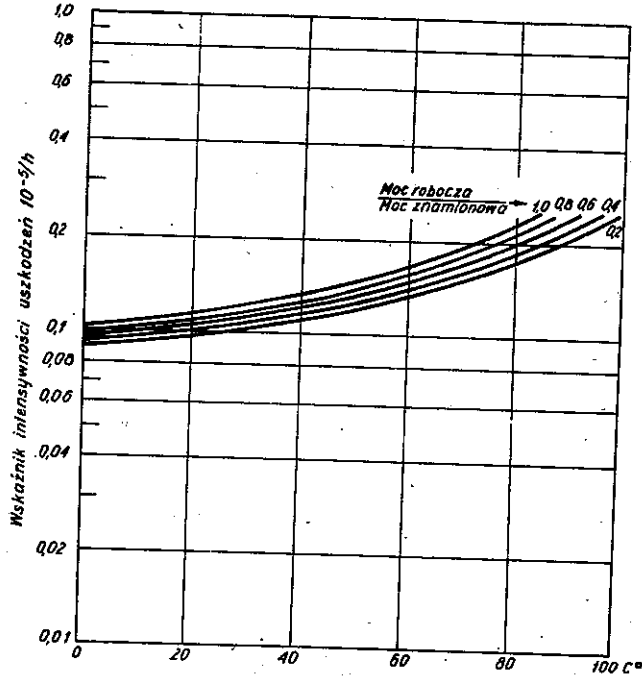
Rys. 4. Wykres zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń oporników warstwowych o dużej obciążalności zależnie od temperatury i obciążenia /wilgotność względna mniejsza niż 60%/ według normy CCTU 04-06



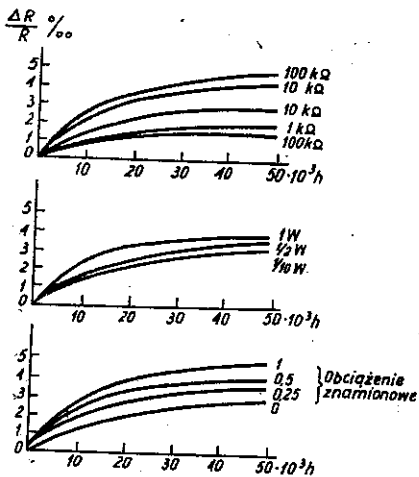
Rys. 5. Wykres zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń oporników warstwowych o dużej stabilności zależnie od temperatury i obciążenia /wilgotność względna mniejsza niż 60%/ według normy CCTU 04-03 A



Rys. 6 Wykres zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń oporników drutowych o dużej obciążalności zależnie od temperatury i obciążenia /wilgotność względna mniejsza niż 60%/ według normy CCTU 04-02 A



Rys. 7. Wykres zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń oporników drutowych precyzyjnych zależnie od temperatury i obciążenia /wilgotność względna mniejsza niż 60%/ według normy CCTU 04-05



Rys. 8. Stabilność oporników warstwowych

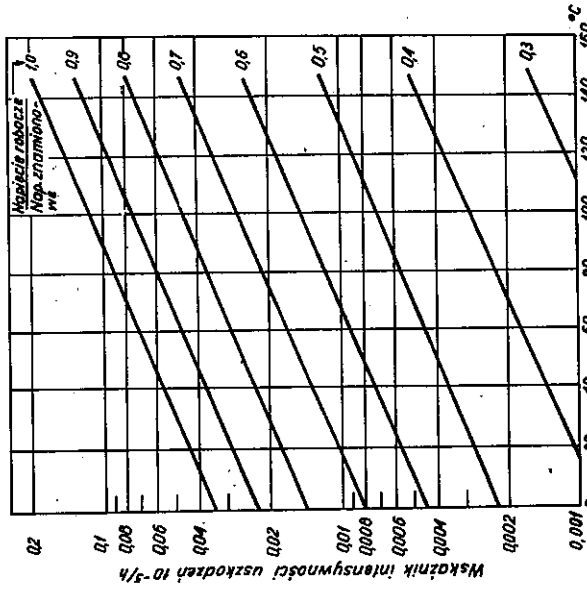
2.5.3. Kondensatory

Wykresy wskaźników intensywności uszkodzeń kondensatorów przedstawiają rys. 9-14, a stabilność własności kondensatorów rys. 15-17. Znaczenie wskaźników kondensatorów jest tak samo duże jak oporników, ponieważ kondensatory są jednymi z najliczniejszych elementów urządzeń teletechnicznych.

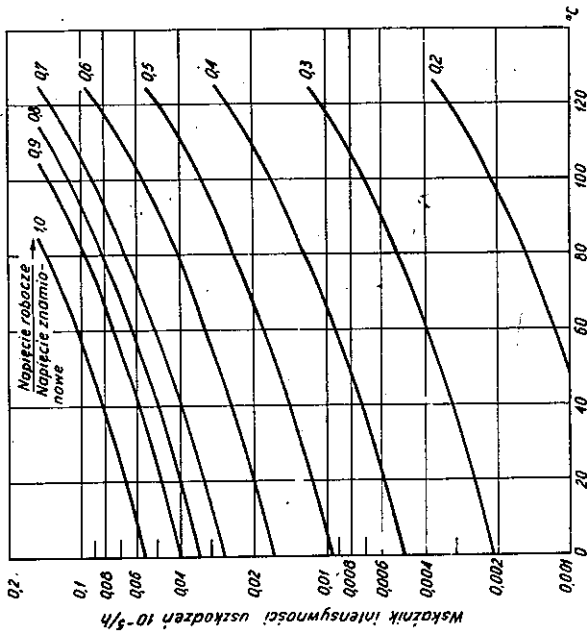
Największe niebezpieczeństwo uszkodzeń istnieje w kondensatorach rozdzielających i blokujących, a najmniejsze w kondensatorach obwodów drganiowych i akumulujących. Najczęstszymi przyczynami uszkodzeń są: przebicie dielektryka, wyładowania powierzchniowe i brak styku wyprowadzeń, ponadto zaś w niektórych kondensatorach, zwłaszcza elektrolitycznych, występuje znaczne zmniejszanie się pojemności w funkcji czasu.

2.5.4. Elementy półprzewodnikowe

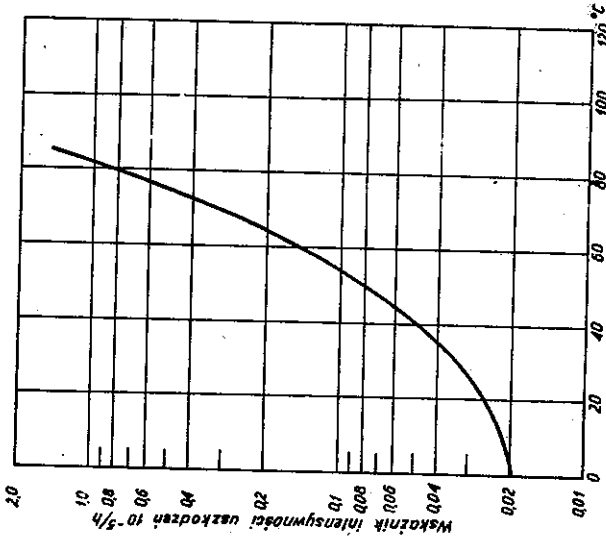
Wykresy wskaźników intensywności uszkodzeń elementów półprzewodnikowych przedstawiają rys. 18 i 19 według sposobu sporządzania tych wykresów przyjętego w USA /Rome Air Development Centre Reliability Notebook/. Wykresy są mianowicie tak sporządzone, iż dzięki wprowadzeniu tzw. temperatury normowanej /vide rys. 18/ uniezależniono wskaźniki intensywności uszkodzeń od materiału elementu półprzewodnikowego i technologii jego wykonania. Słuszność takiego postępowania, zwłaszcza do elementów bez radiatora, sprawdzono w USA doświadczalnie.



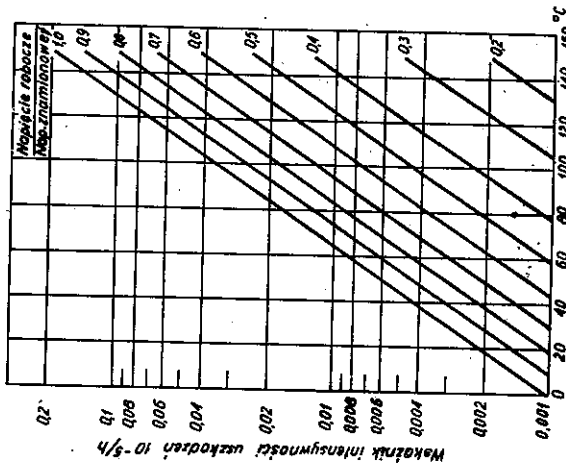
Rys. 10. Wykres zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń kondensatorów miedzianych zależnie od temperatury i obciążenia /wilgotność mniejsza niż 60%/ według normy CCTU 02-01 A. Wskaźnik należy pomnożyć przez współczynnik 0,1 do 12,0, zależny od wymiarów i pojemności kondensatora



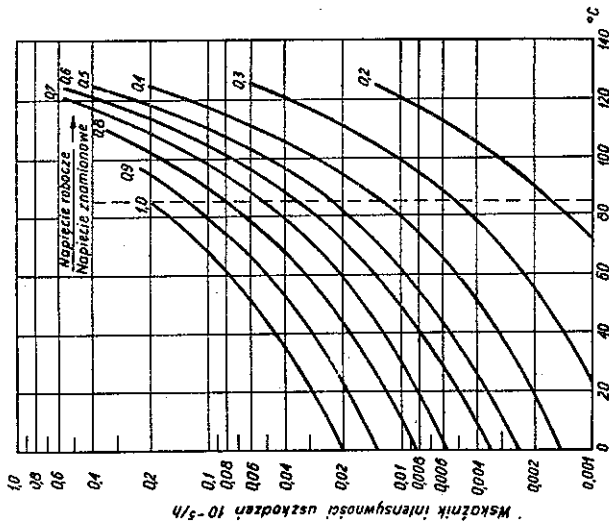
Rys. 9. Wykres zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń kondensatorów papierowych przesyconych zależnie od temperatury i obciążenia prądem stałym /wilgotność względna mniejsza niż 60%/ według normy CCTU 02-03



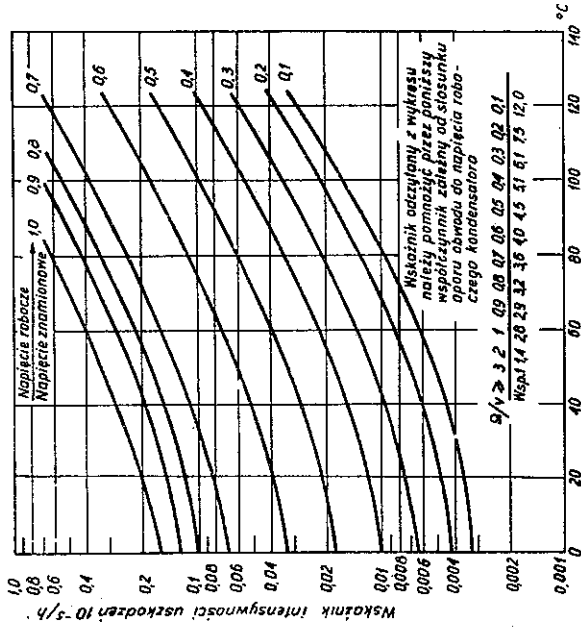
Kys. 12. Wykres zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń kondensatorów elektrolitycznych aluminium wyciekających zależnie od temperatury przy napięciu nie przekraczającym U_n /wilgotność względna mniejsza niż 60% / według normy CCTU 02-10



