

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
BIBLIOTEKA NAUKOWA

Nr

PRACE
INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI

ROK XVI

ZESZYT 1(53)

WARSZAWA 1969

WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE

SPIS TREŚCI

218

1. <i>Cyryl Niewiadomski, Alicja Stobiecka, Janusz Wolniewicz</i> — Badania nad możliwością wyeliminowania złoczenia elementów złączy stykowych w urzą- dzeniach teletechnicznych	3
2. <i>Zbigniew Frydrych</i> — Wskaźniki niezawodności relacji telefonicznych i me- tody ich obliczania	25
3. <i>Zbigniew Frydrych</i> — Uwagi o niezawodnościowych aspektach planowania rozpiętywa łączy relacji	53

СОДЕРЖАНИЕ

1. <i>Ц. Невядомски, А. Стобецка и Я. Вольневич</i> — Исследования возможнос- ти исключить золочение элементов штепсельных соединений для устрой- ств электросвязи	3
2. <i>З. Фрыdrych</i> — Показатели надёжности междугородных телефонных связей и методы их вычисления	25
3. <i>З. Фрыdrych</i> — Замечания о планировании распределения цепей между- городной связи с точки зрения надёжности	53

CONTENTS

1. <i>C. Niewiadomski, A. Stobiecka, J. Wolniewicz</i> — Researches on the possibi- lity of elimination of the gold plated connectors for telecommunication equipments	3
2. <i>Z. Frydrych</i> — Reliability indices of direct routes and the method of their calculation	25
3. <i>Z. Frydrych</i> — Remarks about reliability aspects of circuit distribution planning	53

SOMMAIRE

1. <i>C. Niewiadomski, A. Stobiecka, J. Wolniewicz</i> — Recherches sur la possi- bilité d'éliminer la dorure des contacts de connecteurs de télécommunication pour les installations de télécommunication	3
2. <i>Z. Frydrych</i> — Les indices de fiabilité des routes téléphoniques directes et les méthodes de calculer leurs valeurs	25
3. <i>Z. Frydrych</i> — Remarques sur les aspects de fiabilité dans la planification du routage	53

INHALTSVERZEICHNIS

1. <i>C. Niewiadomski, A. Stobiecka, J. Wolniewicz</i> — Untersuchungen über die Möglichkeit des Wegschaffens der Vergoldung von Schaltelementkontakten für die Fernmeldeanlagen	3
2. <i>Z. Frydrych</i> — Die Zuverlässigkeitskenngrößen der Fernsprechverkehrs- richtung und die Methoden derer Berechnung	25
3. <i>Z. Frydrych</i> — Bemerkungen über Zuverlässigkeitsaspekte der Planung der Leitungsverteilung einer Fernsprechverkehrsrichtung	53

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRACE
INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI

ROK XVI

ZESZYT 1(53)

WARSZAWA 1969

WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE

Komitet Redakcyjny
Redaktor Naczelny — *prof. mgr inż. Sylwester Jarkowski*

Redaktorzy działów:
adj. inż. Aleksy Brodowski, prof. mgr inż. Lesław Kędziński
Sekretarz Redakcji — *Janina Janicka*

Adres Redakcji:
Instytut Łączności, Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

Printed in Poland

Opracowano w Dziale Wydawniczym Instytutu Łączności

Redaktor techniczny *J. Pakoca*

WNT Warszawa 1969. Symbol. 80434/INB. Wydanie I. Nakład 600 egz. Ark.
wyd. 4.7. Ark. druk. 4.0 (5,32/A). Format B5, Papier ilustrac. kl. VII 70 g.
Oddano do składania 16. VIII. 1969 r. Podpisano do druku w listopadzie 1969 r.
Druk ukończono w listopadzie 1969 r. Cena zł 18,—

Poznańskie Zakł. Graf. im. M. Kasprzaka — Poznań zam. 1893/69-G-3/1099

CYRYL NIEWIADOMSKI, ALICJA STOBIECKA,
JANUSZ WOLNIEWICZ

621.316.541 : 669.234

BADANIA NAD MOŻLIWOŚCIĄ WYELIMINOWANIA ZŁOCENIA ELEMENTÓW ZŁĄCZY STYKOWYCH W URZĄDZENIACH TELETECHNICZNYCH

Rękopis dostarczony do Komitetu Redakcyjnego dnia 21.X.1968 r.

Omówiono badania możliwości zastępowania złocenia elementów teletechnicznych złączy stykowych przez ich palladowanie oraz możliwości stosowania złączy tylko o jednej powłoce z utwardzonego srebra, ewentualnie smarowanych substancją Electrolube. W wyniku badań stwierdzono, że złocenie można zastąpić palladowaniem oraz że jakość powłoki palladowej otrzymanej z kąpeli zawierającej azotyn aminopalladawy jest lepsza niż jakość powłoki otrzymanej z kąpeli fosforanowej.

1. WSTĘP

Stosowane w urządzeniach teletechnicznych złącza 12- i 20-stykowe służą do łączenia zespołów wymiennych ze stałymi fragmentami okablowania stojaków tych urządzeń.

Złącza te są produkowane w kraju według PN-65/T-82142 i PN-65/T-82143, a ich elementy stykowe są wykonywane z blach lub taśm z mosiądzu M63 według PN-60/H-92816 i następnie srebrzone oraz ewentualnie dodatkowo złoczone galwanicznie. Grubość powłoki srebra na elementach stykowych wynosi około 20 μm , a grubość powłoki złota około 3 μm , przy czym złotem są pokrywane tylko części pracujące zestyków [1].

Zgodnie z podanymi wyżej normami opór przejścia zestyku w złączu nie powinien przekraczać 6 m Ω . Powłoka galwaniczna powinna wytrzymać 1000 operacji łączenia i rozłączania (czynności wciskania i wyciągania wtyków), po których nie powinno uwidocznić się wytarcie powłoki do podłoża oraz nie powinno wystąpić przekroczenie dopuszczalnego oporu przejścia. Siła wciskania wynosi 150÷300 G, a siła wyciągania 100÷200 G.

Złącza stykowe złoczone stosuje się wtedy, gdy od złączy wymaga się dużej niezawodności oraz małego i niezmiennego w czasie oporu przejścia,

co dotyczy m. in. złączy używanych w urządzeniach teletransmisyjnych. Powłoka ze srebra jest wrażliwa bowiem nawet na minimalne zanieczyszczenie atmosfery siarkowodorem lub dwutlenkiem siarki, z którymi srebro reaguje w obecności wilgoci, w wyniku czego tworzy się siarczek srebra. Wskutek znacznie mniejszej przewodności elektrycznej siarczku srebra niż srebra metalicznego następuje zwiększenie oporu przejścia zestyku, które jest tym większe, im grubsza jest warstwa siarczku. Przy pewnej grubości warstewka ta może nawet powodować przerwy prądu, gdy napięcie w obwodzie jest za niskie, aby mogło przebić warstewkę siarczku oraz gdy nacisk stykowy lub tarcie są niewystarczające do mechanicznego zniszczenia tej warstewki. Niezniszczona warstewka siarczku na zestykach powodować może ponadto zmiany oporu przejścia pod wpływem drgań pracujących w sąsiedztwie urządzeń, co z kolei powoduje powstawanie szumów w obwodach. Wadą siarczku srebra jest poza tym skłonność do migracji [2].

Jakkolwiek powłoki ze złota mają największą odporność chemiczną, w ostatnich latach przeprowadzono liczne badania w celu zastąpienia materiału tych powłok przez inne tańsze materiały. W związku z tym przeprowadzono m. in. liczne badania w celu zastąpienia złota palladem, ponieważ przy tej samej grubości powłoka z palladu jest więcej niż dwukrotnie tańsza od powłoki ze złota [3].

Najlepsze wyniki palladowania otrzymuje się przy zastosowaniu warstwy pośredniej ze srebra [4, 5]. Do palladowania są zalecane kąpiele o różnym składzie [3, 5, 6, 7, 8], z których za najlepszą uważana jest kąpiel z palladem w kompleksie kationowym, z dodatkiem aminosulfonianu amonowego, ponieważ przy jej użyciu uzyskuje się powłoki nieporowate już przy małej ich grubości. Kąpiel ta nadaje się do pokrywania wannowego i kielichowego oraz jest mało wrażliwa na warunki pokrywania.

Aby powłoka z palladu na stykach produkcji krajowej była tańsza od powłoki ze złota, grubość powłoki nie powinna przekraczać 6 mikronów. Tak duża grubość powłoki w przypadku wtyków i gniazd wielostykowych nożowych, stosowanych w urządzeniach teletechnicznych, wydaje się jednak zbędna, gdyż, jakkolwiek wtyki i gniazda pracują przy stosunkowo dużych naciskach, to jednak tarcie elementów stykowych w czasie wciskania i wyciągania wtyków zachodzi stosunkowo rzadko. Dlatego też wydaje się, że powłoka z palladu o grubości 3 mikronów jest wystarczająca, jeśli jest ona nieporowata, co uzyskuje się w praktyce przy odpowiednim składzie kąpieli i właściwych warunkach palladowania. Prawidłowo wykonane powłoki z palladu powinny przy tym zabezpieczać przed wpływem zanieczyszczeń siarkowodoru lub dwutlenku siarki, znajdujących się w powietrzu, nie gorzej niż powłoki ze złota [9, 10, 11, 12].

Najlepszą metodą badania porowatości powłok jest metoda elektrograficzna, jako metoda szybka, prosta, odtwarzalna i łatwa do interpretacji [13, 14]. W przypadku powłoki ze złota nałożonej na pośrednią warstwę ze srebra dobrą próbę porowatości powłoki ze złota stanowi poddanie jej przez 300 h działaniu pary wytwarzanej przez kwiat siarczany przy temperaturze 50° i wilgotności względnej 80% [16] albo przez 48 h przy temperaturze 50° i wilgotności względnej 100% [14].

2. BADANIA WŁASNE

2.1. Cel i zakres badań

Celem badań własnych było stwierdzenie możliwości zastąpienia przez powłoki z palladu powłok ze złota na wtykach i gniazdach wielostykowych, produkowanych zgodnie z PN-65/T-82142 i PN-65/T-82143, przeznaczonych m. in. do łączenia zespołów w urządzeniach telefonii nośnej, przy czym zarówno powłoki ze złota jak i powłoki z palladu powinny charakteryzować się możliwie małym i trwałym w czasie oporem przejścia, co zależy m. in. od właściwej szczelności i odporności na ścieranie powłok. W związku z tym właśnie zbadano powłoki z palladu o różnych grubościach, otrzymane z elektrolitów o różnych składach, przy różnych warunkach nakładania na powłokę srebra, stosując jako ocenę jakości powłok palladowych ich szczelność i opór przejścia, określane przed poddaniem i po poddaniu elementów wtykowych próbie ścierania oraz próbie przetrzymywania w atmosferze wilgotnej zawierającej siarkę lub siarkowodór.

W celach porównawczych poddano także powyższym badaniom elementy stykowe w wykonaniu przemysłu krajowego z samą powłoką srebrną oraz z dodatkową powłoką złotą nałożoną na powłokę ze srebra. Ponadto sprawdzono możliwość stosowania powłok srebrnych znacznie cieńszych niż dotychczas stosowane, utwardzonych antymonem w celu poprawienia odporności na ścieranie i zabezpieczonych przed wpływem czynników atmosferycznych substancją produkcji angielskiej Electrolube Nr 2. Substancja ta charakteryzuje się bardzo dobrą odpornością na czynniki atmosferyczne oraz stosunkowo małą opornością właściwą [16].

2.2. Warunki otrzymywania powłok

2.2.1. Powłoki palladowe

2.2.1.1. Przygotowanie elementów stykowych do palladowania. Elementy stykowe mosiężne, z nałożoną fabrycznie warstwą srebra, odłuszczano chlorkiem metylenu. Grubość powłoki srebra, określana metodą kropłową, wynosiła 12 μm .

W celu sprawdzenia szczelności powłok srebrnych elementy stykowe odtłuszczone chlorkiem metylenu i wysuszone zanurzano w gorącym roztworze o składzie:

10 ⁰ /o roztwór żelatyny spożywczej	10 ml
5 ⁰ /o roztwór amoniaku	1 ml
1 ⁰ /o roztwór alkoholowy hematoksyliny	1 ml

Pozostająca na powierzchni srebra warstewka żelatyny ma zabarwienie różowo-fioletowe, które w miejscach nieszczelnych przechodzi po kilku minutach w ciemnoniebieskie.

Elementy stykowe ze szczelną powłoką srebrną odtłuszczano elektrolitycznie, zawieszając je w roztworze zawierającym 40 g NaOH i 15 g KOH w 1 l wody, stosując jako anodę blachę z kwasoodpornej stali chromoniklowej. Odtłuszczenie prowadzono przy temperaturze pokojowej przez 15 s, prądem o gęstości 12 A/dm², po czym pozostałość roztworu alkalicznego spłukiwano z powierzchni elementów silnym strumieniem wody bieżącej. Następnie elementy suszono przy temperaturze 100°.

2.2.1.2. Nakładanie powłok palladowych. Początkowo powłoki palladowe otrzymywano z elektrolitów fosforanowych, spośród których jako optymalny wybrano elektrolit o następującym składzie:

PdCl ₂	16 g/l
Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O	367 g/l
(NH ₄) ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O	73,7 g/l
C ₆ H ₅ COOH	2 g/l

Przy gęstości katodowej prądu 0,05 A/dm² i temperaturze 60° oraz przy mieszaniu elektrolitu powłoki o grubości 3 μm są gładkie i błyszczące. Grubość powłoki palladu w tym i innych przypadkach określano z przyrostu masy, znając powierzchnię pokrywanych elementów.

Następnie nakładano powłoki palladowe z elektrolitu azotynowego o składzie:

Pd(NH ₃) ₂ (NO ₂) ₂ (w przeliczeniu na pallad metaliczny)	4 g/l
NH ₄ NO ₃	100 g/l
NaNO ₃	10 g/l
NH ₄ OH	do pH = 9

stosując gęstość katodową prądu 1 A/dm², temperaturę 50°, mieszanie elektrolitu i anodę platynową.

Powłoki o grubości 3 μm, otrzymywane z tej kąpieli, były błyszczące, szczelne i gładkie, jeżeli przez cały czas pH elektrolitu wynosiło około 9.

Przy dużych rozrzutach pH powierzchnia powłoki matowieje lub pokrywa się pękaniem.

2.2.1.3. Wstępna ocena jakości powłok palladowych. Jako kryterium oceny jakości powłok palladowych przyjęto szczelność oraz odporność na ścieranie powłoki.

Szczelność powłoki palladowej sprawdzano wizualnie i elektrograficznie. Sprawdzanie wizualne polegało na oględzinach pod mikroskopem przy powiększeniu 37,5-krotnym, przy czym jako dobre uznawano elementy z powłoką bez jakichkolwiek pęknięć.

Elementy zbadane pod mikroskopem badano z kolei metodą elektrograficzną. W tym celu odtłuszczano je chlorkiem metylenu i zawieszano jako anody w 5% roztworze chromianu potasowego, stosując jako katodę blachę aluminiową. Badanie elektrograficzne prowadzono przez 30 sekund przy gęstości prądu 0,15 A/dm², po czym elementy wyjmowano i zanurzano na kilka sekund w 1% roztworze kwasu octowego, aby utrwalić czerwone zabarwienie chromianu srebra, powstającego w miejscach nieszczelności powłoki.

Elementy ze szczelną powłoką poddawano z kolei próbie ścierania, polegającej na wykonaniu 1000 połączeń wtyku z współpracującym z nim gniazdem, po których powłoka nie powinna ulec takiemu ścieraniu, aby znajdująca się pod powłoką z palladu warstwa srebra była widoczna okiem nieuzbrojonym. Elementy stykowe, które wytrzymały tę próbę, poddawano następnie dodatkowo wyżej opisanej próbie szczelności powłoki.

W wyniku licznych prób ustalono, że powłoki palladowe o grubości 3 μm, otrzymane zarówno z elektrolitu fosforanowego jak i azotynowego, wytrzymują próbę ścierania i są całkowicie szczelne po tej próbie. Przy dodatkowo przeprowadzanej próbie lutowności okazało się jednak, że po podgrzaniu kolbą lutowniczą elementu stykowego w przypadku powłoki otrzymanej z elektrolitu fosforanowego na całej powierzchni elementu wytwarza się wskutek wyzwolenia naprężeń wewnętrznych wyraźna siatka pęknięć. Zjawisko to nie występowało natomiast na powłokach otrzymanych z elektrolitu azotynowego.

Z tego właśnie względu uznano elektrolity fosforanowe za nienadające się do palladowania elementów stykowych.

2.2.2. Powłoki z utwardzonego srebra

2.2.2.1. Przygotowanie elementów stykowych do srebrzenia. Przed srebrzeniem elementy stykowe odtłuszczano przez zanurzenie na chwilę w stężonym kwasie azotowym, po czym starannie płukano je w wodzie.