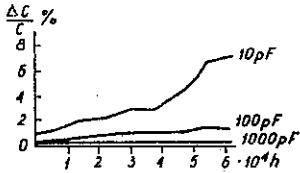
Rys. 11. Wykres zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń kondensatorów ceramicznych zależnie od temperatury i obciążenia /wilgotność względna mniejsza niż 60% / według normy CCTU 02-04



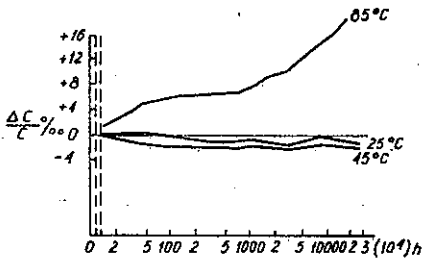
Rys. 13. Wykres zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń kondensatorów elektr. litycznych tantalowych mokrych zależnie od temperatury i obciążenia /wilgotność względna mniejsza niż 60%/ według normy CCTU 02-06



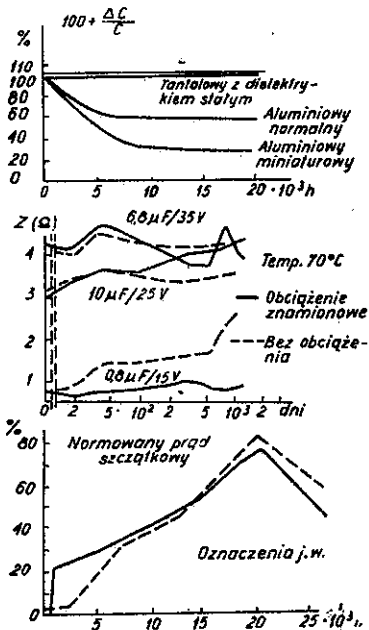
Rys. 14. Wykres zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń kondensatorów elektrolitycznych tantalowych z dielektrykiem stałym/anoda spiekana/ zależnie od temperatury i obciążenia /wilgotność względna mniejsza niż 60%/ według normy CCTU 02-12 A



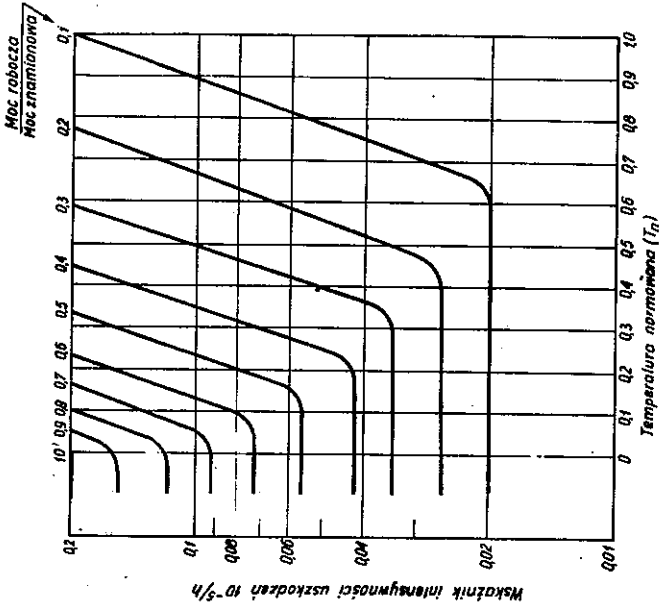
Rys. 15. Stabilność kondensatorów mikowych przy temperaturze 70°C i obciążeniu znamionowym



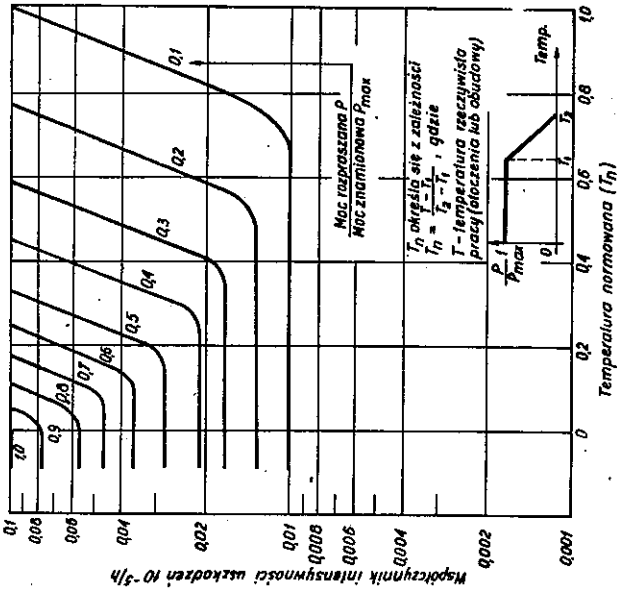
Rys. 16. Stabilność kondensatorów styroflexowych



Rys. 17. Stabilność kondensatorów elektrolitycznych alumińowych



Rys. 19. Wykres zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń tranzystorów zależnie od obciążenia i temperatury normowanej według normy CCTU 13-01



Rys. 18. Wykres zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń diod półprzewodnikowych zależnie od obciążenia i temperatury normowanej według norm CCTU 13-02, 13-03 i 13-04

Elementy półprzewodnikowe są lepsze niż lampy elektronowe zarówno pod względem niezawodności, jak i odporności na drgania, uderzenia oraz mniejsze rozpraszanie mocy. Wadą ich jest natomiast znaczna czułość nawet na bardzo krótkotrwałe przeciążenia i przepięcia. Wskaźnik intensywności uszkodzeń tranzystorów jest z zasady większy niż diod, ponieważ tranzystory mają dwa złącza, bardziej skomplikowaną konstrukcję oraz więcej wyprowadzeń.

Trzeba jednakże podkreślić, że główną przyczyną uszkodzeń elementów półprzewodnikowych nie są losowe uszkodzenia zupełne, lecz uszkodzenia spowodowane przekroczeniem dopuszczalnych granic parametrów wskutek naturalnego starzenia. Te ostatnie wynoszą mianowicie 90% łącznej liczby uszkodzeń [3].

2.5.5. Lampy elektronowe

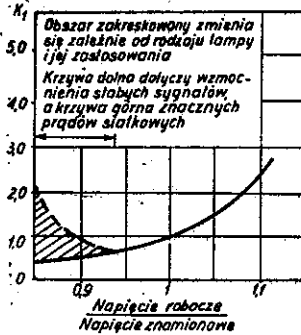
Wskaźniki intensywności losowych uszkodzeń zupełnych lamp elektronowych przedstawia tabl. 8. dotycząca okresu pracy lamp, w którym nie przeważają uszkodzenia spowodowane przekroczeniem dopuszczalnych granic parametrów wskutek naturalnego starzenia. Ponieważ wskaźniki te dotyczą obciążeń znamionowych, należy je przemnożyć przez współczynniki uwzględniające rzeczywiste napięcie żarzenia oraz temperaturę bańki i moc rozpraszaną /rys. 20 i 21/.

W naziemnych urządzeniach stacjonarnych powyższe uszkodzenia, podobnie jak w przypadku elementów półprzewodnikowych, stanowią według różnych źródeł 10-50% łącz-

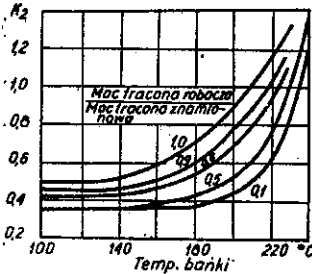
T a b l i c a 8

Wskaźniki intensywności losowych uszkodzeń zupełnych lamp elektronowych.

Rodzaj lamp	Współczynnik intensywności uszkodzeń $10^{-6}/h$	
	pojedyncze	podwójne
Lampy odbiorcze		
Diody sygnałowe, triody, tetrody i pentody wzmacniania napięciowego		
subminiaturowe	2	3,5
miniaturowe	3	4,5
Triody, tetrody i pentody wzmacniania mocy		
subminiaturowe	6	10
miniaturowe	9	13
nuwistory	1,3	
Lampy prostownicze dużej mocy	10 - 20	
Lampy nadawcze	15 - 200	
Lampy mikrofalowe		
klistrony	40	
magnetrony	100	
lampy komutacyjne	100	
Lampy oscyloskopowe	15 + 15 x liczba wyrzutni	
Lampy analizujące	20	
Tyatrony	50	
Gazotrony	10	



Rys. 20. Współczynnik poprawkowy K_1 oszacowania wskaźnika intensywności uszkodzeń lamp elektronowych



Rys. 21. Współczynnik poprawkowy K_2 oszacowania wskaźnika intensywności uszkodzeń lamp elektronowych

nej liczby uszkodzeń lamp [3]. Pozostałe uszkodzenia są wynikiem naturalnego starzenia, które po pewnym czasie czyni lampę nieużyteczną i wymagającą wymiany.

2.5.6. Przekładniki

Szczególny sposób oszacowania wskaźników intensywności uszkodzeń przekładników jest podany zgodnie z RADC Reliability Notebook w pracy R.H. Myersa i in. [17], według której wskaźnik ten, bez uwzględnienia poprawek, wynosi dla zwykłych przekładników telefonicznych $0,5 = 1,5/10^7$ zdarzeń, a dla przekładników rurkowych $1/10^{10}$ zdarzeń. Według G.Ja. Rybina [18] 60% uszkodzeń przekładników telefonicznych zwykłych stanowią uszkodzenia

sprężyn stykowych i styczek /w tym 80% przerw i 20% zwarc/, 27% uszkodzenia uzwojenia elektromagnesu i 13% inne.

Bardzo duży wpływ na niezawodność przekaźników ma ich nieprzeciążanie oraz zabezpieczanie gasnikami.

2.5.7. Przełączniki i złącza wtykowe

Sposób oszacowania wskaźników intensywności uszkodzeń przełączników jest podany we wspomnianej pracy R.H. Myersa i in. [17], według której wskaźnik ten, bez uwzględnienia poprawek, wynosi $4/10^7$ zdarzeń.

Od złącz wtykowych wymaga się natomiast co najwyżej 1 uszkodzenia na 10^7 do 10^8 zdarzeń oraz oporu przejścia mniejszego niż $10 \text{ m}\Omega$ [19].

2.5.8. Połączenia stałe

Prawidłowe wykonywanie połączeń stałych za pomocą lutowania zautomatyzowanego zapewnia wskaźnik intensywności uszkodzeń spełn rzędu 10^{-6} do $10^{-7}/h$. Natomiast przy lutowaniu ręcznym wskaźnik ten jest 10-krotnie większy. [20].

Podobne wyniki uzyskuje się obecnie dla połączeń owijanych, od których wymaga się, aby co najwyżej 1 połączenie na 10000 wykazało po 40 latach zmianę oporu przejścia przekraczającą $0,1 \text{ oma}$ [21].

2.6. Normalizacja parametrów niezawodności elementów

W większości dotychczasowych norm jedynym parametrem charakteryzującym jakość eksploatacyjną elementów jest dopuszczalna wartość zmiany jednej lub kilku własności w określonym czasie i w określonych warunkach pracy. Parametr ten informuje tylko w pewnej mierze o uszkodzeniach umownych, spowodowanych naturalnym starzeniem elementów, i nie daje żadnej informacji o intensywności losowych uszkodzeń zupełnych.

W niektórych normach podaje się niekiedy gwarantowany czas pracy elementu, w którym producent ponosi materialną odpowiedzialność za niezgodność elementów z wymaganiami norm lub warunków technicznych przy przestrzeganiu przez użytkownika ustalonych warunków eksploatacji. Jakkolwiek przy normowaniu gwarantowanego czasu pracy producent musi uwzględniać wszelkie parametry jakości eksploatacyjnej, aby nie ponieść strat ekonomicznych, wskaźnika tego nie można uważać za parametr niezawodności. Wskaźnik ten nie wskazuje bowiem bezpośrednio parametrów jakości eksploatacyjnej, a poza tym często jest on wynikiem przesłanek nie technicznych, lecz tylko ekonomicznych, a nawet moralnych lub reklamowych.

Dlatego też za właściwe parametry charakteryzujące w normach i warunkach technicznych niezawodność eksploatacyjną elementów nienaprawialnych można uważać tylko parametry podane w tabl. 9 [22], w której oznaczają one co następuje:

T a b l i c a 9

Parametry charakteryzujące niezawodność eksploatacyjną elementów nienaprawialnych w wymaganiach i warunkach technicznych

Właściwości elementów	Zalecane parametry
$\lambda_n / t \sim \text{const} = \lambda_n$ $\lambda_n / t \gg \int_0^t \lambda_s / t / dt$	$\lambda_{gn}, T_e / \lambda_n \leq \lambda_{gn}, \alpha, / a_i /$
$\lambda_n / t \neq \text{const}$ $\int_0^t \lambda_n / t / dt \gg \int_0^t \lambda_s / t / dt$	$\gamma, T_{g\gamma}, \alpha, / a_i /$ <p>albo</p> $1 - \gamma = q, T_{g\gamma}, \alpha, / a_i /$
$\int_0^t \lambda_n / t / dt \ll \int_0^t \lambda_s / t / dt$	$x_m / t / w \% / 1000 h, \sigma / t / w \% / 1000 h, / \alpha, a_i /$ <p>albo</p> $P / t / w \% / 1000 h, a, b / \alpha, a_i /$ <p>albo</p> $Q / t / = 1 - P / t / w \% / 1000 h, a, b / \alpha, a_i /$

- λ_n - wskaźnik intensywności losowych /nagłych/ uszkodzeń zupełnych, odniesiony do określonego czasu,
- λ_s - wskaźnik intensywności uszkodzeń umownych, spowodowanych stopniowym pogarszaniem się własności elementów, odniesiony do określonego czasu,
- $\lambda_{gn}, \lambda_{gs}$ - graniczny wskaźnik intensywności uszkodzeń,
- T_e - dopuszczalny czas eksploatacji, w którym $\lambda_n \leq \lambda_{gn}$
i $\lambda_s \leq \lambda_{gs}$,
- a_i - współczynnik poprawkowy wskaźnika intensywności uszkodzeń i -tego czynnika zewnętrznego, gdzie $i = 1, 2, \dots, n$,
- α - poziom ufności,
- $T_{g\gamma}$ - czas gwarantowany do zupełnego uszkodzenia lub innego stanu granicznego, po którym przerywa się eksploatację,
- γ - prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia w czasie $T_{g\gamma}$,
- $x_m/t/$ - średnia wartość zmiany własności elementu w określonym czasie,
- $\sigma/t/$ - odchylenie średnie w określonym czasie,
- $P/t/$ - prawdopodobieństwo nieprzekroczenia ustalonych granic wartości własności elementu w określonym czasie,
- $Q/t/$ - prawdopodobieństwo przekroczenia ustalonych granic wartości w określonym czasie,

a, b - dopuszczalne odchyłki własności na początku i w końcu określonego przedziału czasu.

Wskaźniki podane w tablicy w nawiasach wymagają przeprowadzenia pracochłonnych teoretycznych i doświadczalnych prac badawczych, wobec czego w pierwszym etapie ustalania norm trzeba przeważnie ograniczać się tylko do pozostałych wskaźników.

Prócz tego w normach powinny być podane metody badań niezawodności /ewentualnie przyspieszonych/ oraz granice interpolacji i ekstrapolacji wyników [23].

Prawidłowo i wyczerpująco ujmują wskaźniki niezawodności obecnie tylko normy niemieckie DIN, w których jednak objęto dotąd takimi wskaźnikami jedynie kondensatory elektrolityczne aluminiowe /DIN 41230/ oraz miniaturowe kondensatory ceramiczne /DIN 41920/. W tej ostatniej normie przyjęto, na przykład, jako kryterium uszkodzeń zupełnych zwarcia i przerwy, a jako kryterium uszkodzeń stopniowych zmiany pojemności ponad $\pm 0,3\% + 0,5 \text{ pF}$ względnie o 10%, wzrost tangensa kąta stratności o ponad 50% wartości początkowej oraz pogorszenie oporu izolacji poniżej 10^{10} względnie 10^9 omów. Wskaźniki intensywności uszkodzeń ustalono dla temperatur 25° , 35° i 85° oraz napięć od 0,2 do $1,5 U_n$ [24]. Poza tym istotną jest norma DIN 40040, ustalająca podział wyrobów na klasy zależnie od wskaźnika intensywności uszkodzeń.

Znacznie większy asortyment elementów obejmują pod względem wskaźnika intensywności uszkodzeń normy woj-

skowe USA, których zaletą jest podawanie zależności tego wskaźnika od warunków pracy, a wadą ograniczenie tylko do wskaźnika intensywności uszkodzeń zupełnych. Normy USA, w których podane są wskaźniki intensywności uszkodzeń, są następujące [25]:

- MIL-R-39017 /1964/ Resistors, fixed, film, insulated
- MIL-R-39008 /1964/ Resistors, fixed, composition, insulated
- MIL-R-55182 B /1965/ Resistors, fixed, film
- MIL-R-39005 /1965/ Resistors, fixed, wirewound, accurate
- MIL-R-39002 /1964/ Resistors, variable, wirewound, semiprecision
- MIL-R-39015 /1964/ Resistors, variable, wirewound, lead, screw, actuated
- MIL-R-81406 /1965/ Resistors, variable, wirewound, precision, long life, low noise
- MIL-C-38102 A /1964/ Capacitors, fixed
- MIL-C-39001 /1965/ Capacitors, fixed, mica dielectric
- MIL-C-39014 /1964/ Capacitors, fixed, ceramic dielectric
- MIL-C-39003 /1965/ Capacitors, fixed, solid electrolytic, tantalum
- MIL-C-39006 /1965/ Capacitors, fixed, non solid dielectric, tantalum foil, sintered slug
- MIL-C-39002 /1964/ Capacitors, fixed, metallized paper or polyester film dielectric, DC, hermetically sealed in metal case

MIL-S-38403 B /1964/	Semiconductor devices
MIL-R-39016 /1965/	Relays, electromagnetic
MIL-C-38300 /1964/	Connectors electr., circular, multicontact, high environments
MIL-F-39025 /1965/	Filter, high pass, low pass, band pass, band suppression and dual functioning
MIL-C-39020 /1964/	Crystal units, quartz
MIL-T-39013 /1964/	Transformers and inductors, audio and power
MIL-T-39026 /1965/	Transformers, pulse, low-power.

Podobnie podchodzą do wskaźników niezawodności elementów wspomniane uprzednio normy francuskie CCTU. Natomiast w radzieckich normach GOST, z wyjątkiem normy GOST 5629-64, dotyczącej kondensatorów papierowych wysokiego napięcia, wskaźniki niezawodności elementów nie są dotychczas podawane.

3. NIEZAWODNOŚĆ TELEFONICZNYCH URZĄDZEŃ TELETRANSMISYJNYCH

Niezawodność zespołów i całych telefonicznych urządzeń teletransmisyjnych lub ich zestrojów oszacowuje się najczęściej poniższymi wskaźnikami:

- prawdopodobieństwem poprawnej pracy w określonym czasie /wskaźnik ten najlepiej charakteryzuje niezawodność/,

- średnim wskaźnikiem intensywności uszkodzeń, odniesionym do określonego czasokresu,

- średnim czasem poprawnej pracy między uszkodzeniami, także odniesionym do określonego czasu,

- średnim czasem naprawy.

Niekiedy stosuje się ponadto średni wskaźnik intensywności uszkodzeń na jeden element urządzenia.

Jako minimalny czas eksploatacji przyjmuje się obecnie 20-30 lat [26,27] /podczas gdy uprzednio przyjmowano zaledwie 12 lat/ z dopuszczeniem wymiany podczas eksploatacji lamp elektronowych i innych elementów o szczególnie małej trwałości [28].

Bardzo szczegółowe i obszernie dane o poziomie niezawodności telefonicznych urządzeń teletransmisyjnych, eksploatowanych aktualnie w NRD, są zobrazowane w dokumentach resortu łączności tego kraju [29,30], według których jest opracowana tabl. 10. W tablicy tej podano normatywne wskaźniki intensywności uszkodzeń zestawów i urządzeń, obowiązujące w NRD od 1.1.1967 r., przy czym w przypadku zestawów i urządzeń telefonii nośnej normatywy dotyczą tylko uszkodzeń zupełnych /Totalausfälle/, a w przypadku pozostałych urządzeń - tylko zakłóceń /Störungen/, występujących w godzinach silnego ruchu, czyli od 7.00 do 17.00 h w pierwszych pięciu dniach tygodnia i od 7.00 do 13.00 h w sobotę. Normatywy powyższe nie obejmują uszkodzeń kabli lub linii napowietrznych, a także zaników napięcia w sieci i przerw w zasilaniu.

Według ustaleń przyjętych w NRD za uszkodzenie zupełne zestawów telefonii nośnej uważa się uszkodzenie wszystkich kanałów względnie poszczególnych grup pierwotnych

T a b l i c a 10

Wskaźniki normatywne intensywności uszkodzeń telefontycznych zestrojów i urządzeń teletransmisyjnych w NRD

Zestroj lub urządzenie	Wskaźnik normatywny intensywności uszkodzeń	
	1/miesiąc	1/rok
1	2	3
1. <u>Odcinki toru telefonii dalekosiężnej małej częstotliwości</u> ^{1/}		
Bez wzmacniaka	0,05	0,6
Zawierające do 2 wzmacniaków	0,10	1,2
Zawierające do 4 wzmacniaków	0,15	1,8
Dodatek na każde następne 2 wzmacniaki	0,05	0,6
Dodatek na każdy odcinek zewu tonowego	0,05	0,6
2. <u>Kanały telefonii nośnej</u> ^{2/}		
System Z8/V16	0,20	2,4
" MG15	0,30	3,6
" Z12N	0,30	3,6
" Z12/V24	0,10	1,2
" V12	0,20	2,4
" V60/120	0,10	1,2
Dodatek na każdy kanał sygnalizacyjny	0,05	0,6

1	2	3
<u>Stanie telefonii nośnej względnie grupy podstawowe</u>		
System Z8/V16		
Bez wzmacniaka przelotowego	0,05	0,6
Zawierający do 2 wzmacniaków przelotowych	0,10	1,2
Zawierający do 4 wzmacniaków przelotowych	0,15	1,8
Dodatek na każde następne 2 wzmacniaki przelotowe	0,05	0,6
System MG15	0,25	3,0
System Z12N		
Bez wzmacniaka przelotowego	0,30	3,6
Zawierający 1 wzmacniak przelotowy	0,35	4,2
Zawierający 2 wzmacniaki przelotowe	0,40	4,8
Dodatek na każdy następny wzmacniak przelotowy	0,05	0,6
System Z12/V24		
Bez wzmacniaka przelotowego	0,10	1,2
Zawierający do 2 wzmacniaków przelotowych	0,15	1,8
Zawierający do 4 wzmacniaków przelotowych	0,20	2,4
Dodatek na każde następne 2 wzmacniaki przelotowe	0,05	0,6

c.d. tabl. 10

1	2	3
System V12		
Zawierający 1 wzmacniak przelotowy	0,10	1,2
Zawierający 2 wzmacniaki przelotowe	0,15	1,8
Dodatek na każdy następny wzmacniak przelotowy	0,05	0,6
System V60/120		
Bez przełączania	0,05	0,6
Z przełączaniem	0,10	1,2

1/ Liczba wzmacniaków obejmuje wzmacniaki przelotowe i końcowe.