Bezpośrednio po odłuszczeniu powierzchnię elementów stykowych amalgamowano przez umieszczenie na kilka sekund w roztworze o składzie:

HgCl ₂	7,5 g/l
NH ₄ Cl	4,0 g/l

a następnie ponownie płukano je w wodzie.

2.2.2.2. Nakładanie powłok srebrnych. Do srebrzenia wstępnego stosowano elektrolit o składzie:

AgCN	6,5 g/l
KCN, niezwiązany	60 g/l,

w którym srebrzono przez 3 min przy gęstości prądu 0,3 A/dm² i temperaturze pokojowej, bez mieszania, stosując anodę z kwasoodpornej blachy ze stali chromowoniklowej. Elementy amalgamowane zanurzano w elektrolicie dopiero po przyłożeniu do elektrod napięcia, aby uniknąć samorzutnego osadzania się srebra na elementach stykowych.

Do otrzymania utwardzonej, właściwej powłoki srebra stosowano elektrolit z takim dodatkiem soli antymonu, aby zawartość antymonu w powłoce srebrnej wynosiła około 6⁰%. Elektrolit ten miał następujący skład [17]:

KAg(CN) ₂	40 g/l
KCN, niezwiązany	50 g/l
(SbO)KC ₄ H ₄ O ₆	0,6 g/l
KOH	6 g/l
K ₂ CO ₃	40 g/l,

a warunki srebrzenia były poniższe:

gęstość katodowa prądu 1 A/dm²,

temperatura pokojowa,

bez mieszania,

anoda z blachy srebrnej o czystości 99,99⁰%.

Grubość tej powłoki określano metodą wagową.

2.2.2.3. Wstępna ocena jakości powłok srebrnych. Otrzymane powłoki poddawano najpierw próbie szczelności za pomocą hematoksyliny według 2.2.1.1, a następnie szczelne elementy posmarowane substancją Electrolube Nr 2 poddawano próbie ścierania według 2.2.1.3.

W wyniku tych prób ustalono, że powłoki o grubości 5 μm smarowane substancją Electrolube Nr 2 odznaczają się szczelnością zarówno przed próbą, jak i po próbie ścierania. Ponadto stwierdzono, że do elementów posmarowanych substancją Electrolube Nr 2 można przylutowywać przewody bez usuwania tej substancji.

2.2.3. Powłoki złote

Powłoki złote były nakładane w warunkach fabrycznych przy użyciu kąpieli o składzie [18]:

KAu(CN) ₂ (w przeliczeniu na zawartość złota)	6	g/l
KAg(CN) ₂ (w przeliczeniu na zawartość srebra)	0,12	g/l
KCN, niezwiązany	100	g/l
Na ₂ S ₂ O ₃	8	g/l

2.3. Badania porównawcze jakości powłok ochronnych

2.3.1. Sposób przeprowadzenia badań

Ostatecznym kryterium oceny jakości powłok był opór zestyków po poddaniu ich oddziaływaniu atmosfery wilgotnej zawierającej siarkę lub siarkowodor.

Badania wstępne przeprowadzono w atmosferze o temperaturze 50° i wilgotności względnej 80%, zawierającej parę kwiatu siarczanego, zgodnie z zaleceniami ustalonymi w USA [15]. Badane złącza stykowe znajdowały się w tej atmosferze przez 300 godzin.

Opór zestyków złączy mierzono przed umieszczeniem złączy w eksykatorze z powyższą atmosferą i po ich wyjęciu. Pomiar oporu zestyków wykonywano metodą techniczną przez pomiar napięcia i prądu przepływającego przez zestyk, stosując częstotliwość prądu pomiarowego 1 kHz. Podczas pomiaru utrzymywano na badanym zestyku stałe napięcie o wartości 5 μ V.

Badaniom wstępnym poddano kompletne złącza dwunastostykowe z elementami stykowymi z powłokami srebrnymi, złotymi i palladowymi, które podczas przebywania w agresywnej atmosferze znajdowały się zarówno w stanie złączonym, jak i rozłączonym; część zestyków była obciążona elektrycznie prądem stałym 50 mA przy napięciu 2 V, a pozostała część była nieobciążona elektrycznie. Złącza stykowe badane w stanie złączonym były w tym stanie sztywno umocowane do wsporników, a przewody pomiarowe były uprzednio wyprowadzone z eksykatora od zestyków do łączówek, aby podczas manipulacji pomiarowych uniemożliwić wzajemne ruchy współpracujących ze sobą elementów stykowych, co mogłoby doprowadzić do niszczenia wytworzonych na nich cienkich warstewek siarczków.

Wstępne badania nie wykazały praktycznie wzrostu oporu żadnego z powyższych rodzajów zestyków po przebywaniu w agresywnej atmosferze, jakkolwiek na zestykach z powłoką srebrną był dobrze widoczny ciemny nalot siarczku. Opór żadnego z zestyków nie przekraczał 2 m Ω ,

a nieznaczne zmiany jego wartości, rzędu dziesiątej części milioma, należy przypisać błędowi pomiarów.

Ponieważ przyjęta we wstępnych badaniach metoda nie umożliwiła porównania jakości różnych powłok, dalsze badania przeprowadzono, poddając elementy stykowe długotrwałemu oddziaływaniu atmosfery o wilgotności względnej bliskiej 100%, zawierającej siarkowodór. Badaniom tym poddano między innymi pojedyncze elementy stykowe (noże wtykowe), umieszczane na kilkadziesiąt dni w atmosferze o zawartości siarkowodoru 0,02%, 0,1% i 0,2% objętościowych, a w przypadku elementów z powłoką z utwardzonego srebra, posmarowanych substancją Electrolube, również w atmosferze normalnej. Elementy stykowe narażone na oddziaływanie agresywnej atmosfery znajdowały się w szczelnie zamkniętych eksykatorach, zawieszane swobodnie na haczykach. Okresowe pomiary oporu zestyków przeprowadzono przy naciskach stykowych 10 G, 50 G i 200 G specjalnie wykonaną elektrodą w postaci pręta mosiężnego o średnicy 3 mm i długości czynnej około 4 mm, zaokrąglonego na końcu pomiarowym promieniem 1,5 mm, pokrytego galwanicznie grubą warstwą złota. W celu porównawczym zmierzono również w powyższy sposób opór zestyku elektrody z blaszką z czystego złota po przebywaniu jej w atmosferze wilgotnej o zawartości 0,2% siarkowodoru przez 24 dni.

Ponadto poddano badaniom złącza wyposażone w 10 zestyków, które umieszczano na kilkadziesiąt dni w atmosferze wilgotnej o zawartości 0,2% siarkowodoru przed poddaniem lub po poddaniu ich próbie ścierania. Złącza znajdowały się w szczelnie zamkniętych eksykatorach w stanie złączonym bez przepływu prądu, sztywno umocowane do wsporników, a przewody pomiarowe wyprowadzono uprzednio od zestyków do łączówek. Opór każdego zestyku mierzono okresowo, po wyjęciu złączy z eksykatorów.

Opór zestyków złączy stykowych mierzono tak samo jak przy badaniach wstępnych, boczniując jednak mierzony zestyk opornikiem o oporze 100 mΩ. Przy mierzonych wartościach oporu zestyków, rzędu kilku miliomów, powyższa zmiana nie powodowała większego niż kilka procentów błędu pomiaru, zabezpieczając jednocześnie przed przypadkowym wystąpieniem zbyt wysokiego napięcia na badanym zestyku, co w przypadku istnienia cienkich warstewek na badanych elementach stykowych w miejscu ich styku mogłoby spowodować niezamierzone ich przebicie.

Opór zestyków pojedynczych elementów stykowych z elektrodą złotą mierzono również metodą techniczną, stosując minimalne napięcie pomiarowe 50 μV, które utrzymywano na badanych zestykach w przypadku, gdy mierzony opór zestyków nie przekraczał 2 Ω. W zakresie

oporu zestyków w granicach $2 \div 30 \Omega$ wartość napięcia na zestykach wynosiła 1 mV, a w zakresie oporu $30 \div 500 \Omega$ 10 mV.

Na każdym elemencie stykowym wykonywano pomiary oporu zestyku w trzech różnych miejscach, a na blaszce złotej w 10 miejscach.

2.3.2. Wyniki badań

2.3.2.1. Opór zestyków złączy stykowych. Wyniki badań złączy stykowych (tabl. 1÷4) znajdujących się przez 30 dni w atmosferze o stężeniu 0,2% siarkowodoru praktycznie nie wykazały wzrostu oporu zestyków w żadnym ze złączy. Opór zestyków mierzony w warunkach normalnych wahał się mianowicie w granicach 1,0—1,5 m Ω , podczas gdy po 30 dniach przebywania w agresywnej atmosferze opór zestyków z powłoką złotą wahał się w granicach 1,1—1,3 m Ω , z powłoką palladową — w granicach 1,3—1,8 m Ω , z powłoką z utwardzonego srebra posmarowaną substancją Electrolube — w granicach 1,3—2,1 m Ω , a z powłoką srebrną — w granicach 1,3—5,2 m Ω .

2.3.2.2. Opór stykowy powłok pojedynczych elementów stykowych. Wyniki pomiarów oporu stykowego pojedynczych elementów stykowych przedstawiono w postaci histogramów rozkładu oporu na rys. 1÷6. Histogramy te sporządzono dla dwóch najbardziej charakterystycznych stężeń siarkowodoru, a mianowicie stężenia maksymalnego 0,2% i minimalnego 0,02%.

Każdy histogram dotyczący elementów stykowych z powłokami palladowymi i srebrnymi przedstawia wyniki 30 pomiarów oporu zestyków wykonanych na 10 elementach, a każdy histogram dotyczący elementów stykowych z powłokami złotymi i z utwardzonego srebra przedstawia wyniki 15 pomiarów na 5 elementach. Wysokość każdego słupka histogramu oznacza liczbę pomiarów wartości oporu zestyków w danym przedziale oporu, wyrażoną w procentach w stosunku do całkowitej wysokości słupka histogramu, stanowiącej 100% pomiarów (30 lub 15 pomiarów) w całym zakresie mierzonego oporu.

Wyniki pomiarów oporu zestyku wykazały zdecydowaną przewagę jakości powłok palladowych otrzymanych z elektrolitu azotynowego nad innymi badanymi powłokami, jakkolwiek opór zestyku powłok palladowych w warunkach normalnych był większy i wynosił do kilkudziesięciu miliomów przy nacisku stykowym 10 G. Opór ten bowiem nawet w najostrzejszych warunkach badań, po 90 dniach przebywania w atmosferze siarkowodoru o stężeniu 0,2%, ulegał tylko nieznacznym zmianom w funkcji czasu, co jest najbardziej istotne dla pracy zestyków. Dużo większy opór wykazały natomiast powłoki otrzymane z elektrolitu fosforanowego.

Tablica 1

Wyniki pomiarów oporu zestyków złączy z powłoką srebrną

Lp. zestyku	Wyniki pomiarów			Lp. zestyku	Wyniki pomiarów			
	w warunkach normalnych	po czasie przetrzymania w agresywnej atmosferze, dni			w warunkach normalnych		po czasie przetrzymania w agresywnej atmosferze, dni	
		15	30		przed próbą trwałości	po próbie trwałości	15	30
		Opór, mΩ			Opór, mΩ			
1	1,1	1,1	1,3	1	1,2	1,2	1,2	5,2
2	1,2	1,2	1,4	2	1,3	1,4	1,2	1,8
3	1,3	1,3	1,5	3	1,2	1,1	1,2	2,0
4	1,1	1,2	1,6	4	1,3	1,2	1,2	1,7
5	1,3	1,8	2,3	5	1,2	1,2	1,2	1,3
6	1,2	1,3	1,6	6	1,2	1,1	1,2	1,9
7	1,2	1,1	1,5	7	1,2	1,1	1,2	1,3
8	1,3	1,2	1,6	8	1,2	1,1	1,2	2,1
9	1,3	1,1	1,6	9	1,1	1,1	1,2	1,3
10	1,2	1,2	1,5	10	1,1	1,1	1,1	2,3

Tablica 2

Wyniki pomiarów oporu zestyków złączy z powłoką złotą

Lp. zestyku	Wyniki pomiarów		
	w warunkach normalnych	po czasie przetrzymania w agresywnej atmosferze, dni	
		15	30
		Opór, mΩ	
1	1,0	1,0	1,1
2	1,0	1,0	1,2
3	1,0	1,0	1,3
4	1,1	1,0	1,2
5	1,0	1,1	1,3
6	1,0	1,1	1,2
7	1,1	1,0	1,3
8	1,0	1,0	1,2
9	1,1	1,1	1,3
10	1,0	1,1	1,3

Tablica 3

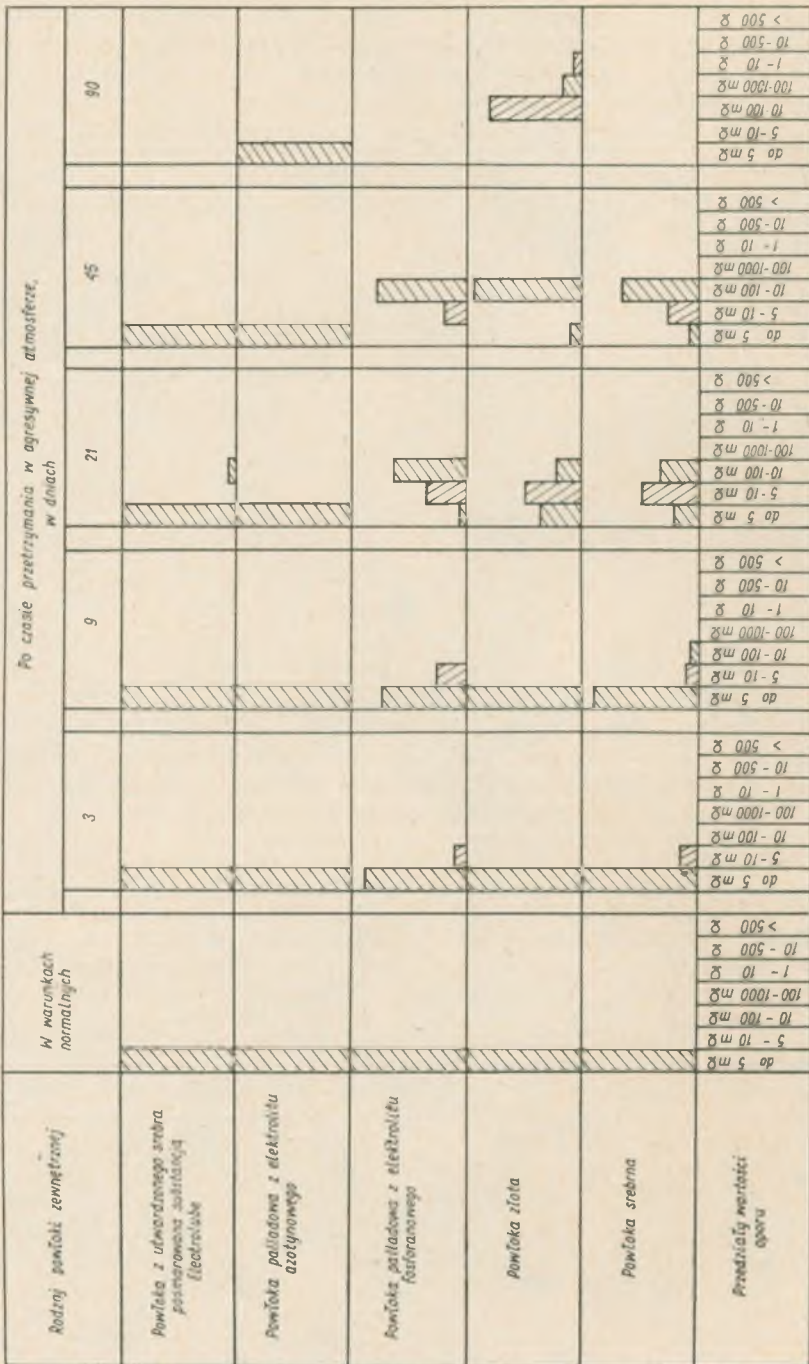
Wyniki pomiarów oporu zestyków złączy z powłoką palladową otrzymaną z elektrolitu azotynowego

Lp. zestyku	Wyniki pomiarów			Lp. zestyku	Wyniki pomiarów			
	w warunkach normalnych	po czasie przetrzymania w agresywnej atmosferze, dni			w warunkach normalnych		po czasie przetrzymania w agresywnej atmosferze, dni	
		15	30		przed próbą trwałości	po próbie trwałości	15	30
		Opór, mΩ			Opór, mΩ			
1	1,3	1,2	1,3	1	1,3	1,3	1,3	1,3
2	1,3	1,2	1,2	2	1,2	1,4	1,4	1,8
3	1,2	1,2	1,3	3	1,2	1,5	1,4	1,5
4	1,2	1,2	1,3	4	1,2	1,2	1,2	1,3
5	1,2	1,2	1,2	5	1,2	1,2	1,2	1,3
6	1,3	1,2	1,2	6	1,2	1,4	1,4	1,5
7	1,2	1,2	1,3	7	1,2	1,3	1,4	1,5
8	1,2	1,3	1,3	8	1,1	1,4	1,3	1,4
9	1,3	1,2	1,2	9	1,3	1,3	1,3	1,5
10	1,2	1,2	1,3	10	1,4	1,3	1,3	1,4