2/ Normatywy są tak ustalone, iż wszystkie kanały są uważane w obliczeniach jako jeden kanał.

podstawowych lub wtórnych, przy czym w przypadku sygnalizowania uszkodzeń przez urządzenia pomiarowo-kontrolne za uszkodzenie zupełne uważa się:

w urządzeniach z samoczynną rejestracją - wystąpienie sygnału "pętla kanału sygnalizacyjnego przerwana", jeżeli licznik impulsów zarejestruje przy tym ponad trzy impulsy,

w urządzeniach V12 i Z12N /bez samoczynnej rejestracji/ - zadziałanie dozoru fala pilotową ze stwierdzeniem przekroczenia poziomu względnego ponad 0,3 N,

w urządzeniach Z12 /bez samoczynnej rejestracji/ - wystąpienie sygnału "uszkodzenie całkowite",

w urządzeniach Z8/V16 - wystąpienie sygnału "brak możliwości dalszej regulacji poziomu" we wszystkich kanałach.

Natomiast za zakłócenia uważane są wszelkie nieprzewidziane ograniczenia zdolności do eksploatacji pojedynczych łącz, spowodowane przekroczeniem ustalonej wartości tłumienności wynikowej lub dopuszczalnego zmniejszenia impulsu, albo też takim pogorszeniem jakości łącz /na przykład z powodu niestabilności lub szumów/, która wymaga ich wyłączenia. Za zakłócenia są uważane ponadto uszkodzenia poszczególnych grup wstępnych, kanałów nośnych lub grup wstępnych nośnych.

W ZSRR średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami urządzeń końcowych lampowych telefonii nośnej systemu B-12-2 wynosi 582 h, przy czym czas ten podlega rozkładowi

wi normalnemu [31]. Wskaźniki niezawodności niektórych zespołów urządzeń powyższego systemu przedstawia tabl. 11 [32].

Natomiast czas między uszkodzeniami kanału radzieckiego systemu K-60 podlega rozkładowi wykładniczemu, a średni czas między tymi uszkodzeniami wynosi 396 h. Czas restytucji pracy kanału podlega zaś rozkładowi logarytmowo-normalnemu, przy czym średni czas restytucji pracy kanału wynosi 25 min [31]. Rozkład wykładniczy czasu między uszkodzeniami powodującymi przerwy w pracy systemów telefonii nośnej na liniach kablowych potwierdzają również inne prace radzieckie [33]. Według tych ostatnich prac czas pracy między uszkodzeniami, uwzględniający zarówno uszkodzenia zupełne, jak i uszkodzenia nie powodujące przerw w pracy, podlega jednak nie rozkładowi wykładniczemu, lecz Weibulla.

Dość podobne wskaźniki intensywności uszkodzeń zespołów urządzeń lampowych telefonii nośnej uzyskuje się w urządzeniach produkcji szwedzkiej /tabl. 12/ [34]. Wskaźniki te wydatnie polepszają się w przypadku zastąpienia lamp elektronowych przez elementy półprzewodnikowe, przy czym elementy bierne nie powinny wykazywać gorszych zmian własności wskutek starzenia niż niżej podane [35]:

oporniki	+1% /log t/,
elementy indukcyjne	+0,1% /log t/,
kondensatory	±0,2% /log t/,

gdzie t = czas w godzinach. Szczególną uwagę należy zwracać na technologię produkcji kondensatorów, w których

T a b l i c a 11

Wskaźniki niezawodności niektórych zespołów urządzeń telefonii nośnej systemu radzieckiego B-12-2

Zespół	Wskaźnik intensywności uszkodzeń $\frac{1}{10^4} \text{ h}$	Średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami h	Prawdopodobieństwo poprawnej pracy	Średni czas trwania uszkodzenia h
Generator 4 kHz	0,71	16150	0,598	65
Wzmacniacz 4 kHz	0,40	30150	0,747	115
Powielacz częstotliwości 4/5 kHz	0,85	12970	0,526	67
Generator częstotliwości kontrolnych	0,34	30400	0,776	61
Filtr częstotliwości nośnych	0,07	146750	0,950	-
Filtr kanałowy	0,04	282500	0,973	-
Modulator kanałowy	0,45	22500	0,704	30
Demodulator kanałowy	0,31	32600	0,731	-

T a b l i c a 12

Wskaźniki intensywności uszkodzeń niektórych zespołów urządzeń telefonii nośnej produkcji szwedzkiej z 1964 r.

Z e s p ó ł	Wskaźnik intensywności uszkodzeń	
	urządzenia lampowe typu ZAX2	urządzenia tranzystorowe typu ZAX3
Modulator + demodulator /modem/ oraz filtr	0,81	0,12
Wzmacniacz	0,20	0,08
Generator częstotliwości zewu	0,03	0,05
Odbiornik częstotliwości zewu	0,19	0,04
Przemiennik prądu częstotliwości pilotowej		0,02
Zespół rozdziału prądów częstotliwości nośnej		0,01
Flumik regulowany		0,03
Zasilacz sieciowy		0,01

niezgrzewanie wyprowadzeń z okładzinami powoduje bardzo duże zwiększenie ich wskaźników intensywności uszkodzeń zupełnych i stopniowych [36,37].

Najlepsze wskaźniki niezawodności wykazują aktualnie telefoniczne urządzenia teletransmisyjne produkcji francuskiej /tabl. 13/ [38], w których uszkodzenia zupełne stanowią 80%, a pozostałe 20%. Dane w tabl. 13 nie obejmują uszkodzeń lamp elektronowych, ponieważ przyjęto, że można zawsze tak postępować, aby wymiana lampy nie powodowała praktycznie przerwy w pracy, co sprawia, iż uszkodzenia lamp nie wpływają na wskaźniki niezawodności urządzeń. Trzeba przy tym jednocześnie zaznaczyć, że trwałość lamp znacznie polepszyła się w ostatnich latach i wynosi w eksploatacji we Francji 25000 - 100000 h przy gwarantowanej trwałości 15000 - 30000 h. Dzięki odpowiednio częstym kontrolom profilaktycznym wskaźnik intensywności uszkodzeń lamp między tymi kontrolami udało się zmniejszyć do $0,2-0,5 \cdot 10^{-6}/h$, przy czym wskaźnik intensywności uszkodzeń uwzględniający również wymianę lamp podczas kontroli wynosi $2 \cdot 10^{-6}$ do $4 \cdot 10^{-3}/h$ [39,40].

Pomimo znacznego polepszenia jakości, we Francji, podobnie jak w innych krajach, sprzęt lampowy zastępuje się sprzętem tranzystorowanym, od którego w obecnym stanie techniki można wymagać wskaźnika intensywności uszkodzeń mniejszego niż $1 \cdot 10^{-6}/h$, gdy liczba elementów nie przekracza 100 [38,41]. Tylko dla takiego sprzętu można przy tym uzyskać bez rezerwowania wskaźnik intensywności uszkodzeń co najwyżej 0,15/1000 h, wymagany we Francji od linii o długości 900 km, mającej 2700 ka-

T a b l i c a 13

Wskaźniki intensywności uszkodzeń telefonicznych urządzeń teletransmisyjnych produkcji francuskiej /Sotélec/

Zestroj lub urządzenie	Rok eksplo- atacji	Wskaźnik inten- sywności uszko- dzeń		Liczba elementów w zestawie urządzenia dziennej	Wskaźnik intensywno- ści uszkodzeń na 1 element $1/10^6$ h
		1/rok	$1/10^6$ h maks.		
Łącze systemu 12- krotnego	1961	0,04	4,8	195	0,023
	1962	0,05	6,2		0,030
Stacja wzmacniakowa nieobsługiwana linią współosiowej 900-krotnej	1961	0,08	11,0	250	0,040
	1962	0,06	9,0		0,032
Wzmacniacz rozdziel- czyj częstotliwości 8 MHz	1961	brak uszko- dzeń	0,27	18	0
	1962	0,001	0,5		0,008
Sygnalizacyjny u- kład obejściowy Jednotorowy	1961	0,02	2,6	128	0,017
	1962	0,03	4,0		0,028

nałów, względnie wskaźnik intensywności uszkodzeń co najwyżej $7,5 \cdot 10^{-4} / 1000$ h, wymagany od stacji przelotowej wzmacniakowej [39]. W powyższej linii o dotychczasowym wykonaniu, zawierającej 800 lamp i 120000 elementów, wskaźnik intensywności uszkodzeń byłby bowiem bez rezerwowania znacznie większy.

Realność takich wymagań potwierdzają także dane z eksploatacji w Szwecji, gdzie w ciągu roku nie zaobserwowano ani jednego uszkodzenia 120 stacji wzmacniakowych przelotowych nieobsługiwanych podziemnych z planarowymi tranzystorami krzemowymi [35]. Grupy wtórne tranzystorowych urządzeń teletransmisyjnych wykazują natomiast w Szwecji co najwyżej 0,1-0,2 uszkodzenia w roku [27].

Interesujące są wreszcie wskaźniki niezawodności stawiane systemom telefonii wielokrótniej 24-kanalowej z urządzeniami o modulacji impulsowo-kodowej. Od systemu mającego do 40 regeneratorów wymaga się mianowicie takiego stosunku wartości maksymalnej sygnału do wartości skutecznej szumu na wejściu do regeneratora, aby prawdopodobieństwo wystąpienia błędu nie było większe niż 10^{-6} . Średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami powodującymi trwałą przerwę w pracy jednego kanału lub całej grupy 24-kanalowej dla dwóch stacji końcowych /bez traktu liniowego/ powinien wynosić co najmniej 1 rok, a średni czas między trwałymi uszkodzeniami jednego dwukierunkowego regeneratora liniowego co najmniej 40 lat.

4. NIEZAWODNOŚĆ KABLI DALEKOSIĘŻNYCH

Uszkodzenia występujące w kablach dalekosiężnych można podzielić na następujące grupy:

wady produkcji - wady osłon ochronnych, powłok, izolacji lub żył,

wady montażu - uszkodzenia powłoki, niewłaściwe złącza, uszkodzenia izolacji lub zerwania żył,

uszkodzenia mechaniczne - uszkodzenia spowodowane przez koparki, prace w studzienkach kablowych, gryzienie względnie klęski żywiołowe,

uszkodzenia wskutek korozji chemicznej lub elektrochemicznej,

uszkodzenia spowodowane drganiami,

uszkodzenia spowodowane wyładowaniami wysokiego napięcia.

Analizy uszkodzeń kabli w ZSRR, NRF i Szwajcarii wykazały, że udział procentowy powyższych grup uszkodzeń kształtuje się w tych krajach jak w tabl. 14 [42,43].

Intensywność uszkodzeń kabli charakteryzuje m.in. tak zwana gęstość uszkodzeń, wyrażająca się zależnością

$$P_n = \frac{n}{l} \cdot 100,$$

w której

n - liczba uszkodzeń w roku,

l - długość linii kablowych znajdujących się w eksploatacji, w km.

Gęstość uszkodzeń wahała się w ZSRR w 1952-1964 r. w granicach 0,6-1,7, a w NRF w 1953-1960 r. w granicach 1,8-2,7.

Średnia gęstość uszkodzeń wynosiła w ZSRR 1,2, a w NRF 2,3.

Poza średnią gęstością uszkodzeń stosuje się ponadto następujące wskaźniki niezawodności kabli dalekosiężnych:

Średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami

$$T_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i l_i}{n}, h$$

gdzie:

t_i - średni czas między uszkodzeniami i -tej linii,
 h_i

l_i - długość i -tej linii, km,

n - łączna liczba uszkodzeń linii poddanych badaniom,

m - liczba linii poddanych badaniom,

średni wskaźnik intensywności uszkodzeń

$$\lambda_{sr} = \frac{1}{T_{sr}}$$

oraz

prawdopodobieństwo poprawnej pracy w określonym czasie

$$P/t/ = e^{-\lambda t}$$

T a b l i c a 14

Udział procentowy poszczególnych grup uszkodzeń
kabli dalekosiężnych

Grupa uszkodzeń	ZSRR	NRF	Szwajcaria
	Udział procentowy		
Wady montażu	15	5	12
Uszkodzenia mechaniczne	79	65	52
Uszkodzenia wskutek korozji i drgań	3	6	21
Uszkodzenia spowodowane wylądowaniami wysokiego napięcia	3	8	7
Inne uszkodzenia	-	16	8

przy czym

- l - długość linii kablowych poddanych badaniom, w km,
t - czas badań, h.

Jak stwierdzono, wskaźnik intensywności uszkodzeń linii kablowych wykazuje okres docierania, po którym podlega on wykładniczemu rozkładowi statystycznemu.

Ponieważ wskaźniki te zależą od długości linii kablowych, odnosi się je do linii o długości do 10 km, 10-100 km i ponad 100 km. Wartości liczbowe powyższych wskaźników kształtują się w ZSRR zgodnie z tabl. 15, a prawdopodobieństwo poprawnej pracy zgodnie z rys. 22.

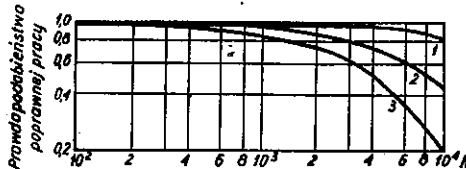
Ponieważ średni czas usunięcia uszkodzenia wynosi w

Wskaźniki niezawodności kabli dalekosiężnych w ZSRR

Długość linii kablowej km	Wszystkie Linie poddane badaniom	
	$T_{\Sigma} 10^5$ h	$\lambda / 10^{-5} / h$
Do 10 10-100 Ponad 100	2,3	0,484
	6,9	0,145
	7,1	0,140
Łączna liczba uszkodzeń		
Do 10 10-100 Ponad 100	Uszkodzenia spowodowane wadami montażu	
	18,8	0,053
	52,7	0,019
37,7	0,027	
Uszkodzenia mechaniczne		
Do 10 10-100 Ponad 100	2,4	0,417
	8,7	0,115
	9,5	0,105
Uszkodzenia wskutek korozji i drgań		
Do 10 10-100 Ponad 100	139,9	0,007
	137,1	0,007
	286,1	0,003
Uszkodzenia spowodowane wyładowaniami wys. napięcia		
Do 10 10-100 Ponad 100	139,9	0,007
	228,4	0,004
	204,4	0,005

x/ Maksymalna wartość przy poziomie ufności 0,90.

ZSRR 3 h, przestój linii kablowej długości 100 km, nie przekracza w roku 0,004% łącznego czasu pracy linii.



Rys. 22. Prawdopodobieństwo poprawnej pracy linii kabli dalekosieźnych:

1 - o długości 10 km; 2 - o długości 50 km; 3 - o długości 100 km

5. NIEZAWODNOŚĆ URZĄDZEŃ TELEGRAFICZNYCH

Niezawodność łączy i urządzeń telegraficznych określa się najczęściej poniższymi wskaźnikami:

- prawdopodobieństwem poprawnej pracy w określonym czasie,

- średnim wskaźnikiem intensywności uszkodzeń trwałych względnie przemijających, odniesionym do określonego czasokresu,

- średnim czasem poprawnej pracy między uszkodzeniami trwałymi względnie przemijającymi, także odniesionym do pewnego czasokresu,

- prawdopodobieństwem występowania uszkodzeń przemijających o różnym czasie trwania,

- średnim czasem napraw uszkodzeń,

- współczynnikiem gotowości operacyjnej.

Niekiedy stosuje się ponadto średni wskaźnik intensywności uszkodzeń na jeden element urządzenia.

Według ustaleń przyjętych w NRD [30] za uszkodzenie trwałe, zupełne łączy uważa się uszkodzenie wszystkich kanałów względnie grup, przy czym w przypadku wskazań uszkodzeń przez urządzenie pomiarowo-kontrolne za uszkodzenie trwałe, zupełne uważa się sygnał stwierdzający przekroczenie dopuszczalnego poziomu. Wszystkie nieplanowane ograniczenia zdatności do eksploatacji pojedynczych kanałów, a także brak impulsu akceptacji, impulsu zwrotnego lub impulsu kontrolnego uważa się natomiast za zakłócenia.

Normatywy uszkodzeń łączy telegraficznych, obowiązujące w NRD od 1.1.1967 r. przy powyższych kryteriach uszkodzeń, przedstawia tabl. 16 [29]. W przypadku łączy telegrafii wielokrotnej normatywy te dotyczą tylko uszkodzeń zupełnych, a w przypadku pozostałych łączy - zakłóceń, które występują w godzinach silnego ruchu, to znaczy od 7.00 do 17.00 h w pierwszych pięciu dniach tygodnia i od 7.00 do 13.00 h w sobotę. Normatywy nie uwzględniają uszkodzeń kabli lub linii napowietrznych, zaników napięcia w sieci i przerw w zasilaniu.

W ZSRR za uszkodzenie trwałe uważa się uszkodzenie uniemożliwiające eksploatację łącza lub urządzenia, powodująca przerwę transmisji, wymagającą powtórzenia przekazania informacji po usunięciu uszkodzenia, której minimalny czas zależy od rodzaju systemu /na przykład w systemach komutowanych wynosi on 300 ms/. Gdy przerwy w transmisji są krótsze, zalicza się je do zakłóceń, wpły-

T a b l i c a 16

Wskaźniki normatywne intensywności uszkodzeń łączy telegraficznych w NRD

Rodzaj łącza	Wskaźnik normatywny intensywności uszkodzeń	
	uszk./mies.	uszk./rok
1. <u>Odcinki telegrafii naturalnej w łączach telegraficznych</u>	0,05	0,6
2. <u>Łącza telegrafii wielokrotnej</u>		
System WT 34	0,25	3,0
" WT 51	0,25	3,0
" WT 60	0,25	3,0
" WTT	0,10	1,2
3. <u>Łącza abonentów miejscowych</u> ^{1/}		
o małym natężeniu ruchu	0,10	1,2
o normalnym natężeniu ruchu	0,15	1,8
o dużym natężeniu ruchu	0,20	2,4

^{1/} Bez uwzględniania zniekształceń wykazywanych automatycznymi urządzeniami pomiarowymi.

wających tylko na wierność przekazywanych informacji.

Badania rzadziej nad tego rodzaju uszkodzeniami trwałymi kanałów telegrafii wielokrotnej z modulacją częstotliwości, systemu TT 12/16, wykazały, że strumień uszkodzeń podlega rozkładowi Poissona, a czas poprawnej pracy między uszkodzeniami - rozkładowi wykładniczemu [44].

Liczba uszkodzeń w ciągu 24 h wahała się w granicach 0,484 - 2,075, a średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami w granicach 17,0 - 42,4 h. Takiemu samemu rozkładowi podlega czas napraw kanałów, przy czym średni czas napraw wahał się w granicach 24,8 - 30,6 min, a współczynniki gotowości operacyjnej kanałów w granicach 0,996 - 0,992.

Inne badania radzieckie wykazały, że prawdopodobieństwo poprawnej pracy przy przekazywaniu informacji za pomocą linii radiowych wynosi w przypadku łączy telegraficznych trwałych 0,997, a w przypadku łączy komutowanych 0,98 [45].

Badania radzieckie przeprowadzone na kanałach telegrafii przewodowej nośnej z modulacją częstotliwości stwierdziły, że także strumień uszkodzeń przemijających, związanych z krótkotrwałymi przerwami transmisji, podlega rozkładowi Poissona, przy czym wartość oczekiwana liczby przerw wynosi 0,4 - 2,0, gdy transmisja trwa 100 min [46]. Największe nasilenie takich przerw występuje w środku tygodnia, lecz ich częstość w poszczególnych godzinach doby jest zupełnie nierównomierna.

Gdy kanały telegrafii nośnej systemu TT 12/16 z modulacją częstotliwości są wykorzystywane do transmisji danych, za uszkodzenie przyjmuje się przemijającą przerwę krótkotrwałą oraz obniżenie poziomu poniżej 2 N [47]. Przy takim kryterium strumień uszkodzeń podlega rozkładowi będącemu sumą dwóch rozkładów geometrycznych, czas poprawnej pracy między uszkodzeniami - rozkładowi będącemu sumą trzech funkcji wykładniczych o różnych współ-

czynnikach i wykładnikach, a czas trwania uszkodzenia - rozkładowi logarytmo-normalnemu. Średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami wynosi 22,06 min, a średni czas trwania uszkodzenia 32,02 s.

Taka niezawodność kanału jest niedostateczna dla wykorzystywania jego do transmisji danych. Niezawodność tę można jednak polepszyć do wymaganej przez zastosowanie traktu z kanałami równoległymi i podziału czasowego przekazywania informacji. Bez podziału czasowego w kanałach równoległych wystąpiłaby bowiem znaczna jednoczesność występowania uszkodzeń [48].

Badania radzieckich telegraficznych urządzeń końcowych wykazały, że strumień ich uszkodzeń jest prosty i ma własności ergodyczne oraz że prawdopodobieństwo jednoczesnego występowania dwóch lub więcej uszkodzeń jest praktycznie równe zeru [49,50]. Strumień uszkodzeń dalekopisów typu CTA-2M podlega rozkładowi Poissona, a czas poprawnej pracy między uszkodzeniami - rozkładowi wykładniczemu, przy czym średni czas poprawnej pracy wynosi 72,4 h.

Czas napraw poszczególnych zespołów powyższych dalekopisów podlega asymetrycznemu rozkładowi normalnemu o dwóch maksimach, z których drugie, odpowiadające czasowi regulacji odbiornika, nadajnika taśmowego i reperforatora, wynosi 120 min. Uszkodzenia, których skutkiem jest taka regulacja, stanowią 16% wszystkich uszkodzeń.

Czas usuwania uszkodzeń dalekopisów podlega rozkładowi normalnemu o wartości oczekiwanej 68,07 min, przy czym poszczególne składniki tego czasu są następujące:

stwierdzenie występowania uszkodzenia	5%
ustalenie uszkodzonego zespołu i elementu	21%
naprawa uszkodzenia	57%
regulacja i strojenie	17%

Natomiast współczynnik gotowości operacyjnej dalekopisów waha się w granicach 0,885 - 0,996.

Częstotliwość występowania uszkodzeń poszczególnych zespołów dalekopisu jest w ZSRR poniższa:

nadajnik	13%
odbiornik	33%
nadajnik taśmowy	19%
reperforator	16%
silnik	6%
pozostałe zespoły	13%

Regulacja różnych zespołów stanowi do 44% napraw, wymiana elementów uszkodzonych mechanicznie - 20% napraw, a wymiana elementów wskutek zużycia - 14% napraw. Pozostałe naprawy dotyczą wyposażenia liniowego, układów elektrycznych wyłącznika automatycznego i in.

Nieporównanie mniejszą intensywność uszkodzeń wykazują urządzenia nadawczo-odbiorcze telegrafii nośnej produkcji francuskiej [38]. I tak wskaźnik intensywności uszkodzeń urządzeń lampowych /mających 3 lampy elektronowe/ wynosi $9,3 \cdot 10^{-6}$ /h, a urządzeń tranzystorowych /mających 7 tranzystorów/ $3,4 \cdot 10^{-6}$ /h, co odpowiada intensywności uszkodzeń na 1 element urządzenia, odpowiednio $0,094 \cdot 10^{-6}$ /h i $0,026 \cdot 10^{-6}$ /h. Ponieważ powyższe dane dotyczą urządzeń z tranzystorami germanowymi i kondensato-

rami elektrolitycznymi aluminiowymi, po zastąpieniu ich przez bardziej niezawodne tranzystory krzemowe i kondensatory tantalowe można oczekiwać jeszcze znacznie lepszej niezawodności urządzeń.