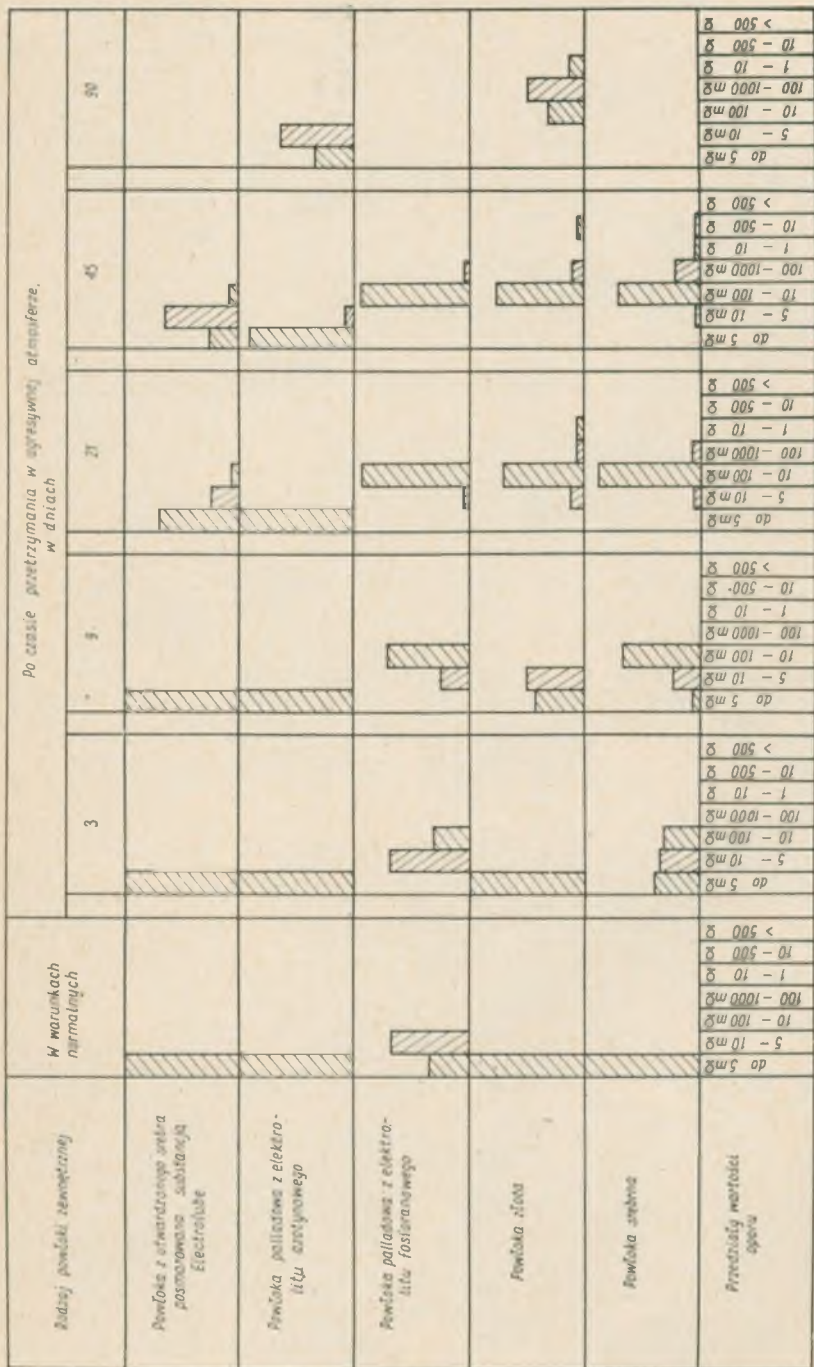
Tablica 4

Wyniki pomiarów oporu zestyków złączy z powłoką z utwardzonego srebra, smarowanych substancją Electrolube Nr 2

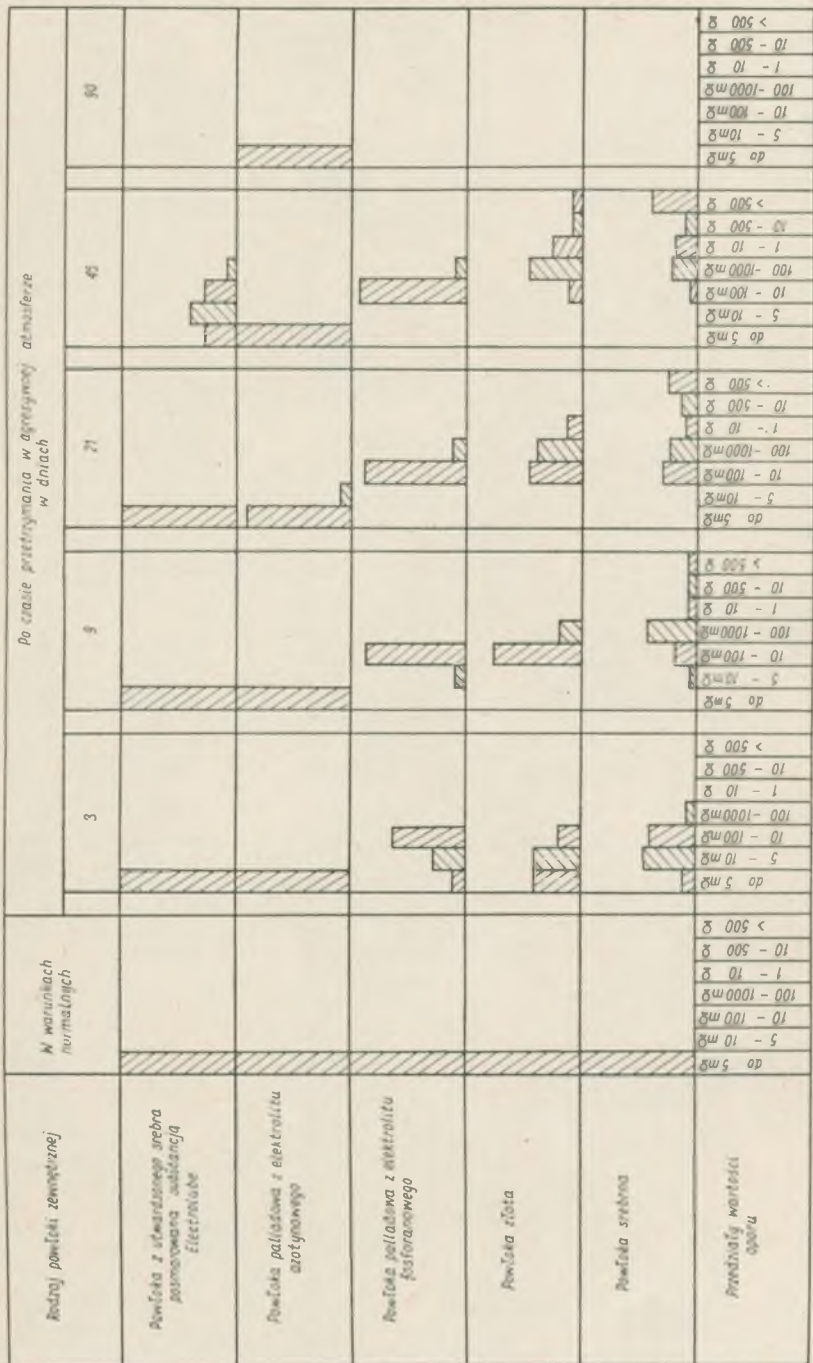
Lp. zestyku	Wyniki pomiarów			Lp. zestyku	Wyniki pomiarów			
	w warunkach normalnych	po czasie przetrzymania w agresywnej atmosferze, dni			w warunkach normalnych		po czasie przetrzymania w agresywnej atmosferze, dni	
		15	30		przed próbą trwałości	po próbie trwałości	15	30
		Opór, mΩ			Opór, mΩ			
1	1,3	1,3	1,5	1	1,5	1,4	1,4	1,6
2	1,3	1,3	2,1	2	1,3	1,1	1,2	1,3
3	1,3	1,3	1,7	3	1,3	1,2	1,2	1,4
4	1,2	1,2	1,4	4	1,4	1,3	1,2	1,3
5	1,2	1,2	1,4	5	1,5	1,2	1,2	1,4
6	1,3	1,2	1,3	6	1,4	1,3	1,4	1,4
7	1,3	1,4	1,8	7	1,5	1,3	1,2	1,4
8	1,3	1,2	1,3	8	1,5	1,2	1,2	1,5
9	1,3	1,3	1,4	9	1,3	1,3	1,2	1,5
10	1,3	1,3	1,4	10	1,4	1,2	1,3	1,4



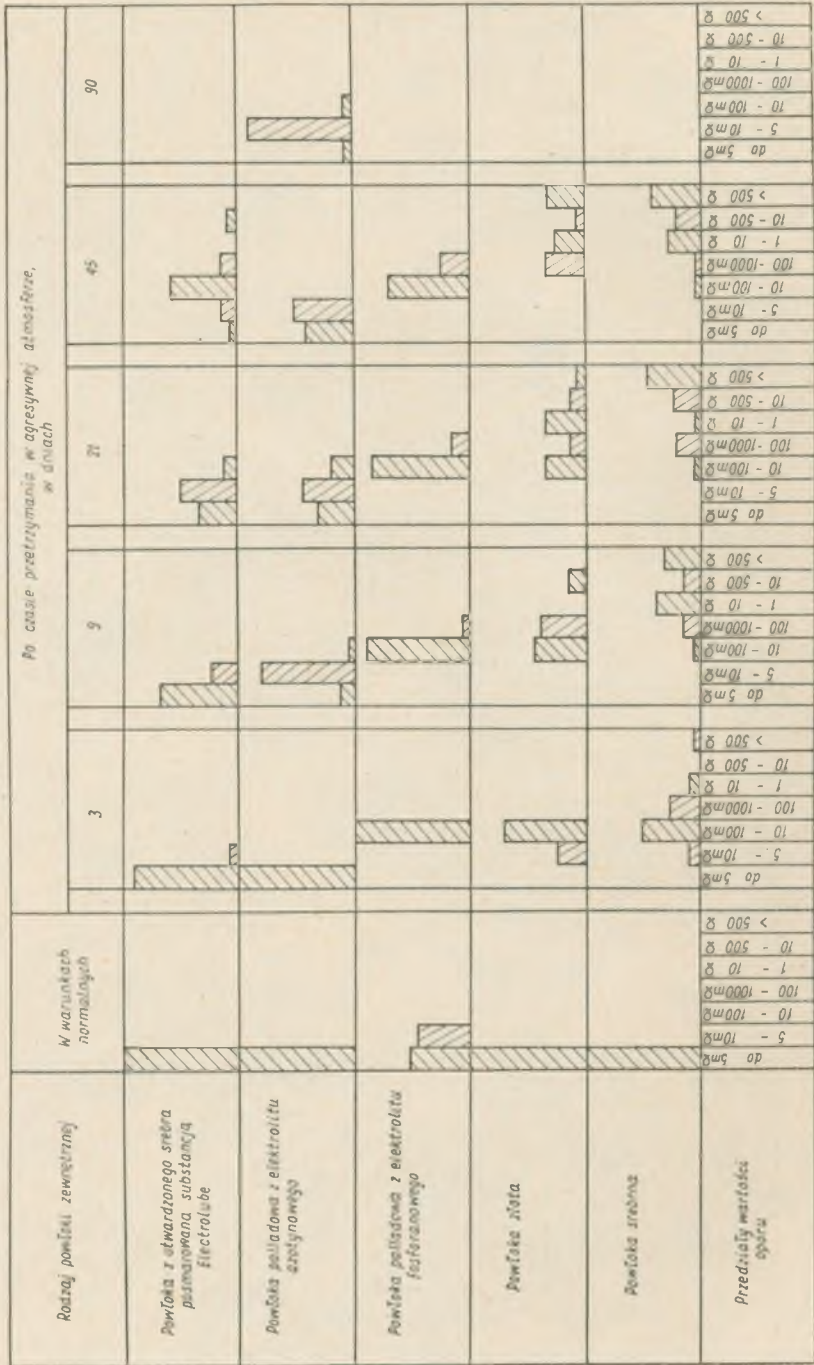
Rys. 1. Histogramy rozkładu oporu elementów stykowych dla różnych rodzajów powłok ochronnych
Stężenie siarkowodoru 0,02%, nacisk stykowy 200 G



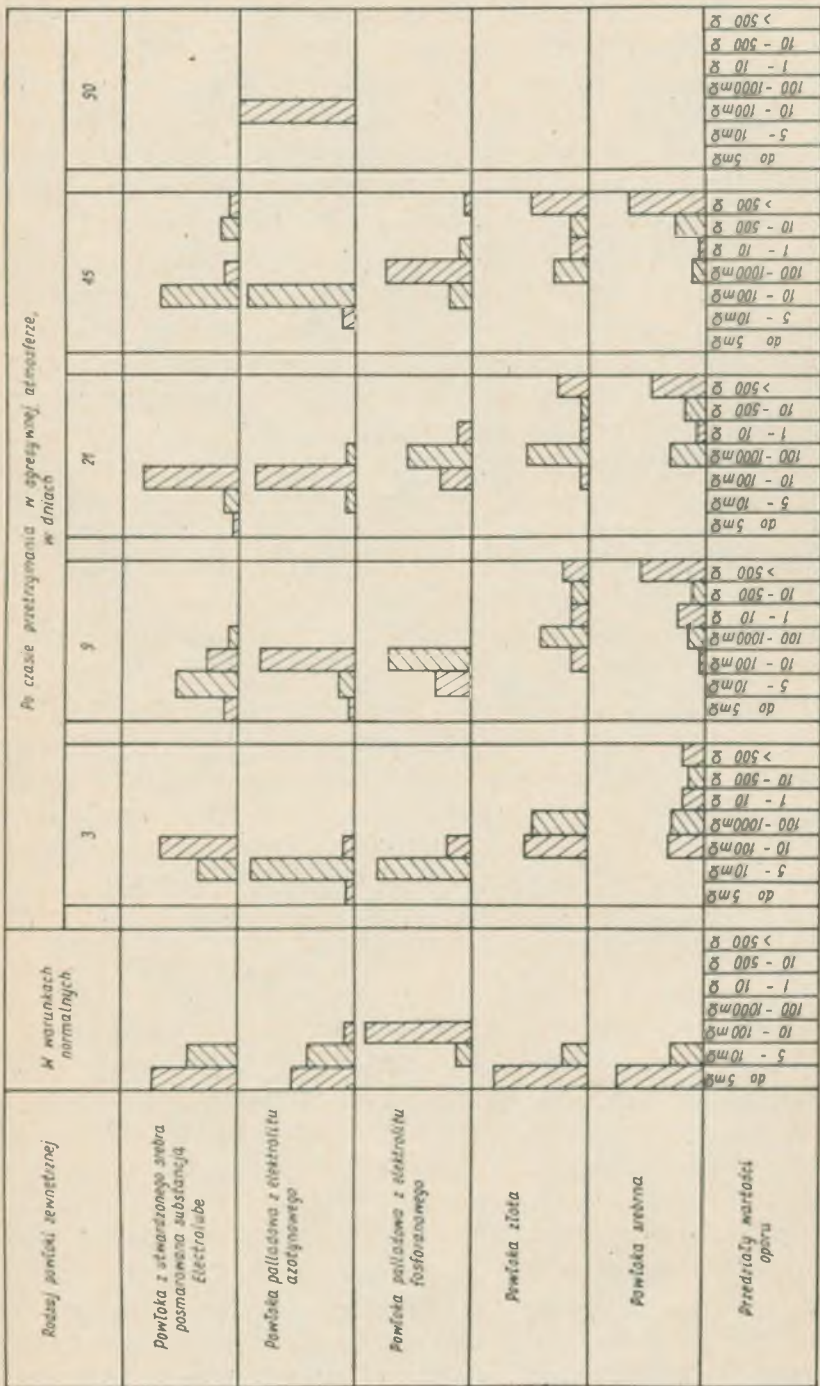
Rys. 2. Histogramy rozkładu oporu elementów stykowych dla różnych rodzajów powłok ochronnych
Stężenie siarkowodoru 0,02%, nacisk stykowy 50 G



Rys. 4. Histogramy rozkładu oporu elementów stykowych dla różnych rodzajów powłok ochronnych
Stężenie siarkowodoru 0,2%, nacisk stykowy 200 G



Rys. 5. Histogramy rozkładu oporu elementów stykowych dla różnych rodzajów powłok ochronnych
Stężenie siarkowodoru 0,2%, nacisk stykowy 50 G



Rys. 6. Histogramy rozkładu oporu elementów stykowych dla różnych rodzajów powłok ochronnych
Stężenie siarkowodoru 0,2%, nacisk stykowy 10 G

Mniejszą odporność na oddziaływanie agresywnej atmosfery wykazały niespodziewanie także powłoki ze złota, gdyż przy stężeniu siarkowodoru 0,2% i nacisku stykowym 10 G znaczna liczba elementów stykowych z powłoką ze złota wykazywała po 45 dniach przebywania w agresywnej atmosferze opór przejścia ponad 500 Ω , czyli taki prawie opór, jak powłok ze srebra. Niewiele lepiej zachowywały się elementy stykowe z powłoką ze złota w atmosferze o małym stężeniu siarkowodoru, co może być skutkiem tylko złej jakości powłok ze złota.