6. NIEZAWODNOŚĆ CENTRAL TELEFONICZNYCH

Ujęcie statystyczne uszkodzeń central telefonicznych oraz ustalenie ich wskaźników niezawodności jest szczególnie kłopotliwe, gdyż w zasadzie powinny one być odnoszone nie do określonego czasu, lecz do określonej liczby zdarzeń poszczególnych zespołów i podzespołów. Uzyskanie takich danych jest jednak uciążliwe, wobec czego niezawodność central oszacowuje się przeważnie poniższymi wskaźnikami uproszczonymi:

- liczbą uszkodzeń w miesiącu lub roku na 1 lub 100 abonentów,

- liczbą uszkodzeń w procentach w stosunku do zarejestrowanych rozmów,

- liczbą uszkodzeń w procentach w stosunku do próbnych połączeń, przeprowadzanych przez centralę,

= liczbą uszkodzeń na 1 kErlh,

- liczbą uszkodzeń w stosunku do zużytej energii zasilania w roku,

= czasem usuwania uszkodzeń na 1 abonenta w roku.

Ponadto w wymaganiach ustala się trwałość ważniejszych podzespołów, która według wymagań w USA powinna być następująca [51]:

wybijeraki obrotowe /z urządzeniem zapadkowym/
 słabo obciążone minimum $25 \cdot 10^6$ kroków,
 silnie obciążone minimum $100 \cdot 10^6$ kroków,

wybijeraki obrotowe silnikowe - minimum $4 \cdot 10^6$ półobrotów, a ich szczotki minimum 10^6 półobrotów,

wybijeraki podnosząco-obrotowe - minimum 10^5 zdziałań bez uszkodzeń i regulacji, przy czym żaden element, z wyjątkiem szczotek, nie powinien wykazywać nadmiernego zużycia po 10^6 zdziałań,

przełączniki telefoniczne zwykłe - 60 do $100 \cdot 10^6$ zdziałań.

Od mostków wybieraków krzyżowych pracujących z częstotliwością 5 impulsów na sekundę wymaga się natomiast co najmniej $15 \cdot 10^6$ zdziałań w przypadku mostków z pięcioma drążkami, względnie co najmniej $2,5 \cdot 10^6$ zdziałań w przypadku mostków z sześcioma drążkami [52]. Według danych firmy Ericsson wybieraki krzyżowe jej produkcji mogą pracować bez uszkodzeń 40-50 lat, a przełączniki 400-500 lat [53], co zresztą potwierdzają poniższe wskaźniki intensywności uszkodzeń poszczególnych podzespołów i elementów, oszacowane w wyniku badań niezawodności eksploatacyjnej central automatycznych krzyżowych systemu ARF10 i ARM, zainstalowanych w 1962 r. [54]:

wybieraki	$2,5 \cdot 10^{-6} / h$
przełączniki	$0,23 \cdot 10^{-6} / h$
oporniki	$0,01 \cdot 10^{-6} / h$
prostowniki	$0,01 \cdot 10^{-6} / h$

tranzystory	$0,004 \cdot 10^{-6} / h$
liczniki	$0,45 \cdot 10^{-6} / h$
gniazdka	$0,017 \cdot 10^{-6} / h$

Uproszczone wskaźniki niezawodności central telefonicznych z wybierakami biegowymi i krzyżowymi kształtowały się w NRF w okresie 1951-1960 r. zgodnie z tabl. 17 [55]. Przeciętne wskaźniki central telefonicznych były natomiast w NRF w 1961 r. następujące:

0,16 - 0,58 uszkodzenia w miesiącu na 100 abonentów,
0,03 - 0,08 uszkodzenia na 1 kWh.

Wskaźniki te są nieporównywalnie lepsze niż wskaźniki uzyskiwane, na przykład, dla central automatycznych z wybierakami obrotowymi typu RS-7735, o pojemności 100 NN, produkcji rumuńskiej, których prawdopodobieństwo poprawnej pracy wynosiło w 1967 r. zaledwie 0,55 [56].

Podobne do wskaźników w NRF uzyskuje się wskaźniki niezawodności central automatycznych z wybierakami krzyżowymi w Finlandii, gdzie także są eksploatowane centra-
le produkcji LM Ericsson [57]. Wskaźniki te były w 1960-
-1967 r. następujące:

0,06 - 0,25% uszkodzeń przy połączeniach próbnym,
1,0 - 1,9 uszkodzeń na 100 kWh zużytej energii za-
silania,

przy czym przeciętny czas lokalizacji uszkodzeń wynosił 1,4 - 2,1 h, a przeciętny czas usuwania uszkodzeń 0,3 h w roku na 1 abonenta. Jako normatywy przyjęto dla central krzyżowych:

T a b l i c a 17

Wskaźniki niezawodności central telefonicznych eksploatowanych w NRP

Rodzaj wybieraków	Wskaźnik niezawodności centrali	Rok eksploatacji
1	2	3
Wybieraki biegowe typu F produkcji Siemens-Halske	1,2 uszkodzenia w miesiącu na 100 abonentów	1951
Wybieraki biegowe produkcji Deutsche-Industrie	2-5 uszkodzeń w miesiącu na 100 abonentów	1956
Wybieraki obrotowe typu Hs52 produkcji Hassler	0,028% uszkodzeń przy próbnym połączeniach	1957
Wybieraki silnikowe typu EMD produkcji Deutsche-Industrie	0,8 uszkodzenia w miesiącu na 100 abonentów	1960
Wybieraki krzyżowe produkcji Ericsson typ ARM 10	0,0026% uszkodzeń przy próbnym połączeniach	1956

c.d. tabl. 17

1	2	3
typ ARK 315	0,0019% uszkodzeń przy próbnym połączeniach	1956
typ ARF 10	0,12% uszkodzeń przy próbnym połączeniach	1957
typ ARM 20	2,08% uszkodzeń przy próbnym połączeniach	1957

wskaźnik błędnych połączeń w sieci /połączenia niedoszłe do skutku, zarejestrowane podczas obserwacji ruchu/	maks. 0,5%
wskaźnik połączeń z przesłuchem zauważalnym	maks. 0,001%
wskaźnik uszkodzeń zgłaszanych przez abonentów na 1 aparat rocznie	maks. 0,5

Gdy rozpoczęto pierwsze prace nad centralami elektronicznymi, przyjęto dla nich, iż wskaźnik intensywności uszkodzeń na 1 element centrali nie powinien przekraczać $5 \cdot 10^{-8}$ /h [58], czego jednak w tym czasie nie można było uzyskać, gdyż wskaźnik ten wynosił w eksploatacji zaledwie $1,1 \cdot 10^{-6}$ /h [59]. W dzisiejszym stanie techniki wymaganie powyższe okazało się jednak realne, ponieważ wskaźnik intensywności na 1 element centrali elektronicznej aktualnej produkcji USA wynosi w eksploatacji $1,05 \cdot 10^{-8}$ /h [9,60]. Dzięki temu stały się realne również poniższe wskaźniki niezawodności ustalone dla central elektronicznych:

wskaźnik błędnych połączeń	maks. 0,1%
czas między kolejnymi uszkodzeniami elementów	min. 20 dni,
czas między kolejnymi uszkodzeniami zespołów /powodującymi tylko ograniczenie ruchu/	min. 200 dni,

prawdopodobieństwo uszkodzenia całej

centrali

1 uszk./40 lat.

Średni czas napraw, który nie powinien przekraczać 30 min, wynosi w rzeczywistości wraz z czasem lokalizacji uszkodzenia zaledwie co najwyżej 1,5 min.

Bardzo dobrą niezawodność wykazują także centrale telefoniczne quasidelektroniczne, w których intensywność uszkodzeń podczas pierwszych 3,5 lat eksploatacji wynosiła 3 uszkodzenia/100 abonentów w roku [71]; uszkodzenia elementów stanowiły przy tym około 63%, a okablowania 37%. Uwzględniając, iż badana centrala miała ponad 300000 zestyków hermetycznych rurkowych, około 150000 diod, ponad 12000 tranzystorów i 100000 oporników, wynika z tego więc, że niezawodność elementów centrali była bardzo duża, co uzyskano przez selekcję elementów i odpowiednie zasady konstruowania. Szczególnie dobrą niezawodnością odznaczały się w centrali quasidelektronicznej połączenia, ponieważ stwierdzono tylko 1 złącze uszkodzone wśród 240000 złącz stykowych oraz brak jakichkolwiek uszkodzeń 400000 połączeń owijanych. Natomiast wśród $2,5 \cdot 10^6$ połączeń lutowanych stwierdzono uszkodzenia tylko 17 takich połączeń.

7. NIEZAWODNOŚĆ LINII RADIOWYCH

Jednymi z najważniejszych wskaźników niezawodności linii radiowych są współczynnik wykorzystania linii K_w i współczynnik przestoju linii K_p [61, 62, 63]. Pierwszy z tych współczynników wyraża się zależnością

$$K_w = \frac{t_p}{t_p + t_u},$$

a drugi zależnością

$$K_p = 1 - K_w,$$

w których

t_p - łączny czas poprawnej pracy linii w określonym czasie,

t_u - łączny czas przestoju linii /czasu trwania uszkodzeń/ w tym samym określonym czasie.

Współczynniki te, obliczane oddzielnie dla kanałów telefonicznych i telewizyjnych, umożliwiają ocenę efektywności różnych środków organizacyjnych i technicznych podjętych w celu polepszenia jakości urządzeń i ich eksploatacji, a także ocenę kwalifikacji personelu obsługi. Do porównywania różnych linii współczynniki te jednak nie nadają się, gdyż większy współczynnik przestoju linii o większej długości nie musi świadczyć, iż niezawodność tej linii jest gorsza niż linii o mniejszej długości, której wskaźnik przestoju jest nieco mniejszy. Do tego celu należy mianowicie stosować umowny wskaźnik przestoju

$$K_{pu} = K_p \frac{2500}{L},$$

wskazujący, jaki byłby współczynnik przestoju linii o długości L km po odniesieniu do łącza o długości 2500 km,

mającego takie samo wyposażenie i taką samą obsługę. Wskaźnik ten według zaleceń CCIR powinien wynosić 0,1% [62].

Zamiast powyższego, prawidłowego współczynnika przestoju, stosowany jest także uproszczony współczynnik

$$K_p^s = \frac{t_n}{t_p} \%.$$

Według badań przeprowadzonych w ZSRR współczynnik ten dla linii radiowych o długości 320 km wynosi 2,85% w przypadku linii z urządzeniami typu RM-24, 0,25% w przypadku linii magistralnych z urządzeniami typu RTA-24 i 0,82% w przypadku linii odgałęźnych z tymi urządzeniami [64]. W NRD wskaźnik powyższy dla linii o długości 43 km z urządzeniami typu RVG 934 A produkcji VEB Rafena wynosi 0,68% [65], a w Czechosłowacji wynosi on 0,25% dla jednego kanału telefonicznego bez rezerwowania oraz 0,013% w przypadku zastosowania rezerwowania z samoczynnym przełączaniem [66].

Podział procentowy współczynnika przestoju kanałów telefonicznych i telewizyjnych, spowodowanego uszkodzeniami stacji K_{ps} i zanikami sygnału K_{pz} , przedstawia według badań radzieckich tabl. 18. Natomiast podział współczynnika K_{ps} , uwzględniający uszkodzenia urządzeń nadawczo-odbiorczych K_{pr} , przerwy i wady zasilania K_{po} oraz uszkodzenia spowodowane niewłaściwą obsługą i złą organizacją obsługi K_{p0} , przedstawia tabl. 19 [61, 67]. Z tablic tych widać, że znaczna część przestoju jest spowodowana zawodnym systemem zasilania oraz niezadowala-

T a b l i c a 18

Podział procentowy współczynnika przestoju linii radiowych

Rok	Kanały telewizyjne		Kanały telefoniczne	
	K _{ps} %	K _{pz} %	K _{ps} %	K _{pz} %
1960	100	0	67	33
1961	96	4	71	29
1962	88	12	64	36
1963	77	23	68	32
1964	75	25	61	39
1965	78	22	69	31
1966	70	30	-	-

jącą eksploatacją linii, przy czym największy udział przestojów wykazują stacje częściowo obsługiwane, gdzie nie ma personelu o wysokich kwalifikacjach i gdzie dyżury nie trwają przez całą dobę. Powyższe dane dotyczą linii eksploatowanych przez resort łączności ZSRR, w tabl. 20 podano zaś podobne dane dotyczące linii eksploatowanych przez resort komunikacji [64].