Najgorsze własności ochronne wykazały, jak należało spodziewać się, powłoki srebrne. I tak już po 3 dniach przebywania w atmosferze o stężeniu siarkowodoru 0,2% duża liczba elementów stykowych z tymi powłokami wykazywała przy nacisku stykowym 10 G wzrost oporu przejścia do wartości ponad 500 Ω , przy czym liczba takich elementów zwiększała się oczywiście z upływem czasu. Sytuacja ta nie polepszała się nawet przy nacisku stykowym 200 G, gdyż już po 9 dniach przebywania elementów stykowych z powłoką srebrną w atmosferze o stężeniu 0,2% siarkowodoru występował znaczny wzrost oporu przejścia zestyków. Natomiast przy małym stężeniu siarkowodoru i dużym nacisku stykowym opór powłok srebrnych, nawet po dłuższym czasie ich przebywania w agresywnej atmosferze, był jeszcze zadowalający.

Znacznie lepiej zachowują się w atmosferze siarkowodoru elementy stykowe z powłoką z utwardzonego srebra, posmarowane substancją Electrolube Nr 2, jednakże po pewnym czasie elementy te pokrywają się ciemnym nalotem, co świadczy, iż substancja Electrolube nie chroni ich całkowicie przed działaniem siarkowodoru. Działanie ochronne substancji jest tym mniejsze, im większe jest stężenie siarkowodoru w atmosferze oraz im dłużej ona działa, a wpływ wytwarzanego nalotu tym większy, im mniejszy jest nacisk stykowy.

2.3.2.3. Stan powierzchni powłok. Zalety powłok z palladu uwidoczniły się również w wyglądzie ich powierzchni. I tak oględziny pojedynczych elementów stykowych (wtyków nożowych) wykazały, że powłoki palladowe otrzymane z elektrolitu azotynowego były błyszczące oraz prawie bez śladów produktów korozji, nawet jeszcze po 90 dniach przebywania w atmosferze o zawartości 0,2% siarkowodoru. W tych samych warunkach elementy złożone miały już całą powierzchnię pokrytą matowym czarno-szarym nalotem z brązowymi plamami, najprawdopodobniej wskutek nieodpowiedniej jakości złączenia.

Natomiast powłoki ze srebra pokrywały się jasnoszarym, mieniącym się nalotem już po 45 dniach przebywania w atmosferze o zawartości 0,02% siarkowodoru. Nie chroni je przed tą atmosferą także smarowanie substancją Electrolube Nr 2, ponieważ elementy posmarowane powyższą

substancją miały po 45 dniach powierzchnię matową, barwy ciemno-zielono-niebiesko-żółtawej, podczas gdy w atmosferze normalnej elementy te miały powierzchnię błyszczącą.

2.3.2.4. Lutowność powłok. Próby lutowności, po przebywaniu pojedynczych elementów stykowych w agresywnej atmosferze, wykazały możliwość lutowania nieoczyszczanych elementów stykowych z powłoką palladową nawet po 90 dniach znajdowania się w atmosferze o stężeniu siarkowodoru 0,2%.

Elementy stykowe z powłoką z utwardzonego srebra posmarowane substancją Electrolube mogły być lutowane bez trudu po 45 dniach przebywania w atmosferze normalnej, podczas gdy po 45 dniach przebywania ich w atmosferze o stężeniu siarkowodoru 0,02% lutowanie było już bardzo utrudnione. Natomiast powłoki srebrne niesmarowane oraz powłoki złote po przebywaniu w atmosferze o stężeniu 0,02% siarkowodoru nie nadawały się do lutowania bez uprzedniego oczyszczenia.

3. WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych badań można stwierdzić, co następuje:

1. Powłoka palladowa otrzymana z elektrolitu azotynowego stanowi zadowalającą ochronę elementów stykowych złączy stykowych przed wpływem agresywnej atmosfery. Opór przejścia tej powłoki nawet po wielodniowym oddziaływaniu agresywnej atmosfery wzrasta tylko nieznacznie, przy czym powłoka ta zachowuje w dalszym ciągu zdolność do lutowania.

2. Powłoka z palladu jest pewniejszym zabezpieczeniem przed czynnikami atmosferycznymi niż powłoka z utwardzonego srebra, smarowana substancją Electrolube. Substancja ta reaguje bowiem z siarkowodorem i traci w dużej mierze własności ochronne po dłuższym czasie oddziaływania agresywnej atmosfery.

Trzeba jednak zaznaczyć, iż wytwarzający się przy tym ciemny lub czarny nalot jest bardzo miękki i niszczony nawet przy małym nacisku stykowym, co w efekcie nie powoduje nadmiernego wzrostu oporu zestyku.

3. Badania kompletnych złączy stykowych w stanie złączonym wykazały, że badane złącza powinny pracować niezawodnie nawet wtedy, gdy ich elementy stykowe będą zabezpieczone tylko powłoką srebrną. Nawet bowiem w przypadku dłuższego przebywania złączy stykowych w agresywnej atmosferze w stanie rozłączonym wytworzona na ich elementach warstewka siarczku srebra zostaje zniszczona przez tarcie podczas wkła-

dania styków do gniazd, dzięki czemu rzeczywiste powierzchnie styku stają się znów metalicznie czyste.

4. Ponieważ jednak w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych, wskutek oddziaływania różnych czynników (na przykład stopniowej utraty sprężystości sprężyn stykowych spowodowanej relaksacją), możliwy jest z upływem czasu spadek nacisku współpracujących ze sobą elementów stykowych, złącza stykowe, od których wymaga się dużej niezawodności, powinny mieć elementy stykowe zabezpieczone powłoką palladową. Również inne typy złączy stykowych, które ze względów konstrukcyjnych nie mogą zapewnić odpowiednio dużego nacisku stykowego, powinny mieć elementy palladowane lub złożone.

WYKAZ LITERATURY

1. *Axentowicz M., Mrówczyński G.*: Powłoki z metali szlachetnych na styki słaboprądowe. *Tele-Radio (Nowa Technika)* (1966) (25) 53/62.
2. *Antler M.*: Current topics in the surface chemistry of electric contacts. *IEEE Trans. Parts, Materials, Packaging* (1966) (3) 59/67.
3. *Kroupová A.*: Palladiovani plošnych spoju. *Slaboproudy Obzor* (1966) (5) 313/5.
4. *Gardner Foulke D., Rinner E. C.*: Edelmetall- Galvanotechnik für Kontaktflächen. *Galvanotechnik* (1965) (11) 679/84.
5. *Reid F. H.*: Palladium plating. Processes and applications in the United Kingdom. *Plating* (1965) (6) 531/9.
6. *Sysojewa W. W., Tichonowa M. W.*: Elektroliticheskie rodirowanje i palladirowanje dla kontaktow telefonnoj apparatury. *Nauczno-Tiechn. Biulletień NIITS* (1958) (1) 133/5.
7. *Biestek T., Kozłowska A.*: Opracowanie technologii palladowania. *Instytut Mechaniki Precyzyjnej* (1966).
8. *Axentowicz M., Kowalska H., Mrówczyński G.*: Palladowanie styków małoprądowych. *Przegl. Elektrot.* (1966) (12) 521/4.
9. *Beattie R.*: Palladium plating on telephone plugs and sockets. *Platinum Metals Rev.* (1962) (2) 52/6.
10. *Angus H. C.*: Wear and contact resistance of electrodeposited contacts. *Design Electronics* (1966) (8) 34/7.
11. *Hentsch A.*: Untersuchungen an Pd-geschützten Steckkontakten. IX Internat. Kolloquium Techn. Hochschule Ilmenau (1964), *Werkstoffkunde* 7/12.
12. *Beattie R. W., Forshaw G., Leney E. N.*: Design, material and performance of plugs and sockets for electronic switching application. *ATE Journ.* (1962) (1) 31/46.
13. *Bedetti F. V., Chiarenzelli R. V.*: Porosity testing of electroplated gold in gelled media. *Plating* (1966) (3) 305/8.
14. *Noonan H. J.*: Electrographic determination of porosity in gold electrodeposits. *Plating* (1966) (4) 461/70.
15. *Ulsh H. B.*: Current ideas in the philosophy of testing electrical contacts. *IEEE Trans. Parts, Materials, Packaging* (1966) (3) 68/70.

16. *Wolniewicz J.*: Badania nad celowością stosowania substancji Electrolube w celu polepszenia niezawodności pracy zestyków. Instytut Łączności, Miedzeszyn (1965).
17. *Griliches S. Ja., Isakowa D. S., Kulikowa L. J.*: Elektroliticheskoje počuczenie sieriebrianych i zołotykh pokrytij powyszennoj twierdosti i iznosoustojczivosti. Elektriczeskije Kontakty, Energia, Moskwa (1967) 487/99.
18. *Socha J., Żak T.*: Badania nad złoceniem z polyskiem. Prace IMP (1962) (37) 1/6.

Ц. Невядомски, А. Стобецка, Я. Вольневич

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИСКЛЮЧИТЬ ЗЛОЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ШТЕПСЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Резюме

Рассматривается возможность заменить золочение элементов штепсельных соединений в устройствах электросвязи палладированием и возможность применять контактные элементы покрытые только серебром с увеличенной твердостью, а также покрытые серебром и смазываемые веществом Electrolube.

В итоге исследований получено, что золочение можно заменить палладированием и что качество палладиевого покрытия полученного в гальванической ванне с нитритом аминопалладия лучше чем качество покрытия полученного с фосфатным электролитом.

C. Niewiadomski, A. Stobiecka, J. Wolniewicz

RESEARCHES ON THE POSSIBILITY OF ELIMINATION OF THE GOLD PLATED CONNECTORS FOR TELECOMMUNICATION EQUIPMENTS

Summary

The paper deals with the possibility of replacement of the gold plated connectors for telecommunication equipments by the palladium plated ones and the possibility of applying the connectors with a single hardened silver coating, eventually lubricated with a substance Electrolube.

As a result of the researches it is stated that the golden coating may be replaced by the palladium coating and that the quality of coating obtained in the amino-palladium nitrite bath was better than this obtained in the phosphate bath.

C. Niewiadomski, A. Stobiecka, J. Wolniewicz

RECHERCHES SUR LA POSSIBILITÉ D'ÉLIMINER LA DORURE DES CONTACTS
DE CONNECTEURS DE TÉLÉCOMMUNICATION

R é s u m é

On discute la possibilité de remplacer le revêtement en or des contacts de connecteurs de télécommunication par le revêtement en palladium ainsi que la possibilité d'utiliser des contacts n'ayant qu'un seul revêtement en argent de dureté augmentée ou des contacts argentés lubrifiés avec la substance Electrolube.

En résultat des recherches on a constaté, que le revêtement en or peut être remplacé par le revêtement en palladium et que la qualité d'un revêtement en palladium déposé en bain de nitrate aminopalladioux est meilleure que celle du revêtement déposé en bain de phosphate.

C. Niewiadomski, A. Stobiecka, J. Wolniewicz

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE MÖGLICHKEIT DES WEGSCHAFFENS DER
VERGOLDUNG VON SCHALTELEMENTKONTAKTEN FÜR DIE FERNMELDEAN-
LAGEN

Z u s a m m e n f a s s u n g

Es wird die Möglichkeit die Vergoldung der Fernmeldeschaltkontakte durch ihre Palladierung zu ersetzen und die Möglichkeit der Verwendung der Verbindungsschaltelemente mit nur einem Überzug aus gehärtetem Silber, die eventuell mit der Substanz Electrolube geschmiert werden, besprochen.

Als Resultat der Untersuchung hat es sich herausgestellt, dass die Vergoldung mit Palladierung ersetzt werden kann und dass die Qualität des Überzuges der im Aminopalladiumnitritbad entsteht höher ist als die Qualität des Überzuges der im Phosphatbad erreicht wird.

ZBIGNIEW FRYDRYCH

621.3.019.3 : 621.395.74

WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI RELACJI TELEFONICZNYCH I METODY ICH OBLICZANIA

Rękopis dostarczono do Komitetu Redakcyjnego dnia 3. VI. 1968 r.

Niniejsze opracowanie stanowi próbę określenia modelu niezawodnościowego relacji telefonicznej. Zasadniczym założeniem przy tym przyjętym jest ograniczenie się wyłącznie do dwóch typów uszkodzeń występujących w sieci linii telefonicznych: uszkodzeń grup podstawowych oraz uszkodzeń odcinków linii.

Wprowadzono dwa podstawowe wskaźniki charakteryzujące niezawodność relacji: współczynnik gotowości oraz operacyjną efektywność działania. Pierwszy z nich charakteryzuje relację pod względem ciągłości pracy, drugi — określa liczbę przeciętnie czynnych łącz.

Opisano metody obliczania wprowadzonych wskaźników. W zakończeniu przytoczono przykład analizy niezawodności relacji

WSTĘP

Jednym z wymagań, jakie stawia się nowoczesnej sieci telekomunikacyjnej jest żądanie zapewnienia określonej pewności jej działania (niezawodności działania). Stawianie takiego wymagania zakłada, że znane są odpowiednie metody matematyczne, pozwalające na liczbową ocenę niezawodności.

Metody analizy niezawodności sieci telekomunikacyjnych znajdują się jeszcze w początkowym stanie rozwoju i właściwie brak dotąd pełniejszych opracowań, uwzględniających specyficzne właściwości sieci. Niniejsza praca stanowi próbę określenia modelu niezawodnościowego relacji telefonicznej i zdefiniowania opartych o ten model wskaźników (miar) niezawodności relacji.

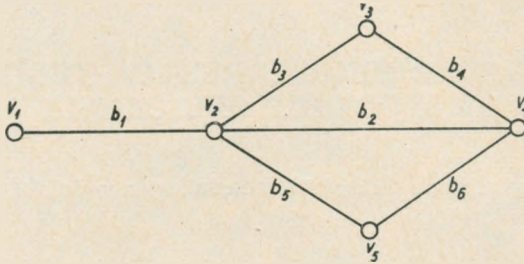
1. PODSTAWOWE OKREŚLENIA *)

Jako przedmiot badania przyjmuje się następujący obiekt. Dana jest sieć linii telefonicznych utworzona przez zbiór węzłów sieci $\{v_j\}$ oraz

*) Autor pragnie się zastrzec, że użyte przez niego nazewnictwo wprowadzonych pojęć może być dyskusyjne.

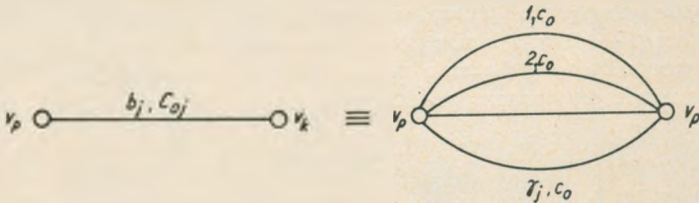
przez zbiór odcinków linii $\{b_j\}$ łączących określone pary węzłów. Przykład sieci linii, utworzonej z pięciu węzłów i sześciu odcinków jest pokazany na rys. 1.

Odcinki linii zawierają C_{0j} łączy. Wiązka łączy odcinka b_j jest podzielona na γ_j grup podstawowych (pierwotnych, wtórnych itd.), przy czym



Rys. 1. Przykład sieci linii utworzonej z pięciu węzłów i sześciu odcinków

zdolność przepustowa (liczba łączy) grupy podstawowej jest stała dla danej sieci i równa c_0 łączy. Zatem $C_{0j} = \gamma_j c_0$. Odcinek sieci linii i odpowiadający jemu układ grup podstawowych jest pokazany na rys. 2.