Z tablic tych widać, że najwięcej przestojów powodują w ZSRR urządzenia zasilania energią elektryczną, w związku z czym wskazane jest stosowanie zasilania z baterii akumulatorów oraz dążenie do jak największej tranzystoryzacji stacji. W przypadku wprowadzania rezerwowania należy pamiętać, iż najbardziej efektywne jest re-

T a b l i c a 19

Podział procentowy współczynnika przestoju spowodowanego uszkodzeniami
urządzeń stacyjnych

Rok	Kanały telewizyjne			Kanały telefoniczne		
	K _{pr} %	K _{pe} %	K _{po} %	K _{pr} %	K _{pe} %	K _{po} %
1960	38,8	50,6	10,6	54,7	21,6	23,7
1961	51,9	42,9	5,2	53,8	15,8	30,4
1962	47,5	42,7	9,8	47,6	23,1	29,3
1963	46,7	42,0	11,3	34,3	53,0	12,7
1964	39,8	51,0	9,2	40,9	46,0	13,1
1965	28,2	61,2	10,6	56,1	27,9	16,0
1966	18,5	58,8	23,7	-	-	-

Uproszczonego współczynnika przestoju linii radiowych eksploatowanych przez resort komunikacji ZSRR

Podział uszkodzeń	Uproszczonego współczynnika przestoju K ^o %		
	RM-24	Urządzenia systemu RTA-24 linie magi- stralne	RTA-24 linie odga- łazne
Wszystkie uszkodzenia linii	2,85	0,250	0,820
Uszkodzenia urządzeń nadaw- czo-odbiorczych	0,13	0,004	0,080
odbiorników	0,056	0,022	0,080
nadajników	0,012	0,022	0,048
bloków zasilania	0,02	0,012	0,114
bloków synchronizacji			
Przerwy i wady zasilania energii elektryczną	0,49	0,012	0,012
Zaniki sygnału	1,47	0,160	0,160
Inne uszkodzenia	-	0,018	0,326

zerwowanie poszczególnych bloków lub stacji, a najmniej efektywne - całej linii [64].

Jakkolwiek współczynnik wykorzystania i współczynnik przestoju są stosunkowo ważnymi wskaźnikami niezawodności linii, nie odzwierciedlają one jednak częstotliwości i czasu trwania uszkodzeń, ponieważ przy tym samym współczynniku przestoju mogą występować rzadkie długie lub częste krótkie przestoje, co nie jest obojętne z punktu widzenia wymagań eksploatacji. Dlatego też poza powyższymi wskaźnikami stosuje się wskaźnik charakteryzujący prawdopodobieństwo poprawnej pracy linii w czasie transmisji albo też wskaźniki charakteryzujące intensywność uszkodzeń względnie średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami. Jako uszkodzenie przyjmuje się przy tym każdą przerwę połączeń, trwającą co najmniej 0,3 s [61, 68].

Średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami wyraża zależność

$$T = \frac{t_p - t_u}{n},$$

w której

t_p - całkowity czas pracy linii /urządzenia lub elementu/ w danym okresie sprawozdawczym /na przykład w roku/,

t_u - łączny czas trwania uszkodzenia linii /urządzenia lub elementu/ w powyższym okresie,

n - liczba uszkodzeń w tym okresie.

Wskaźnik intensywności uszkodzeń wyraża natomiast zależność:

$$\lambda = \frac{1}{T} = \frac{n}{t_p - t_u}$$

Ponieważ stwierdzono, że intensywność uszkodzeń linii radiowych i ich urządzeń jest stała, prawdopodobieństwo poprawnej pracy linii lub urządzeń można wyrazić zależnością

$$P = e^{-t_s/T},$$

gdzie t_s - czas nieprzerwanej pracy linii lub urządzenia, całkowicie sprawnych przed rozpoczęciem transmisji /w których usunięto wszystkie uszkodzenia przed rozpoczęciem transmisji/.

W celu umożliwienia porównywania prawdopodobieństwa poprawnej pracy różnych linii trzeba ten wskaźnik przekształcać jak niżej

$$P' = e^{-\frac{2500}{L} \frac{t_s}{T}},$$

przyjmując oczywiście, iż czas transmisji porównywalnych linii jest jednakowy.

Analogicznie przekształca się inne wskaźniki, które przyjmują postać

$$T' = T \frac{L}{2500}$$

$$\lambda' = \lambda \frac{2500}{L}$$

Badania niezawodności linii radiowych w ZSRR wykazały, że wskaźnik intensywności uszkodzeń linii waha się w granicach $\lambda'_{\min} - \lambda'_{\max}$, przy czym $\lambda'_{\max} \approx 3 \lambda'_{\min}$. Jak widać z tabl. 21, wskaźnik P' kanałów telewizyjnych, eksploatowanych przez resort łączności, pracujących nieprzerwanie przez 4 h na dobę wynosił w ZSRR 0,8314 - 0,9126, a kanałów telefonicznych pracujących nieprzerwanie przez 23 h od 0,7033 do 0,8431 [61]. Natomiast w przypadku linii eksploatowanych przez resort komunikacji wskaźniki kształtowały się zgodnie z tabl. 22 [64], znacznie gorzej niż w krajach kapitalistycznych, gdzie średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami stacji linii wynosi 3000 - 5000 h [66].

Za wskaźnik najlepiej charakteryzujący niezawodność linii radiowej jest uważany poniższy wskaźnik wtórny [61, 63, 68].

$$N = K_w P = 1 - K_p / P,$$

który uwzględnia zarówno prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia podczas transmisji, jak i możliwość nieusunięcia uszkodzenia w czasie przerwy między transmisjami oraz wystąpienia jego przed rozpoczęciem transmisji. Wskaźniki te porównywalne oczywiście tylko dla jednakowego czasu transmisji, przedstawia tabl. 21.

Porównywanie czynników iloczynu $K_w P$ umożliwia oszacowanie względnego czasu trwania uszkodzeń /przerw transmisji/. I tak gdy K_w jest stosunkowo bliski 1 /0,999 - 0,998/, a P jest znacznie mniejsze niż $K_w / P < 0,98/$,

T a b l i c a 21

Zasadnicze wskaźniki niezawodności linii radiowych
eksploatowanych w ZSRR.

Rok	Kanały telewizyjne			Kanały telefoniczne		
	K_{pu}	P'_{4}	N	K_{pu}	P'_{23}	N
1963	0,9994	0,8314	0,8298	0,9963	0,7033	0,6998
1964	1,0000	0,9126	0,9126	0,9992	0,8431	0,8413

wówczas średni czas trwania uszkodzeń jest niewielki. Taki właśnie stan charakteryzuje przeważnie linie radiowe, przy czym krótkotrwałe przerwy transmisji są powodowane przerwami zasilania energią, opóźnionym działaniem urządzeń stabilizujących oraz nadmierną czułością urządzeń na nagłe zmiany napięcia zasilania.

Średni czas trwania uszkodzeń można również wyrazić zależnością

$$t_{sr} = \frac{t_u}{n} = \frac{K_p}{1 - K_p} T,$$

a intensywność przeprowadzania napraw zależnością

$$\mu = \frac{1}{t_{sr}}.$$

T a b l i c a 22

Wskaźniki niezawodności linii radiowych eksploatowanych przez resort komunikacji ZSRR

Rodzaj uszkodzeń	System linii radiowych	Średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami h	Wskaźnik intensywności uszkodzeń 1.10 ⁻⁵ /h	Prawdopodobieństwo poprawnej pracy przez 24 h
Uszkodzenia wszelkiego rodzaju	RM24	174	584	0,8694
	RTA24 /linie magistralne/	264	382	0,9094
	RTA24 /linie odgałęźne/	230	416	0,9048
	RM24	429	233	0,9455
	RTA24 /linie magistralne/	592	170	0,9608
	RTA24 /linie odgałęźne/	418	237	0,9446
Przerwy i wady zasilania	RM24	710	141	0,9666
	RTA24 /linie magistralne/	628	159	0,9627
	RTA24 /linie odgałęźne/	573	170	0,9589
Zaniki sygnału	RM 24	489	204	0,9522
	RTA24 /linie magistralne/	1100	90	0,9782
	RTA24 /linie odgałęźne/	230	42	0,9900

8. NIEZAWODNOŚĆ INNYCH URZĄDZEŃ TELETECHNICZNYCH

8.1. Przebiegi telewizyjne

Przebiegi telewizyjne małej mocy, całkowicie stransystoryzowane, poddawane przez producenta wstępnemu wygrzewaniu, wykazują następujące wskaźniki przy obciążeniu mocą 100 mW i temperaturze 60°C [69]:

wskaźnik intensywności uszkodzeń /przy pracy nieprzerwanej/	0,07/1000 h
średni czas pracy między uszkodzeniami	14000 h
prawdopodobieństwo poprawnej pracy w czasie	
3000 h	0,81
10000 h	0,50
14000 h	0,367

8.2. Urządzenia radiokomunikacji ruchomej

Badania przeprowadzone w Szwecji wykazały, że radiotelefony typu Stornofone, o mocy 10 kW, zawierające 9 lamp, 17 tranzystorów i obwody drukowane, pracujące średnio 10 h dziennie, charakteryzują się poniższymi wskaźnikami niezawodności [70]:

średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami przy profilaktycznej wymianie lamp	7400 h
---	--------

średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami lecz bez profilaktycznej wymiany lamp

750 h

średnia intensywność uszkodzeń na 1 element

 $5 \cdot 10^{-7}/h.$

WYKAZ LITERATURY

1. Weinmann G.: Die Zuverlässigkeit elektronische Bauelemente. Betriebserfahrungen über die Ausfallraten von Bauelementen in nachrichtentechnischen Geräten und Anlagen. NTZ, 1963, t. 16, nr 11, s. 578-580.
2. Mattana G.: Component reliability in telecommunications equipment. Electron. Components, 1966, t. 7, nr 8, s. 737-745, nr 9, s. 825-830.
3. Luckij W.A.: Rasczot radiożnosti i efektiwnosti radioelektronnoj apparatury. Naukowa Dumka, Kijew /1966/.
4. Bednařík J., Smetana J., Zima J.: Ökonomische Probleme bei der Einführung integrierter Schaltungen. Nachrichtentechnik, 1965, t. 15, nr 8, s. 292-294.
5. Czechowski A.: Parametry charakteryzujące jakość eksploatacyjną podzespołów. Niezawodność podzespołów i urządzeń elektronicznych, ITR, Warszawa /1966/, s. 5-14.
6. Malikow I.M.: Radiożnost' sudowej elektronnoj apparatury i sistiem automaticzeskogo upravlenja. Sudostrojenie, Leningrad /1967/.