Rys. 2. Odcinek sieci linii i odpowiadający jemu układ grup podstawowych

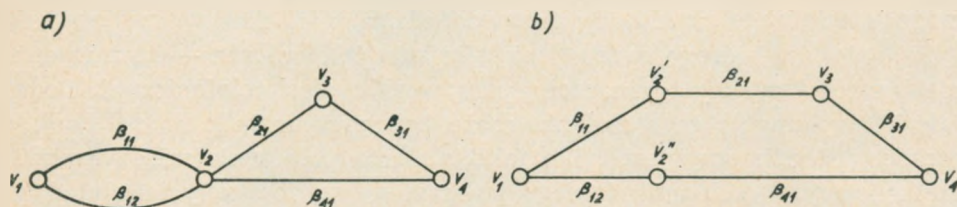
W sieci łączy tworzone są drogi połączeniowe. Droga połączeniowa służy do połączenia dwóch dowolnych węzłów sieci wiązką łączy, której przepustowość C_d jest co najwyżej równa przyjętej dla danej sieci przepustowości grupy podstawowej, tj. $0 < C_d \leq c_0$. Wiązkę łączy tworzącą drogę połączeniową między dwoma węzłami połączonymi jednym odcinkiem linii nazywa się grupą łączy (β). Droga połączeniowa może przechodzić przez inne węzły sieci — węzły tranzytowe (pośrednie). W takim wypadku droga połączeniowa tworzona jest przez kaskadowe łączenie grup łączy kolejnych odcinków linii.

Rozróżnia się drogi pierwotne i drogi zastępcze. Droga pierwotna to droga, zestawiona na początku okresu eksploatacji sieci łączy. Droga zastępcza — droga utworzona w czasie eksploatacji sieci. Droga pierwotna charakteryzuje się tym, że wszystkie grupy łączy (β_i, β_j, \dots) tworzące drogę mają jednakową przepustowość ($c_i = c_j = \dots$), zatem przepustowość drogi pierwotnej $C_d = c_i = c_j = \dots$. Natomiast droga za-

stępcza zestawiona może być z grup łączy o różnej przepustowości, dlatego przepustowość drogi zastępczej jest określona jako $C_d = \min \{c_i, c_j, \dots\}$, tj. równa się przepustowości najmniejszej z grup tworzących tę drogę.

Zbiór dróg połączeniowych pierwotnych łączących dwa węzły sieci v_p i v_k nazywa się relacją telefoniczną między węzłami v_p i v_k . Drogi połączeniowe należące do tej samej relacji mogą przebiegać różnymi trasami, tj. przez różne węzły tranzytowe.

Wyróżnia się dwa przypadki relacji. Relacja nieprzełączalna — to relacja, w której nie dopuszcza się tworzenia dróg zastępczych. Jeżeli natomiast możliwe jest dokonywanie w węzłach tranzytowych zmian układu połączeń między grupami łączy tak, że pewne drogi pierwotne są likwidowane i z grup tworzących te drogi zestawia się nowe drogi — drogi zastępcze, to relacja nazywa się przełączalną.



Rys. 3. Przykład relacji V_1-V_4 : a) w wersji przełączalnej, b) w wersji nieprzełączalnej

Przykład relacji jest pokazany na rys. 3. W wersji przełączalnej (rys. 3a), w której drogami pierwotnymi są, na przykład, drogi $\{\beta_{11}, \beta_{21}, \beta_{31}\}$ i $\{\beta_{12}, \beta_{41}\}$, można utworzyć drogi zastępcze $\{\beta_{11}, \beta_{41}\}$ i $\{\beta_{12}, \beta_{21}, \beta_{31}\}$. W wersji nieprzełączalnej istnieją tylko drogi pierwotne. Brak możliwości dokonywania przełączeń w węzłach tranzytowych (na rysunku węzeł v_2) podkreśla się przez rozszczepianie tych węzłów na części (rys. 3b).

Zbiór relacji telefonicznych tworzy sieć linii telefonicznych. Wprowadza się założenie, że podział (rozpływ) łączy sieci linii między poszczególne relacje został w pewien sposób już dokonany i że nie ulega żadnym zmianom w rozpatrywanym okresie eksploatacji. Założenie takie oznacza, że żadna grupa łączy β nie może być użytkowana w więcej niż jednej relacji. Relację, dla której założenie takie jest spełnione nazywa się relacją niezależną. Praktyczną konsekwencją przyjęcia niezależności relacji jest to, że badanie niezawodności sieci łączy telefonicznych może być zastąpione badaniem niezawodności każdej relacji oddzielnie.

Wprowadza się ponadto założenie, że relacje są bez nadmiarowości, bez łączy rezerwowych. Założenie to oznacza, że każda z grup łączy należących do danej relacji bierze udział w jednej drodze połączeniowej (pierwotnej) i że usunięcie każdej grupy likwiduje (przerzywa) jedną drogę.

2. OKREŚLENIE MODELU NIEZAWODNOŚCIOWEGO NIEZALEŻNEJ RELACJI

Niezawodność obiektu jest definiowana jako zdolność obiektu do wykonywania wyznaczonego zadania w określonym czasie przy określonych warunkach eksploatacji. Należy zatem sprecyzować wszystkie czynniki mające wpływ na niezawodność obiektu. Należą do nich: sposób oceny jakości wykonania zadania, początkowy stan fizyczny obiektu i jego zmiany w czasie, warunki zewnętrzne i eksploatacyjne oraz przedział czasu, dla którego określa się niezawodność.

Zadanie, dla którego tworzona jest relacja telefoniczna — to utrzymanie łączności między wyznaczoną parą węzłów sieci telefonicznej. Ocena jakości wykonania tego zadania może być przeprowadzona w dwojaki sposób. Jeżeli istotny jest tylko fakt istnienia połączenia między węzłami końcowymi (lub brak takiego połączenia), to do oceny jakości działania relacji wystarczy dwupunktowa skala ocen. Dwupunktową skalę ocen określa się w następujący sposób:

$$F(x_j) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x_j \in \Omega^+ \\ 0 & \text{dla } x_j \in \Omega^- \end{cases} \quad (1)$$

gdzie

$F(x_j)$ — oznacza współczynnik efektywności relacji (współczynnik jakości wykonania zadania), znajdującej się w stanie x_j ,

Ω^+ i Ω^- — rozłączne zbiory stanów relacji, w których istnieje lub nie istnieje połączenie (co najmniej jedna droga połączeniowa) między węzłami końcowymi.

Jeżeli poza stwierdzeniem istnienia lub braku połączenia w relacji istotne jest jeszcze ocenienie relacji pod względem ilości czynnych w danej chwili łączy (dróg połączeniowych), to stosować należy wielopunktową skalę ocen. W takim przypadku współczynnik efektywności relacji jest równy

$$F(x_j) = \frac{C_r(x_j)}{C_{r0}} \quad (2)$$

gdzie

$C_r(x_j)$ — liczba czynnych łączy, gdy relacja znajduje się w stanie x_j ,

C_{r0} — zainstalowana (nominalna) przepustowość relacji.

Stan fizyczny relacji jest wyznaczony układem pierwotnych dróg połączeniowych relacji. Pierwotna struktura sieci relacji podlega w czasie zmianom wywołanym zmianami stanu jej elementów składowych. Elementami składowymi sieci relacji są grupy łączy łączące węzły sieci linii. Węzły sieci nie są traktowane jako elementy sieci, gdyż zakłada się, że stan ich nie może ulegać zmianom (węzły są niezawodne).

Stan elementu składowego relacji (grupy łączy) jest określony zdolnością elementu do prawidłowego wykonywania zadania. Zdolność ta ulega ograniczeniom spowodowanym uszkodzeniami. W ogólnym przypadku należy rozróżniać uszkodzenia przypadkowe, naturalne i przemijające. W niniejszych rozważaniach uwzględnia się wyłącznie uszkodzenia przypadkowe. Uszkodzenia takie charakteryzują się skokową zmianą stanu elementu, przy czym element znajdować się może wyłącznie w dwóch stanach: stan pełnej sprawności do wykonania zadania (połączeń telefonicznych) oraz stan uszkodzenia, w którym utrzymanie łączności nie jest możliwe.

Zmiana stanu elementu zachodzi w sposób przypadkowy, gdyż okresy sprawnego stanu i okresy restytucji (przywracania pełnej zdolności do pracy) elementu są zmiennymi losowymi. Zakłada się przy tym, że zmienne te są niezależne. W teorii niezawodności stan takiego elementu opisuje się procesem uszkodzeń i restytucji [1], który jest procesem stochastycznym typu skokowego.

Proces uszkodzeń i restytucji zależy od warunków zewnętrznych i eksploatacyjnych — zespół tych warunków nazywa się otoczeniem obiektu. W ogólnym przypadku otoczenie zmienia się w czasie, przy czym zmiany te mają również charakter losowy. Z praktycznych względów ogranicza się jednak badanie obiektu do takiego przedziału czasu, w którym można, że zmienność otoczenia wywiera pomijalnie mały wpływ.

Zakłada się dalej, że przedział czasu, dla którego określona jest niezawodność relacji, znajduje się dostatecznie daleko od momentu pierwszego uruchomienia relacji. Określenie — dostatecznie daleko — rozumieć należy w ten sposób, że od chwili uruchomienia relacji do początku rozpatrywanego przedziału czasu każdy z elementów relacji zdążył się kilkakrotnie uszkodzić. Założenie to oznacza, że proces uszkodzeń i restytucji relacji osiągnął stan ustalony, w którym oczekiwane wartości wskaźników niezawodności nie zależą od czasu.

Jako podstawowy wskaźnik niezawodności elementów sieci relacji przyjmuje się współczynnik gotowości K_i określony zależnością:

$$K_i = \frac{T_{0i}}{T_{0i} + T_{ri}} \quad (3)$$

Wyrażenie to jest słuszne dla dowolnych dystrybuant czasu sprawnej

pracy i czasu restytucji, o przeciętnym czasie sprawnego stanu T_0 i przeciętnym czasie restytucji T_r . Dla rozkładów wykładniczych z intensywnością uszkodzeń λ i intensywnością restytucji μ współczynnik gotowości jest równy

$$K_i = \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} \quad (4)$$

Współczynnik gotowości elementu może być interpretowany jako prawdopodobieństwo, że w dowolnej chwili czasu element znajduje się w stanie sprawnym do pracy lub jako oczekiwana część czasu, w którym element przebywa w stanie zdolnym do wykonywania zadania.

3. UKŁAD NIEZAWODNOŚCIOWY RELACJI

Zmiany stanu elementów składowych relacji wywołane są uszkodzeniami i naprawami w sieci łączy. Zakłada się, że w sieci łączy występować mogą dwa typy uszkodzeń przypadkowych: uszkodzenia podstawowych grup łączy oraz uszkodzenia odcinków linii.

Uszkodzenie podstawowej grupy łączy w sieci linii pociąga za sobą przerwanie grupy łączy (drogi połączeniowej) relacji, utworzonej za pomocą łączy tej grupy podstawowej. Przyczyną uszkodzeń tego typu mogą być, na przykład, uszkodzenia urządzeń stacyjnych w węzłach związanych z odcinkiem linii, a obsługujących daną grupę podstawową.

Uszkodzenia odcinków linii wywołują przerwę w łączności we wszystkich łączach danego odcinka, tj. wywołują przestój wszystkich grup podstawowych, na które podzielona jest wiązka łączy odcinka. Z przyczyn pojawienia się uszkodzeń tego typu można przykładowo wymienić uszkodzenie kabla lub linii napowietrznej, za pomocą której jest realizowana łączność między węzłami sieci lub awaria przelotowej stacji wzmacniającej.

Tworzenie schematu niezawodnościowego obiektu opiera się na zasadzie, że każda cecha obiektu, mająca wpływ na niezawodność, jest reprezentowana przez oddzielny element niezawodnościowy. Zgodnie z tą zasadą, w układzie niezawodnościowym relacji będą występowały dwa rodzaje elementów: elementy reprezentujące niezawodność grup łączy relacji (która jest równa niezawodności podstawowych grup sieci linii) oraz elementy reprezentujące niezawodność odcinków linii sieci łączy.

Jeżeli sieć relacji składa się z n grup łączy, które należą do k odcinków sieci łączy, to łączna ilość niezawodnościowych elementów relacji $N = n + k$.

Elementy niezawodnościowe są między sobą w pewien sposób łączone, przy czym zakłada się, że punkty, w których dokonuje się połączeń, nie

ulegają zmianom (są niezawodne). Połączenie elementów niezawodnościowych wynika z wpływu tych elementów na ogólną niezawodność relacji oraz ze struktury sieci łączy. Ogólnie mówiąc, elementy, których sprawny stan jest warunkiem sprawnej pracy całego obiektu, należy łączyć szeregowo, natomiast łączenie równoległe stosuje się wtedy, gdy dla sprawnej pracy pewnej grupy elementów jest wymagany sprawny stan co najmniej jednego elementu tej grupy.

Na rysunku 4 podane są przykłady fizycznej struktury sieci relacji oraz odpowiadające im układy niezawodnościowe: a) odcinek sieci linii z dwiema grupami podstawowymi, b) relacja nieprzełączalna o dwóch drogach połączeniowych przebiegających częściowo różnymi trasami, c) ta sama relacja, lecz w wersji przełączalnej.

4. WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI RELACJI

Układ złożony z N elementów niezawodnościowych może znajdować się w jednym z 2^N stanów, określonych przez chwilowy stan elementów (sprawny lub uszkodzony). Zbiór stanów układu $\{x_j\}$ ($j = 1, 2, \dots, 2^N$) oznaczono przez Ω . Jeżeli dla każdego stanu x_j można określić współczynnik efektywności stanu $F(x_j)$, to jako wskaźnik charakteryzujący jakość wykonania zadania przez układ (relację) przyjmuje się następującą wielkość:

$$F = \sum_{j=1}^{2^N} F(x_j) P(x_j) \quad (5)$$

gdzie — $P(x_j)$ — prawdopodobieństwo wystąpienia stanu x_j . Oczywiście

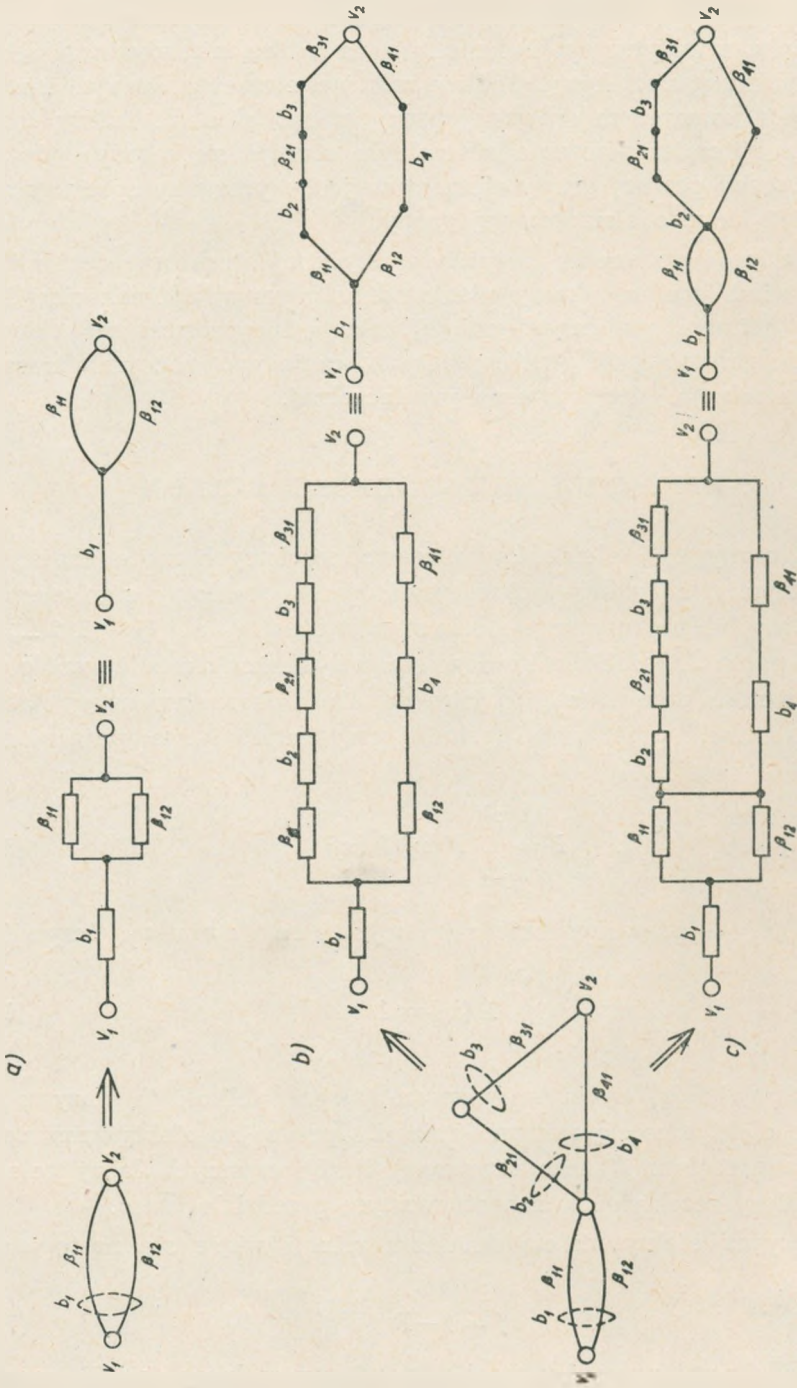
$$\sum_{j=1}^{2^N} P(x_j) = 1 \quad (6)$$

Jeżeli przyjąć $F(x_j)$ określony wzorem (2), to wielkość (5) nazywa się operacyjną efektywnością działania relacji. Operacyjna efektywność relacji wyraża przeciętną (znormalizowaną) liczbę czynnych łączy relacji, których należy oczekiwać w rozpatrywanym przedziale czasu.

Z operacyjną efektywnością działania relacji wiąże się następujący wskaźnik:

$$f = 1 - F \quad (7)$$

który określa oczekiwane (znormalizowane) straty łączy relacji, spowodowane uszkodzeniami elementów układu.



Rys. 4. Przykłady sieci relacji i odpowiadające im układy niezawodnościowe: a) odcinek sieci linii z dwiema grupami podstawowymi, b) relacja nieprzełączalna o dwóch drogach połączeniowych przebiegających częściowo różnymi trasami, c) relacja jak w p. b, lecz w wersji przełączalnej

Jeżeli we wzorze (5) przyjąć współczynnik efektywności stanu $F(x_j)$ określony wzorem (1), to

$$\sum_{j=1}^{2N} F(x_j) P(x_j) = \sum_{x_j \in \Omega^+} P(x_j),$$

gdzie Ω^+ oznacza podzbiór stanów x_j , dla których $F(x_j) = 1$. Otrzymaną w tym wypadku wielkość nazywa się współczynnikiem gotowości relacji i oznacza przez K :

$$K = \sum_{x_j \in \Omega^+} P(x_j) \quad (8)$$

Współczynnik gotowości K można interpretować jako prawdopodobieństwo, że w dowolnej chwili można uzyskać co najmniej jedno połączenie (jest sprawna co najmniej jedna droga połączeniowa) między węzłami końcowymi relacji, albo też jako oczekiwaną część rozpatrywanego przedziału czasu, w której czynna jest co najmniej jedna droga połączeniowa relacji. Potocznie, chociaż nieprecyzyjnie, wskaźnik K nazywa się niezawodnością relacji.

Ze współczynnikiem gotowości wiąże się inny wskaźnik — współczynnik przestoju relacji K_p :

$$K_p = 1 - K \quad (9)$$

Współczynnik przestoju K_p określa prawdopodobieństwo, że w dowolnej chwili połączenie w relacji nie jest możliwe do uzyskania, albo oczekiwaną część czasu, w którym relacja znajduje się w stanie niesprawnym.

Współczynnik gotowości do pracy K oraz operacyjna efektywność działania relacji F są ważnymi charakterystykami uwzględniającymi możliwość jednoczesnego wystąpienia w sieci relacji dowolnej ilości uszkodzeń. Jeżeli przez m oznaczyć liczbę jednocześnie pojawiających się uszkodzeń elementów składowych, to uwzględniona jest każda wartość m , $m = 0, 1, \dots, N$. Liczba rzeczywiście pojawiających się jednocześnie uszkodzeń ν jest zmienną losową, której rozkład prawdopodobieństwa może być aproksymowany rozkładem *Poissona* (rozkładem rzadkich zjawisk):

$$P\{\nu = m\} = P_m = \frac{a^m}{m!} e^{-a} \quad m = 0, 1, \dots, N \quad (10)$$

Rozkład ten charakteryzuje się tym, że (przy $a \leq 1$) prawdopodobieństwa wystąpienia jednocześnie m uszkodzeń bardzo silnie maleją w miarę wzrostu wartości m .

Z powyższego względu może być celowe zbadanie niezawodności relacji w zależności od liczby jednocześnie występujących uszkodzeń elementów składowych. Dla oceny niezawodności relacji mogą być użyte w takim przypadku następujące wskaźniki:

Prawdopodobieństwo wystąpienia w sieci relacji równo m uszkodzeń

$$P_m = \sum_{x_j \in \Omega^m} P(x_j) \quad (11)$$

gdzie Ω^m oznacza podzbiór stanów x_j , w których uszkodzonych jest równo m elementów.

Oczekiwana wartość strat łączy spowodowanych wystąpieniem w sieci relacji równo m uszkodzeń

$$f_m = \sum_{x_j \in \Omega^m} [1 - F(x_j)] P(x_j) \quad (12)$$

Wskaźniki F i f_m związane są następującą zależnością

$$F = 1 - \sum_{m=0}^N f_m, \quad (13)$$

gdyż

$$\sum_{m=0}^N f_m = f$$

Można również zauważyć, że zgodnie ze wzorem (6)

$$\sum_{m=0}^N P_m = 1 \quad (14)$$

5. METODY OBLICZANIA WSPÓŁCZYNNIKA GOTOWOŚCI

Współczynnik gotowości K może być obliczony z danych, otrzymywanych w trakcie obliczania operacyjnej efektywności działania relacji (rozdz. 6). Tym samym można by nie podawać oddzielnie sposobów obliczania tego współczynnika. Jednakże w praktyce mogą występować przypadki, gdy istotne jest określenie jedynie wartości współczynnika gotowości relacji. Dlatego też celowe będzie oddzielne omówienie metod obliczania K , tym bardziej, że metody te są względnie proste i w stosunku do metod obliczania efektywności nie wymagają tak dużej ilości działań. Współczynnik gotowości można obliczyć trzema metodami, omówionymi poniżej.

Metoda układów blokowych [2]. Zgodnie z definicją współczynnika gotowości wyrażoną wzorem (8)

$$K = \sum_{x_j \in \Omega^+} P(x_j) = P(\Omega^+) \quad (8a)$$

współczynnik K jest równy prawdopodobieństwu prawidłowej pracy relacji $P(\Omega^+)$, gdzie Ω^+ oznacza podzbiór stanów x_j relacji, charakteryzu-

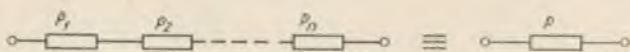
jących się tym, że połączenie między węzłami końcowymi nie jest przezwane mimo uszkodzeń niektórych elementów składowych niezawodnościowego układu relacji.

Metoda układów blokowych jest zwykle stosowana w analizie niezawodności układów elektrycznych i opiera się na następujących zasadach.

Jeżeli układ niezawodnościowy jest układem szeregowo-równoległym, to znaczy, że złożony jest wyłącznie z elementów i grup elementów połączonych między sobą szeregowo lub równoległe, to dla obliczenia prawdopodobieństwa prawidłowej pracy takiego układu stosuje się następujące zasady.

Zasada 1. Prawdopodobieństwo niezawodnej pracy grupy, złożonej z szeregowo połączonych elementów, równa się iloczynowi prawdopodobieństw sprawnej pracy elementów składowych tej grupy:

$$p = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n \quad (15)$$



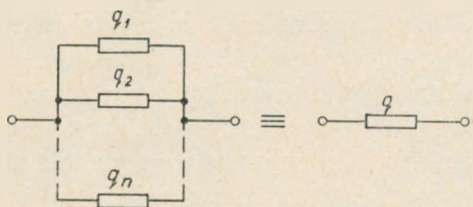
Rys. 5. Graficzna ilustracja wzoru (15)

Zasada 2. Prawdopodobieństwo niezawodnej pracy grupy, złożonej z równoległe połączonych elementów, równa się

$$p = 1 - q \quad (16)$$

gdzie q oznacza prawdopodobieństwo uszkodzenia grupy, równe iloczynowi prawdopodobieństw uszkodzenia elementów składowych:

$$q = q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_n \quad (17)$$



Rys. 6. Graficzna ilustracja wzoru (17)

Między prawdopodobieństwem sprawnej pracy p_i i prawdopodobieństwem uszkodzenia q_i i -tego elementu składowego układu zachodzi związek:

$$p_i + q_i = 1 \quad (18)$$

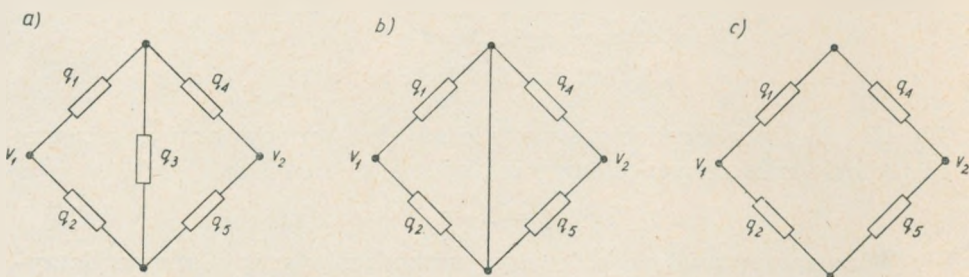
Stosując kolejno zasady 1 i 2 do poszczególnych części układu wylicza się prawdopodobieństwo niezawodnej pracy całego układu. Wielkość p jest równa szukanej wielkości $P(\Omega^+)$, występującej we wzorze (8a).

Jeżeli układ niezawodnościowy nie jest układem szeregowo-równoległym, na przykład mostkowym, to należy korzystać z twierdzenia o prawdopodobieństwie zupełnym, które w odniesieniu do analizy niezawodnościowej można sformułować w następujący sposób.

Zasada 3. Jeżeli w układzie wyróżni się pewien element (oznaczymy go przez α), to prawdopodobieństwo uszkodzenia układu równa się sumie iloczynu prawdopodobieństwa uszkodzenia tego układu przy zwartym elemencie α i prawdopodobieństwa sprawnej pracy elementu α oraz iloczynu prawdopodobieństwa uszkodzenia układu przy usuniętym elemencie α i prawdopodobieństwa uszkodzenia elementu α . Zasadę tę można zapisać w następującej postaci:

$$q = q(\alpha \text{ sprawny}) p_\alpha + q(\alpha \text{ uszkodzony}) q_\alpha \quad (19)$$

Przykład. Dla układu mostkowego pokazanego na rys. 7a obliczyć należy współczynnik przestoju.



Rys. 7. Układ mostkowy i układy pomocnicze otrzymane przy założeniu, że element 3 jest zwarty i rozwarty

W celu obliczenia prawdopodobieństwa przerwania łączności między węzłami v_1 i v_2 skorzystamy z zasady 3. Jako element wyróżniony przyjmiemy element 3, który „psuje” szeregowo-równoległe połączenie pozostałych elementów układu. Narysujemy dalej pomocnicze układy otrzymane z układu wyjściowego przy założeniu, że element 3 jest zwarty (rys. 7b) i usunięty (rys. 7c). Otrzymane układy są już układami szeregowo-równoległymi, do których można stosować zasady 1 i 2.

Otrzymujemy:

dla układu b

$$q(\alpha \text{ sprawny}) = 1 - [1 - q_1 q_2] [1 - q_4 q_5],$$

dla układu c

$$q(\alpha \text{ uszkodzony}) = [1 - p_1 p_4] [1 - p_2 p_5],$$

zatem prawdopodobieństwo uszkodzenia całego układu, zgodnie z (19), będzie równe

$$q = \{1 - [1 - q_1 q_2] [1 - q_4 q_5]\} p_3 + [1 - p_1 p_4] [1 - p_2 p_5] q_3$$

Natomiast współczynnik przestoju układu

$$K_p = q$$

Metoda zbiorów rozcinających [3], [4]. Układ niezawodnościowy relacji może być przedstawiony w postaci grafu G , którego elementy $\{e_i\}$ odpowiadają elementom niezawodnościowym relacji, a wierzchołkami są punkty, w których elementy te są między sobą połączone. W grafie tym są wyróżnione dwa wierzchołki odpowiadające końcowym węzłom relacji.

Dla grafu G wprowadza się pojęcie zbioru rozcinającego [5]. Zbiór rozcinający grafu G jest to podzbiór elementów $D : \{e_i, e_j, \dots, e_k\}$ grafu G , mający taką właściwość, że usunięcie tych elementów rozcina graf G na składowe niespójne, przy czym oba węzły końcowe znajdują się w różnych składowych. Należy przy tym zaznaczyć, że właściwości tej nie ma żaden podzbiór zbioru rozcinającego D . W grafie G występuje zwykle szereg zbiorów rozcinających $D_i, i = 1, 2, \dots, r$.

Metoda zbiorów rozcinających opiera się na stwierdzeniu, że przy uszkodzeniu wszystkich elementów zbioru rozcinającego nastąpi przerwanie połączenia między wierzchołkami końcowymi. Zatem prawdopodobieństwo przzerwania łączności jest równe prawdopodobieństwu uszkodzenia wszystkich elementów zbioru rozcinającego. Jeżeli w grafie G występuje szereg zbiorów rozcinających D_i , to prawdopodobieństwo przzerwania połączenia jest określone wzorem:

$$q = \sum_i q(D_i) - \sum_{i,j} q(D_i D_j) + \sum_{i,j,k} q(D_i D_j D_k) \dots + (-1)^{r-1} q(D_1 D_2 \dots D_r) \quad (20)$$

gdzie r oznacza liczbę zbiorów rozcinających grafu G ; indeksy i, ij, ijk, \dots oznaczają sumowanie według wszystkich wartości od 1 do r , z wyjątkiem $i = j, i = j = k, \dots$, a koniunkcje zbiorów rozcinających $D_i D_j, D_i D_j D_k, \dots$ oznaczają zbiór elementów $\{e_i\}$ wchodzących do odpowiednich zbiorów D_i, D_j, D_k, \dots

Prawdopodobieństwo $q(D_i)$ uszkodzenia (wszystkich elementów) zbioru rozcinającego D_i (lub koniunkcji zbiorów $D_i D_j \dots$) wylicza się zgodnie z zasadą 2, odnoszącą się do równoległego połączenia elementów. Jeżeli, na przykład, $D_i : \{e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{im}\}$, to zgodnie z (17)

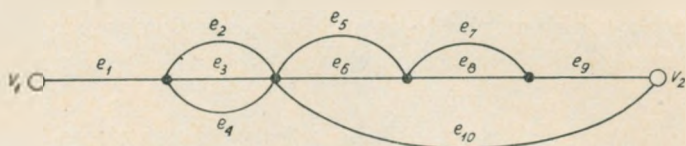
$$q(D_i) = q_{i1} \cdot q_{i2} \dots q_{im} \quad (21)$$

Wyznaczone prawdopodobieństwo q jest równe współczynnikowi przestoju relacji K_p , zatem współczynnik gotowości relacji

$$K = 1 - K_p = 1 - q \quad (22)$$

Trudność tej metody polega przede wszystkim na konieczności prawidłowego wyznaczenia wszystkich zbiorów rozcinających grafu G , co w przypadku bardziej złożonych sieci nie zawsze jest zadaniem prostym.

Przykład. Należy wyznaczyć zbiory rozcinające grafu pokazanego na rys. 8.



Rys. 8. Graf do przykładu obliczania zbiorów rozcinających

Graf ten zawiera 5 zbiorów rozcinających: $D_1 : \{e_1\}$, $D_2 : \{e_2, e_3, e_4\}$, $D_3 : \{e_5, e_6, e_{10}\}$, $D_4 : \{e_7, e_8, e_{10}\}$, $D_5 : \{e_9, e_{10}\}$.

Dla wyjaśnienia wyliczymy również kilka koniunkcji. Na przykład

$$D_1 D_2 : \{e_1\} \cup \{e_2, e_3, e_4\} = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$$

$$D_3 D_4 D_5 : \{e_5, e_6, e_{10}\} \cup \{e_7, e_8, e_{10}\} \cup \{e_9, e_{10}\} = \{e_5, e_6, e_7, e_8, e_9, e_{10}\}$$

Metoda dróg połączeniowych [6], [7]. Metoda ta opiera się na stwierdzeniu, że dla zapewnienia połączenia między wierzchołkami końcowymi grafu G , przedstawiającego niezawodnościowy układ relacji, niezbędne jest istnienie co najmniej jednej drogi łączącej węzły końcowe grafu. Drogą T łączącą wierzchołki końcowe grafu nazywa się podzbiór elementów tego grafu $\{e_i\}$, połączonych ze sobą szeregowo w taki sposób, że droga zaczyna się w jednym wierzchołku końcowym i kończy w drugim. Zaznaczyć należy, że droga nie może przechodzić dwa lub więcej razy przez ten sam węzeł grafu. Droga zostanie przerwana, jeżeli jakkolwiek z elementów drogi $T : \{e_i, e_j, \dots, e_k\}$ ulegnie uszkodzeniu. W grafie może występować szereg dróg T_i , $i = 1, 2, \dots, s$.