7. Hiller G.: Abschätzung der Zuverlässigkeit elektronischer Geräte. Fernmelde-Praktiker, 1966, t. 6, nr 4, s. 82-83.
8. Marcovici G.: Fiabilité du matériel P.T.T. Onde Électr., 1966, t. 46, nr 474, s. 927-930.
9. Karas P.: Reliability and field experience of electronic switching systems. IEEE Conv. Record, 1967, nr 1, s. 184-193.
10. Tretter J.: Die Zuverlässigkeit Nachrichtentechnischer Geräte. Technische Zuverlässigkeit in Einzeldarstellungen, R. Oldenburg Verlag, München, 1965, nr 5, s. 45-62.
11. Fabryka Półprzewodników "Tewa". Karta informacyjna za rok 1965/66 o intensywności uszkodzeń elementów półprzewodnikowych.
12. Piwoński W., Pele Z.: Wyniki badań niezawodności, stabilności i powtarzalności produkcji podzespołów bieżących w III i IV kwartale 1965 r. Tele-Radio, Nowa Technika, Cz. 1, 1966, nr 22, s. 21-29; nr 24, s. 47-52.
13. Frącki M.: Niektóre wyniki badań stabilności pracy i niezawodności kondensatorów ceramicznych. Niezawodność podzespołów i urządzeń elektronicznych, ITR, Warszawa 1966, s. 55-63.
14. Przybył E.: Wyniki badań niezawodności i stabilności kondensatorów papierowych, mikowych i styroreflek-

- sowych. Niezawodność podzespołów i urządzeń elektronicznych, ITR, Warszawa 1966, s. 65-82.
15. Paczkowski E.: O wpływie czynników wymuszających na charakterystyki stabilności i niezawodności oporników warstwowych metalowych. Niezawodność podzespołów i urządzeń elektronicznych, ITR, Warszawa 1966, s. 35-50.
 16. Gładysz H., Kołodziejski J., Oleszkiewicz J., Gmurzyński H.: Wpływ warunków pracy na niezawodność tranzystorów stopowych i stopów dyfuzyjnych. Przegl. Elektroniki, 1967, t. 8, nr 11, s. 553-558.
 17. Myers R.H., Wong K.L., Gordy H.M.: Reliability engineering for electronic systems. J. Wiley, New York 1964.
 18. Rybin G.Ja.: Nadióznost' kontaktów elektromagnitnych rele po materiałam eksploatacji. Elektriczeskie kontakty, Energia, Moskwa 1964, s. 439-443.
 19. Höft H.: Fragen der Zuverlässigkeit von elektrischen Kontakten. Nachrichtentechnik, 1967, t. 17, nr 5, s. 200-204.
 20. Höft H.: Die Bedeutung elektrischer Kontakte in der Elektronik. Nachrichtentechnik, 1968, t. 18, nr 2, s. 65-69.
 21. Messana J.P.: Solderless wrapping on 30-gauge wires, Bell Labor. Record, 1967, t. 45, nr 5, s. 79-82.
 22. Kaiser Z.: Radiodietali. Analiz metodow zadanja pa-

- ramiętrow bezotkazności rezystorów i kondensatorów. Analizy sostojanja unifikacjii i standartizacjii. Institut SEW po Standartizacjii, Wyp. 94, Moskwa 1967.
23. Nanning P.: Zuverlässigkeitsangaben in der Normung elektrischer Bauelemente. Elektronorm, 1965, t. 19, nr 10, s. 397-400.
24. Nanning P.: Betriebszuverlässigkeit von Keramik-Kleinkondensatoren. Elektronorm, 1965, t. 19, nr 5-6, s. 165-166.
25. Dombrowski E.: Normen und verwandte Unterlagen auf dem Zuverlässigkeitsgebiet. Technische Zuverlässigkeit in Einzeldarstellungen, B. Oldenburg Verlag, München, 1965, nr 8, s. 67-85.
26. Reinboth H.: Einführung in die Problematik der Zuverlässigkeit elektronischer Geräte. Fernmelde-Praktiker, 1966, t. 6, nr 4, s. 75-80.
27. Harris P.O.: Component reliability. Referat wygłoszony na międzynarodowej konferencji eksploatacyjnej w 1966 r., zorganizowanej przez firmę L.M. Ericsson.
28. Weinmann G.: Fortschritte in der Fertigung und Prüfung von Geräten der Nachrichten-Übertragungstechnik. ETZ-B, 1961, t. 13, nr 16, s. 425-429.
29. Qualitätsnormen für die zulässige Anzahl der Störungen an Fernsprech- und Fernschreibleitungen 1966 /dokument otrzymany z NRD/.

30. VDP 40003. Innerstaatliche Fernsprech-, Fernschreib-, TF, und WT- Leitungen. Erlassen von Störungen /1966/.
31. Czernienko A., Siros G.A.: Riezultaty koliczestwiennoj ocenki eksploatacionnoj nadiożnosti apparatury i kanalow dalnej swiazi. Riefer. Żurnał. Elektroswiaż, 1967, nr 12, s. 11, poz. 12.64.54.
32. Siemieniuta N.F., Siros G.A.: Nadiożnost' diejstwija apparatury swiazi w klimacie Sredniej Azji. Tele-mech. Swiaż, 1967, t. 11, nr 6, s. 22-23.
33. Fiedorow S.A.: Zakon raspriedielenija wriemieni mieżdu otkazami i charakter potoka otkazow kabielnaj linii swiazi. Riefer. Żurnał Elektroswiaż, 1967, nr 12, s. 51, poz. 12.64.358.
34. Fostberg B.: Maintenance and operating experience of transistorized channel modulating equipment. Referat wygłoszony na międzynarodowej konferencji eksploatacyjnej w 1966 r., zorganizowanej przez firmę L.M. Ericsson.
35. Tronsli S.: The maintenance of cable transmission systems. Referat wygłoszony na międzynarodowej konferencji eksploatacyjnej w 1966 r., zorganizowanej przez firmę L.M. Ericsson.
36. Sonobe S., Tomonori H., Sawanobori M., Matsunaga T.: New production technique and field data of filters and capacitors. Proceed. 6th National Symposium on Reliability and Quality Control, Washington 1960, s. 35-42.

37. Renne W.T.: Plenocznyje kondensatory s organiczeskim sinteticzeskim dielektrikom. Gosenergizdat, Moskwa 1963, s. 28-29.
38. Eldin J.: La fiabilité. Câbles et Transmission, 1965, t. 19, nr 1, s. 45-54.
39. Blanquart P., Ramond J.: La fiabilité des tubes PTT. Câbles et Transmission, 1967, t. 21, nr 2, s. 98-123.
40. Blanquart P., Ramond J.: La fiabilité des tubes de reception de longue durée. Fiabilité, 1964, nr 3, s. 5-26.
41. Marcovici C.: Surveillance et amélioration de la fiabilité du matériel de telecommunication français. Câbles et Transmission, 1965, t. 19, nr 4, s. 289-297.
42. Bunin D.A.: Nadiożnost' kabielej dalniej swiazi. Awtomat. Telëmech. Swiaż, 1965, t. 9, nr 10, s. 1-4.
43. Bunin D.A.: Ekspiuatacionnaja nadiożnost' kabielenych linii dalniej swiazi. Elektroswiaż, 1967, t. 21, nr 7, s. 40-46.
44. Kogan M.E.: K woprosu ob ekspiuatacionnoj nadiożnosti kanalow tonalnogo tielegrafirowanja. Trudy Uczebn. Inst. Swiazi, 1965, nr 24, s. 113-118.
45. Smirnow K.A.: Nadiożnost' tielegrafnoj swiazi pri kratkowriemiennych pierierywach cepi. Trudy Uczebn. Inst. Swiazi, 1964, nr 23, s. 168-173.
46. Aripow M.N., Kogan M.E.: Issledowanje statisticzeskich charakteristik pierierywow swiazi w kanalach tonal-

- nogo telegrafirowanja s czastotnoj modulaczej. Trudy Uczebn. Inst. Swiazi, 1964, nr 23, s. 159-167.
47. Gienkina N.F.: K woprosu o nadioznosti niskoskorostnych traktow pieriedaczi diskretnoj informaczi. Trudy Uczebn. Inst. Swiazi, 1966, nr 31, s. 153-160.
48. Gienkina N.F.: K woprosu o nadioznosti traktow swiazi s ispolzowanjem parallelnych kanalow. Elektroswiaz, 1967, t. 21, nr 5, s. 68-73.
49. Pasiecznik N.D., Strielkova R.A.: Nadioznost' okoniecznoj telegrafnoj apparatury, Izdat. Swiaz, Moskwa 1964.
50. Kogan M.E., Gienkina N.F.: Ocenka nadioznosti start-stopnych telegrafnych apparatow. Elektroswiaz, 1966, t. 20, nr 4, s. 73-78.
51. Leighton A.G.: Electromechanical switching devices. Reliability, life and the relevance of circuit design. Microelectron. and Reliability, 1966, t. 5, nr 2, s. 161-173.
52. Langevad R.: Quality assurance of crossbar equipment manufactured in Australia. Telecommun. Journ. Australia, 1964, t. 14, nr 4, s. 283-295.
53. Rejdin A.: LM Ericsson Koordinatenschalter-Technik. Entwicklung der Bauelemente und Mechanik. Ericsson Review, 1967, t. 44, nr 1, s. 11-20.
54. Chaikh H.B.: Maintenance of telephone exchanges in Tunis. Ericsson Review, 1967, t. 44, nr 4, s. 138-143.

55. Rothert G.: Zur Beurteilung des Gütezustandes von Wählervermittlungsanlagen. NTZ, 1961, t. 15, nr 8, s. 406-408.
56. Manguiorella F.O.: Siguranța în exploatare a aparaturii telecomunicațiilor. Telecomunicații, 1965, t. 9, nr 5, s. 169-174.
57. Halva M., Packalen K.: Wartung automatischer Ortsämter in Helsinki. Ericsson Review, 1967, t. 44, nr 1, s. 2-10.
58. Duerdoh W.T., Lawrence J.A.: Reliability and maintenance of electronic exchanges. Proceed. IEE, 1960, t. 107 B, Suppl. 20, s. 235-242.
59. Moorhouse H.G., Barry J.N., Taylor H.B.: Line-terminating equipment for a T.D.M. electronic telephone exchange. Proceed. IEEE, 1960, t. 107 B, Suppl. 20, s. 177-187.
60. Haugk G.: Early No 1 ESS field experiences. Part 1. Two-wire system for commercial applications. IEEE Conv. Record, 1967, nr 1, s. 194-202.
61. Rakow A.I.: Надёжность радиорелейных линий связи, Изд. Связь, Москва /1967/.
62. Rakow A.I.: Эксплуатационная надёжность радиорелейной связи. Вестн. Связи, 1965, t. 25, nr 8, s. 10-11.
63. Rakow A.I.: Параметры надёжности восстанавливаемых радиоэлектронных систем. ЭлектроСвязь, 1967, t. 21, nr 11, s. 78-79.

64. Bunin D.A.: Eksploatacjonnaja nadiožnost' radiorelejných linij. Awtomat. Telemekh. Swiaź, 1966, t. 10, nr 1, s. 12-15.
65. Schukaj H.: 7 Jahre Richtfunk bei der Deutsche Reichsbahn. Ein Überblick Über Ausfälle, Störungen und Erfahrungen. Fernmelde-Praktiker, 1965, t. 5, nr 5, s. 193-196.
66. Derer J.: Spolehlivost' radiových releových zarizení a její zvyšování zalohováním. Česk. Spoje, 1966, t. 11, nr 3, s. 4-7, 31.
67. Anon: Powysit' kačestwo raboty kanalów mieždugorodnogo telewidiennja i wieszczanja. Wiestn. Swiazi, 1967, t. 27, nr 8, s. 15-16.
68. Rakow A.I.: Wybor pokazatielej dla ocenki nadiožnosti radiorelejnyj swiazi. Elektroswiaź, 1966, t. 26, nr 8, s. 75-77.
69. Leuchtmann C.: Quelques considérations sur la fiabilité de reémetteurs de télévision. Onde Electr., 1966, t. 46, nr 474, s. 931-935.
70. Ask F.: Ispytanije na nadiožnost' pieriedwižnych radiotelefonnyh ustanowok udzielaja osoboje wnimanije profilaktikie. Simpozium "Nadiožnost' w elektrotehnike", Budapeszt 1964, t. II.
71. Willrett H.: Field experience with quasi-electronic telephone switching systems. IEEE Trans. Commun. Technol., 1967, t. COM-15, nr 6, s. 730-735.