Prawdopodobieństwo istnienia łączności w grafie (relacji) jest określone wzorem:

$$p = \sum_i p(T_i) - \sum_{i,j} p(T_i T_j) + \sum_{i,j,k} p(T_i T_j T_k) \dots + (-1)^{s-1} p(T_1 T_2 \dots T_s), \quad (23)$$

gdzie s oznacza liczbę dróg grafu G ; indeksy i, ij, ijk, \dots oznaczają sumowanie według wszystkich wartości od 1 do s , z wyjątkiem $i = j, i = j = k, \dots$, a koniunkcje $T_i T_j, T_i T_j T_k, \dots$ oznaczają zbiory elementów $\{e_i\}$, wchodzących w skład dróg $T_i T_j, T_i T_j T_k, \dots$.

Prawdopodobieństwo $p(T_i)$ sprawnego stanu drogi T_i (lub koniunkcji dróg $T_i T_j \dots$) wylicza się korzystając z zasady 1, dotyczącej szeregowego

połączenia elementów. Jeżeli na przykład $T_i : \{e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{im}\}$, to zgodnie ze wzorem (15)

$$p(T_i) = p_{i1} \cdot p_{i2} \cdot \dots \cdot p_{im} \quad (24)$$

Wyznaczone prawdopodobieństwo istnienia łączności w grafie jest równe współczynnikowi gotowości relacji

$$K = p \quad (25)$$

Przy korzystaniu z tej metody trudności mogą pojawiać się przy wyznaczaniu wszystkich dróg T_i grafu G , szczególnie, gdy sieć zawiera dużą ilość elementów.

Przykład. Wyznaczyć wszystkie drogi grafu pokazanego na rys. 8.

W grafie tym występuje 15 dróg: $T_1 : \{e_1, e_2, e_5, e_7, e_9\}$, $T_2 : \{e_1, e_2, e_5, e_8, e_9\}$, $T_3 : \{e_1, e_2, e_6, e_7, e_9\}$, $T_4 : \{e_1, e_2, e_6, e_8, e_9\}$, $T_5 : \{e_1, e_3, e_5, e_7, e_9\}$, $T_6 : \{e_1, e_3, e_5, e_8, e_9\}$, ... $T_{15} : \{e_1, e_4, e_{10}\}$.

6. OBLICZANIE OPERACYJNEJ EFEKTYWNOŚCI DZIAŁANIA RELACJI

Operacyjna efektywność relacji F została określona wzorem (5)

$$F = \sum_{j=1}^{2^N} F(x_j) P(x_j)$$

który można również zapisać w postaci

$$F = \sum_{i=0}^s \left[F(\Omega_i) \sum_{x_j \in \Omega_i} P(x_j) \right] \quad (5a)$$

gdzie Ω_i oznacza zbiór stanów x_j , charakteryzujących się jednakowym współczynnikiem efektywności $F(\Omega_i)$; $s + 1$ — liczba różnych współczynników efektywności relacji.

Można zaproponować następujący algorytm obliczania efektywności relacji, będący zmodyfikowaną wersją algorytmu podanego w [3]. Algorytm ten oparty jest na pojęciu grafu częściowego.

Grafem częściowym nazywa się graf utworzony przez wszystkie wierzchołki grafu wyjściowego G i przez część tylko gałęzi tego grafu. Jeżeli graf wyjściowy odpowiada układowi niezawodnościowemu relacji, to każdy graf częściowy G_j przedstawia określony stan relacji x_j , w którym określone elementy są usunięte (uszkodzone). Zatem prawdopodobieństwo wystąpienia stanu x_j jest równe prawdopodobieństwu wystąpienia grafu częściowego G_j .

Algorytm składa się z następujących etapów.

1. Wyznaczenie wszystkich zbiorów rozcinających $D_l : \{e_{l1}, e_{l2}, \dots\}$, $l = 1, 2, \dots, r$, wyjściowego grafu G .
2. Wybranie dowolnego (nie rozpatrywanego dotąd) stanu x_j , tj. wybranie odpowiadającego grafu częściowego G_j .
3. Określenie minimalnej wartości zbioru rozcinającego wybranego grafu częściowego G_j , tj. wyliczenie współczynnika efektywności $F(\Omega_i)$ stanu x_j .
4. Wyznaczenie prawdopodobieństwa wystąpienia tego stanu $P(x_j)$ i dodanie tej wartości do sumy $\sum_{x_j \in \Omega_i} P(x_j)$.
5. Jeżeli pozostały jeszcze nie rozpatrzone stany, należy wrócić do etapu 2.

6. Jeżeli zostały rozpatrzone wszystkie 2^N stany relacji — pozostaje obliczenie według wzoru (5a) wartości F .

Omówimy bliżej poszczególne operacje tego algorytmu.

ad 1. Etap 1 nie wymaga objaśnień, gdyż pojęcie zbioru rozcinającego zostało wyjaśnione poprzednio.

ad 2. Algorytm wymaga rozpatrzenia wszystkich 2^N stanów relacji. W celu ograniczenia możliwości przypadkowego pominięcia niektórych stanów wygodnie jest stosować zapis stanu relacji za pomocą kodu dwójkowego o N pozycjach:

$$(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N)$$

w którym każda pozycja przyporządkowana jest jednemu elementowi grafu. Parametry α_j można określić w następujący sposób:

$$\alpha_j = \begin{cases} 1, & \text{gdy } j\text{-ty element jest sprawny,} \\ 0, & \text{gdy } j\text{-ty element jest uszkodzony.} \end{cases}$$

Zatem wybór pewnego stanu x_j relacji można zastąpić wyborem ciągu N wartości α_k , $k = 1, 2, \dots, N$.

ad 3. Wartością zbioru rozcinającego $D_l : \{e_{l1}, e_{l2}, \dots, e_{ln}\}$ nazywa się liczbę

$$V_l = \sum_{i \in D_l} c_i = c_{l1} + c_{l2} + \dots + c_{ln}, \quad (26)$$

gdzie c_i jest parametrem związanym z i -tym elementem grafu G , a określającym zdolność przepustową (liczbę łączy) elementu e_i .

Minimalna wartość zbioru rozcinającego grafu G jest określana jako

$$V_{\min} = \min \{V_l\} = \min \{V_1, V_2, \dots, V_r\}, \quad (27)$$

gdzie r oznacza liczbę zbiorów rozcinających grafu G .

W celu powiązania zbiorów rozcinających grafu częściowego G_j ze zbiorami rozcinającymi grafu wyjściowego G , obliczonymi w etapie 1,

wykorzystamy parametry α_k , przy pomocy których zapisany został stan x_j . Można bowiem zapisać

$$D_l(x_j) : \{ \alpha_{l1} e_{l1}, \alpha_{l2} e_{l2}, \dots, \alpha_{ln} e_{ln} \}$$

$$V_l(x_j) = \sum \alpha_i c_i = \alpha_{l1} c_{l1} + \alpha_{l2} c_{l2} + \dots + \alpha_{ln} c_{ln} \quad (26a)$$

$$V_{\min}(x_j) = \min \{ V_1(x_j), V_2(x_j), \dots, V_r(x_j) \} \quad (27a)$$

Minimalna wartość zbioru rozcinającego $V_{\min}(V_{\min}(x_j))$ jest przy przyjętych określeniach równa nominalnej przepustowości relacji C_{r0} (przepustowości relacji, gdy znajduje się ona w stanie x_j). Zatem zgodnie ze wzorem (2) współczynnik efektywności stanu x_j jest równy

$$F(x_j) = \frac{C_r(x_j)}{C_{r0}} = \frac{V_{\min}(x_j)}{V_{\min}} \quad (2a)$$

Zwykle liczba różnych wartości współczynników efektywności stanów $F(x_j)$ jest wiele mniejsza od liczby stanów 2^N . Z tego powodu korzystniejsza w stosowaniu jest postać (5a) wzoru (5), która zakłada rozbięcie wszystkich stanów sieci na podzbiory Ω_i , charakteryzujące się jednakową wartością współczynnika efektywności. I tak, jeżeli

$$F(x_j) = F(\Omega_i), \text{ to } x_j \in \Omega_i$$

Zadaniem etapu 3 algorytmu jest więc określenie podzbioru Ω_i , do którego należy rozpatrywany stan x_j .

ad 4. Prawdopodobieństwo wystąpienia grafu częściowego G_j (stanu sieci x_j) zapisanego w postaci liczby binarnej $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N)$ jest wyznaczone następującym wyrażeniem:

$$P(x_j) = \prod_{i=1}^N [\alpha_i p_i + (1 - \alpha_i) q_i], \quad (28)$$

gdzie

p_i oznacza prawdopodobieństwo sprawnego stanu elementu e_i ,

$q_i = 1 - p_i$ — prawdopodobieństwo uszkodzenia tego elementu.

Przykład. Dla sieci przedstawionej grafem pokazanym na rys. 8 obliczyć operacyjną efektywność działania przy następujących danych:

e_i	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9	e_{10}
p_i	p_0	p_1	p_1	p_1	p_1	p_1	p_1	p_1	p_0	p_1
c_i	$3c_0$	c_0	c_0	c_0	c_0	c_0	c_0	c_0	$2c_0$	c_0

gdzie $p_0 = 0,98$, $p_1 = 0,90$, $c_0 = 60$ łączy.

Zastosujemy opisany powyżej algorytm.

1. Zbiory rozcinające tego grafu zostały obliczone w przykładzie na str. 38.

2. Wybieramy, na przykład, stan x_j : 1111111000, dla którego $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = 1$, $\alpha_8 = \alpha_9 = \alpha_{10} = 0$.

3. Według wzoru (26a) obliczamy wartości zbiorów rozcinających grafu częściowego G_j : $V_1(x_j) = 1 \cdot 3c_0 = 3c_0$, $V_2(x_j) = 1 \cdot c_0 + 1 \cdot c_0 + 1 \cdot c_0 = 3c_0$, $V_3(x_j) = 1 \cdot c_0 + 1 \cdot c_0 + 0 \cdot c_0 = 2c_0$, $V_4(x_j) = 1 \cdot c_0 + 0 \cdot c_0 + 0 \cdot c_0 = c_0$, $V_5(x_j) = 0 \cdot 2c_0 + 0 \cdot c_0 = 0$.

Minimalna wartość zbioru rozcinającego grafu G_j (27a):

$$V_{\min}(x_j) = \min \{3c_0, 3c_0, 2c_0, c_0, 0\} = 0$$

Współczynnik efektywności stanu x_j (2a):

$$F(x_j) = \frac{V_{\min}(x_j)}{V_{\min}} = \frac{0}{3c_0} = 0$$

zatem rozpatrywany stan należy do podzbioru Ω_0 .

4. Prawdopodobieństwo wystąpienia stanu x_j (26):

$$\begin{aligned} P(x_j) &= (1 \cdot p_0 + 0 \cdot q_0) (1 \cdot p_1 + 0 \cdot q_1) (1 \cdot p_1 + 0 \cdot q_1) \dots \\ &\dots (0 \cdot p_0^2 + 1(1 - p_0^2)) (0 \cdot p_0 p_1 + 1(1 - p_0 p_1)) = \\ &= p_0 p_1^2 q_1 [1 - p_0(p_0[1 - p_0 p_1] + p_1)] = 0,000244 \end{aligned}$$

5. Ponieważ nie wszystkie stany zostały rozpatrzone, powracamy do etapu 2.

2. Wybieramy kolejny stan x_j , na przykład, 1111110111, tj. $\alpha_7 = 0$, pozostałe $\alpha = 1$.

3. Obliczamy wartości zbiorów rozcinających:

$$\begin{aligned} V_1(x_j) &= 3c_0, & V_2(x_j) &= 3c_0, & v_3(x_j) &= 3c_0, \\ V_4(x_j) &= 2c_0, & V_5(x_j) &= 3c_0 \end{aligned}$$

zatem

$$V_{\min}(x_j) = 2c_0, \quad F(x_j) = \frac{2c_0}{3c_0} = \frac{2}{3}$$

czyli że stan ten należy do podzbioru $\Omega_{2/3}$.

4. Prawdopodobieństwo wystąpienia stanu x_j

$$P(x_j) = p_0^4 p_1^2 q_1 = 0,0441$$

Operacje te powtarzamy do wyczerpania wszystkich stanów sieci. Otrzymane wyniki są przytoczone w poniższej tabelce:

Podzbiory stanów	Ω_0	$\Omega_{1/3}$	$\Omega_{2/3}$	$\Omega_{3/3}$	Ω
Liczba stanów każdego zbioru	737	247	39	1	1024
$P(\Omega_i) = \sum_{x_j \in \Omega_i} P(x_j)$	0,028	0,111	0,464	0,397	1,000
$F(\Omega_i) P(\Omega_i)$	0	0,037	0,309	0,397	0,743

Operacyjna efektywność działania rozpatrywanej sieci jest równa $F = 0,743$.

Proponowany algorytm można nieco uprościć. Mianowicie przy wyliczaniu efektywności F nie potrzebna jest znajomość prawdopodobieństwa $P(\Omega_0)$ występowania stanów, dla których $F(x_j) = 0$, tj. stanów, przy których łączność w sieci jest przerwana. Uwzględniając ten fakt, można etap 3 algorytmu zapisać w następujący sposób.

3. Wyznaczyć wartości zbiorów rozcinających grafu częściowego G_j . Jeżeli w trakcie obliczeń otrzyma się wartość $V_l(x_j)$ równą zero, przetrwać dalsze obliczenia i wrócić do etapu 2. Jeżeli żadna z wartości $V_l(x_j)$ nie jest równa zero, wyznaczyć minimalną wartość zbioru rozcinającego grafu G_j .

Jak wspomniano na wstępie rozdz. 5, można na podstawie danych otrzymywanych w trakcie obliczania efektywności relacji obliczyć także współczynnik gotowości relacji. Istotnie, zgodnie ze wzorem (8a)

$$K = P(\Omega^+)$$

gdzie Ω^+ oznacza podzbiór stanów x_j , przy których istnieje połączenie między węzłami końcowymi relacji. Podzbiór Ω^+ jest zatem sumą podzbiorów Ω_i , dla których współczynnik efektywności $F(\Omega_i)$ jest różny od zera:

$$\Omega^+ = \Omega - \Omega_0 = \Omega_1 + \Omega_2 + \dots$$

Można więc zapisać

$$K = P(\Omega^+) = 1 - P(\Omega_0) = \sum_{i \neq 0} P(\Omega_i) \quad (29)$$

Wartości prawdopodobieństw $P(\Omega_i)$ są obliczane przy obliczaniu F .

7. OBLICZANIE WARTOŚCI STRAT ŁĄCZY WYWOŁANYCH WYSTĄPIENIEM m USZKODZEŃ

Oczekiwana wartość strat łączy spowodowanych jednoczesnym wystąpieniem równo m uszkodzeń jest określona wyrażeniem (12), które można także zapisać w postaci:

$$f_m = \sum_{x_j \in \Omega^m} [1 - F(x_j)] P(x_j) = \sum_{i=0}^s [1 - F(\Omega_i^m)] P(\Omega_i^m),$$

$$m = 0, 1, 2, \dots, N$$

gdzie, jak poprzednio, $s + 1$ oznacza liczbę różnych wartości współczynników efektywności stanów relacji.

Zapis taki oznacza, że zbiór Ω wszystkich 2^N stanów sieci został rozbity na podzbiory Ω^m , $m = 0, 1, \dots, N$, przy czym do Ω^m należą wszystkie stany, w których występuje równo m uszkodzeń, i że dla każdego podzbioru Ω^m wyznacza się oddzielnie wartość strat.

Dla obliczenia wartości strat łączy dla każdego zbioru Ω^m można zastosować algorytm opisany w rozdz. 6. Algorytm należy wówczas stosować N razy, za każdym razem analizując jeden ze zbiorów Ω^m (zbioru Ω^0 , tj. stanu, w którym wszystkie elementy są sprawne można nie analizować, gdyż nie występują w nim straty łączy). Jeżeli stosuje się zapis stanu sieci relacji za pomocą kodu dwójkowego, to do zbioru Ω^m wchodzi te stany, dla których m parametrów α_k jest równych 0.

Równocześnie wyliczać można prawdopodobieństwo wystąpienia równo m uszkodzeń w sieci korzystając z wyrażenia (11):

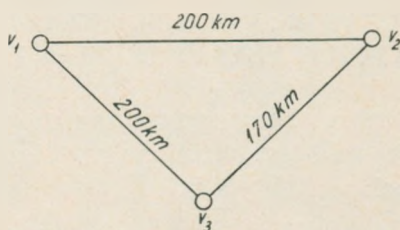
$$P_m = \sum_{x_j \in \Omega^m} P(x_j) = \sum_{i=0}^s P(\Omega_i^m) \quad (11a)$$

Zwrócić można jeszcze uwagę na fakt, że wystarczy zwykle przeanalizować straty łączy dla kilku pierwszych wartości m ; wpływ dalszych wartości m jest zwykle pomijalnie mały.

8. PRZYKŁAD OBLICZENIA WSKAŹNIKÓW NIEZAWODNOŚCI RELACJI

Należy obliczyć wskaźniki niezawodności relacji telefonicznej między węzłami v_1 i v_2 sieci linii pokazanej na rys. 9. Obliczenia należy przeprowadzić dla następujących wariantów realizacji sieci relacji:

A. Wszystkie łącza relacji poprowadzono jedną najkrótszą trasą;



Rys. 9. Przykład sieci linii z podanymi odległościami między węzłami sieci

B₁. Łącza relacji poprowadzono dwiema trasami wg zasady: pierwszą najkrótszą trasą poprowadzić 66,6% łączy, drugą najkrótszą trasą — 33,3% łączy; relacja jest nieprzełączalna;

B₂. Jak w wariancie B₁, lecz w wersji przełączalnej.

Przyjęto następujące dane wyjściowe:

Nominalna liczba łączy relacji: $C_{r0} = 240$ łączy.

Zdolność przepustowa podstawowej grupy sieci linii: $c_0 = 60$ łączy.

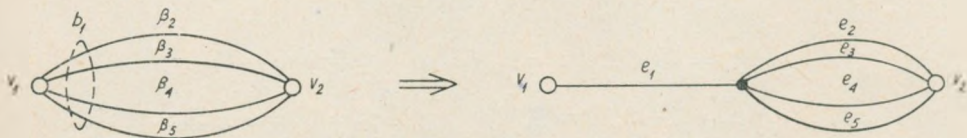
Współczynnik przestoju odcinka linii sieci linii określony zależnością:

$$K_{p0} = 0,01 \cdot l$$

gdzie l oznacza długość odcinka linii w 100 km.

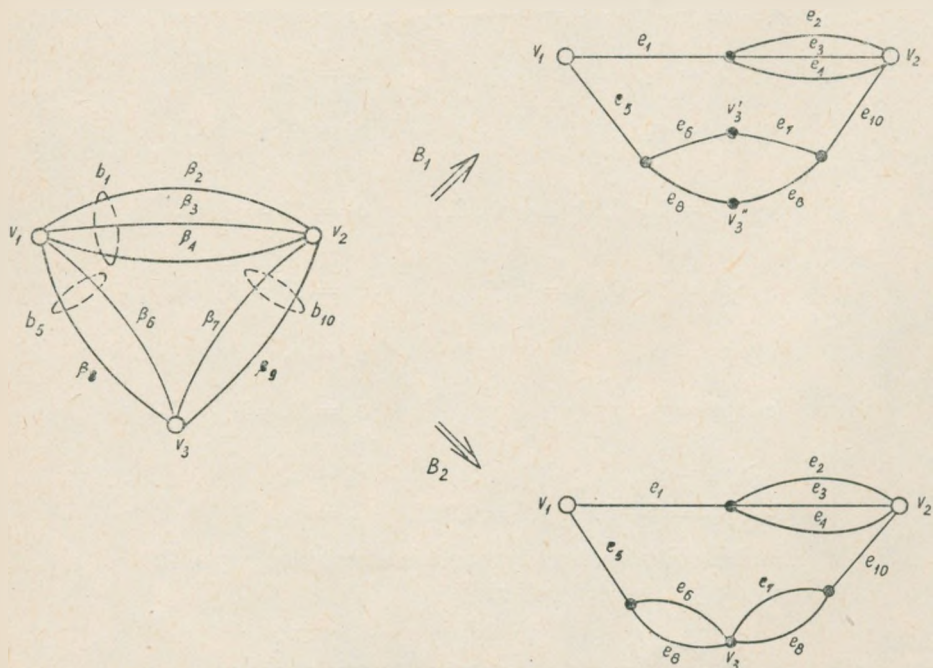
Współczynnik przestoju podstawowej grupy sieci linii:

$$K_{pg} = 0,10 = \text{const.}$$



Rys. 10. Sieć relacji otrzymana przy kierowaniu wszystkich łączy relacji pierwszą najkrótszą trasą

Na rysunku 10 pokazano fizyczną strukturę sieci relacji dla wariantu A oraz odpowiadający jej układ niezawodnościowy. Rys. 11 przedstawia sieć relacji wariantu B, dla którego przyjęto następujący podział łączy



Rys. 11. Sieć relacji otrzymana przy kierowaniu łączy relacji wg zasady: pierwszą najkrótszą trasą poprowadzić 66,6% łączy, drugą najkrótszą trasą — 33,3% łączy

relacji: pierwszą najkrótszą trasą — 160 łączy, drugą trasą — 80 łączy. Na tym samym rysunku pokazano układy niezawodnościowe dla wariantów B₁ i B₂.

Z elementami e_i układów niezawodnościowych relacji związane są następujące parametry:

a) prawdopodobieństwo sprawnego stanu i -tego elementu

$$p_i = K_i = 1 - K_{pi}$$

b) zdolność przepustowa i -tego elementu c_i , wyrażona liczbą łączy.

Wartości parametrów p_i oraz c_i są następujące:

Dla wariantu A

$$\begin{aligned} e_1 : p_1 &= 1 - 0,012 = 0,98, & c_1 &= 240 = C_{r0} \\ e_2 : p_2 &= 1 - 0,10 = 0,90, & c_2 &= 60 = \frac{1}{4} C_{r0} \\ e_3 &= e_4 = e_5 = e_2 \end{aligned}$$

Dla wariantu B

$$\begin{aligned} e_1 : p_1 &= 1 - 0,012 = 0,98, & c_1 &= 160 = \frac{2}{3} C_{r0} \\ e_2 : p_2 &= 1 - 0,10 = 0,90, & c_2 &= 60 = \frac{1}{4} C_{r0} \\ e_3 : p_3 &= p_2, & c_3 &= c_2 \\ e_4 : p_4 &= p_2, & c_4 &= 40 = \frac{1}{6} C_{r0} \\ e_5 : p_5 &= 1 - 0,012 = 0,98, & c_5 &= 80 = \frac{1}{3} C_{r0} \\ e_6 : p_6 &= 1 - 0,10 = 0,90, & c_6 &= 60 = \frac{1}{4} C_{r0} \\ e_7 : p_7 &= p_6, & c_7 &= c_6 \\ e_8 : p_8 &= p_6, & c_8 &= 20 = \frac{1}{12} C_{r0} \\ e_9 : p_9 &= p_6, & c_9 &= c_8 \\ e_{10} : p_{10} &= 1 - 0,0117 = 0,983, & c_{10} &= c_5 \end{aligned}$$

Po wykonaniu obliczeń otrzymano następujące wyniki:

Współczynnik gotowości relacji

	A	B ₁	B ₂
K	0,979 902	0,998 501 26	0,998 832 027
K_p	0,020 098	0,001 498 74	0,001 167 973

Oczekiwana wartość strat łączy wywołanych wystąpieniem równo m uszkodzeń oraz prawdopodobieństwo wystąpienia m uszkodzeń:

Dla wariantu A

m	P_m	f_m
0	0,642 978	0
1	0,298 890	0,084 564
2	0,053 460	0,029 646
3	0,004 500	0,003 618
4	0,000 170	0,000 170
5	0,000 002	0,000 002
Σ	1,000 000	0,118 000

Dla wariantu B

m	P_m	f_m dla B_1	f_m dla B_2
0	0,451 547 280	0	0
1	0,377 442 299	0,078 714 162	0,078 714 162
2	0,137 983 161	0,054 275 259	0,053 346 149
3	0,028 879 506	0,016 004 240	0,015 694 537
4	0,003 802 512	0,002 741 098	0,002 603 453
5	0,000 325 738	0,000 261 398	0,000 243 198
6	0,000 018 139	0,000 015 740	0,000 011 945
$\Sigma_{m=0}^6$	0,999 998 635	0,152 011 897	0,150 613 444

Operacyjna efektywność działania relacji

	A	B_1	B_2
F	0,882 000	0,847 985	0,849 380
$f = \sum_{m=0}^N f_m$	0,118 000	0,152 015	0,150 620

Porównanie wariantów relacji pod względem uzyskiwanej wartości współczynnika gotowości pokazuje, że lepszy jest wariant B, dla którego łączność między węzłami końcowymi będzie przerwana przeciętnie przez około 1,5‰ rozpatrywanego czasu eksploatacji. Dla wariantu A — około 20,1‰.

Pod względem operacyjnej efektywności działania lepszy jest natomiast wariant A (nieczynnych przeciętnie 11,8‰ łączy w porównaniu z 15,2‰ przy wariacie B). Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że je-

zeli rozważać jedynie możliwość wystąpienia pojedynczego uszkodzenia, to mniejsze straty łączy zapewnia wariant B ($f_{m=1} \cong 0,078$ w porównaniu z $f_{m=1} \cong 0,084$ dla wariantu A).

Porównanie relacji przełączalnej i nieprzełączalnej pokazuje, że pod każdym względem lepsze wskaźniki wykazuje wersja przełączalna. Dla wariantu A wersja przełączalna nie istnieje, gdyż nie zawiera on węzłów tranzytowych.

Odnosnie samej techniki wykonywania obliczeń należy podkreślić, że obliczenia trzeba prowadzić z bardzo wysoką dokładnością, a zaokrąglanie liczb można jedynie wykonywać na wynikach końcowych.

9. WNIOSKI

Opracowanie niniejsze stanowi próbę jednolitego określenia wskaźników, charakteryzujących niezawodność relacji telefonicznych.

Wprowadzono następujące wskaźniki: współczynnik gotowości, operacyjną efektywność działania, oczekiwaną wartość strat łączy, spowodowanych wystąpieniem w sieci równo m uszkodzeń, oraz prawdopodobieństwo wystąpienia w sieci relacji równo m uszkodzeń.

Przy rozważaniu niezawodności relacji przyjęto szereg założeń, z których najbardziej istotne jest ograniczenie uszkodzeń, które mogą występować w sieci relacji, do dwóch typów: uszkodzenia podstawowych grup łączy oraz uszkodzenia odcinków linii.

Podano metody obliczania omówionych wskaźników. Z przytoczonych przykładów obliczeń widać, że metody są bardzo pracochłonne, w związku z czym badanie niezawodności rzeczywistych sieci może być wykonalne jedynie przy użyciu maszyn liczących.

Jako dane wyjściowe do obliczeń przyjęto współczynniki gotowości elementów składowych układu niezawodnościowego relacji ($p_i = K_i$). Związane jest to z założeniem, że relacja jest rozpatrywana w stanie ustalonym. Liczbowe wartości współczynników K_i dla rzeczywistych sieci są obecnie w zasadzie nie znane. W piśmiennictwie można jedynie spotkać dane dotyczące linii kablowych. Na przykład w [8] podaje się, że współczynnik przestoju K_p , odniesiony do linii o długości 100 km, określony wzorem

$$K_p = \frac{N \cdot T_r}{T_0}$$

gdzie

N oznacza przeciętną liczbę uszkodzeń na 100 km kabla,

T_r — przeciętny czas trwania uszkodzenia,

T_0 — liczbę godzin obserwacji,

nie przekracza wartości 0,0004.

W celu uzyskania wiarogodnych danych o uszkodzeniach sieci łączy telefonicznych należy postulować możliwie wczesne rozpoczęcie odpowiednich badań statystycznych.

Należy również wspomnieć o zagadnieniu użyteczności wprowadzonych wskaźników niezawodności relacji telefonicznych oraz o kryteriach oceny liczbowych wartości tych wskaźników. W niniejszej pracy zagadnieniem tym nie zajmowano się. Wydaje się jednak, że informacja w rodzaju, na przykład, że efektywność działania relacji dla jednego wariantu jest równa 0,882, a dla innego 0,847 jest niewystarczająca dla podjęcia optymalnych pod względem techniczno-ekonomicznym decyzji. Z tego względu konieczne jest przeprowadzenie odpowiednich badań, przede wszystkim natury ekonomicznej, dla określenia kryteriów oceny niezawodności relacji i sieci linii telefonicznych.

WYKAZ LITERATURY

1. *Gniedenko B. W., Bielajew J. K., Sołowiew A. D.*: Metody matematyczne w teorii niezawodności. WNT, Warszawa, 1968.
2. *Bazowski I.*: Nadieźnost': teorija i praktika. Izd. Mir, 1965.
3. *Wing Q., Demetriou P.*: Analysis of probabilistic networks. Trans. IEEE COM-12, 1964, September, s. 38—40.
4. *Dudziński Z.*: Zastosowanie teorii niezawodności do zagadnień sieci telekomunikacyjnych. Biuletyn Techniczny Ministerstwa Łączności, 1965, nr 6, s. 9—17.
5. *Seshu S., Reed M. B.*: Linear graphs and electrical networks. Addison-Wesley, 1961.
6. *Fu Y., Yau S. S.*: A note on the reliability of communication networks. J. SIAM, 1962, t. 10, September, s. 469—474.
7. *Fu Y.*: Application of topological methods to probabilistic communication networks. Trans. IEEE COM-13, 1965, September, s. 301—307.
8. *Bunin D. A.*: Nadieźnost' kabielej dalniej swiazi. Awtomatika, Tielemechanika, Swiaź, 1965, t. 9, nr 10, s. 1—4.

3. Фридрих

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ МЕЖДУГОРОДНЫХ ТЕЛЕФОННЫХ СВЯЗЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Резюме

Настоящая разработка составляет попытку определить модель надёжности междугородной сети связи. При этом учтены исключительно два типа повреждений, выступающих в сети телефонных линий: по вреждения основных групп каналов и повреждения линии.

Выведены два основных показателя, характеризующих надёжность между-городной связи: первый из них характеризует связь по непрерывности действия, второй — определяет среднее число действующих цепей.

Изложены методы вычисления этих показателей. В окончании приведен пример анализа надёжности сети междугородной связи.

Z. Frydrych

RELIABILITY INDICES OF DIRECT ROUTES AND THE METHOD OF THEIR CALCULATION

S u m m a r y

The paper presents some effort to define the model of the direct route from reliability point of view.

Only two types of faults, appearing in the telephone network have been taken into account: the faults in the equipment of the basic groups of circuits and the faults of the lines. Two fundamental indices, characterising the reliability of direct route, have been introduced: the first describes this route from the point of view of service continuity and the second defines the mean number of circuits being in operation.

The methods of calculating these indices have been described. In conclusion an example of the reliability analysis of the route has been given.

Z. Frydrych

LES INDICES DE FIABILITÉ DES ROUTES TÉLÉPHONIQUES DIRECTES ET LES MÉTHODES DE CALCULER LEURS VALEURS

R é s u m é

On a essayé de déterminer le modèle de la route téléphonique directe composée de faisceaux de circuits, du point de vue de fiabilité.

On a pris en considération seulement deux types de défauts apparaissant dans le réseau de lignes téléphoniques, c'est à dire les défauts de l'équipement des groupes de base et les dérangements des lignes.

On a introduit deux indices fondamentaux caractérisant la fiabilité de la route téléphonique directe. Le premier indice définit cette route du point de vue de continuité du fonctionnement et le second présente le nombre moyen de circuits actifs.

On a décrit quelques méthodes de calculer la valeur de ces indices. Enfin on a présenté un exemple d'analyse de la fiabilité des routes directes entre deux points du réseau déterminés.

Z. Frydrych

DIE ZUVERLÄSSIGKEITSKENNGRÖSSEN
DER FERNSPRECHVERKEHRSRICHTUNG UND DIE METHODEN DERER
BERECHNUNG

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Arbeit stellt ein Versuch der Bestimmung eines Modells vom Standpunkt der Zuverlässigkeit der Fernsprechverkehrsrichtung dar.

Man hat dabei ausschliesslich zwei in den Fernsprechnetzen vorkommenden Beschädigungsarten berücksichtigt: die Beschädigungen in den Hauptgruppen und die Beschädigungen der Leitungen.

Man hat zwei Grundkenngrössen, die die Zuverlässigkeit der Verkehrsrichtung kennzeichnen, eingeführt: der erste charakterisiert die Verkehrsrichtung hinsichtlich der Betriebskontinuirlichkeit, der zweite bestimmt die Durchschnittszahl der aktiven Leitungen.

Die Methoden der Berechnung beider Kenngrössen wurden beschrieben. Zum Schluss wird ein Beispiel der Zuverlässigkeitsanalyse gegeben.

ZBIGNIEW FRYDRYCH

621.3.019.3:621.395.74

UWAGI O NIEZAWODNOŚCIOWYCH ASPEKTACH PLANOWANIA ROZPŁYWU ŁĄCZY RELACJI

Rękopis dostarczono do Komitetu Redakcyjnego dnia 3. VI. 1968 r.

W artykule podano ogólne związki, jakie występują między rozplywem łączy a kształtowaniem się wybranych wskaźników, charakteryzujących niezawodność niezależnej relacji telefonicznej. Rozważono dwa podstawowe wskaźniki: współczynnik gotowości oraz operacyjną efektywność działania. Stwierdzono, że stawiane przez te wskaźniki wymagania są przeciwstawne. Dodatkowo zbadano rozplyw łączy przy określeniu niezawodnej sieci jako sieci odpornej na wystąpienie m jednoczesnych uszkodzeń.

1. WSTĘP

Przy planowaniu relacji telefonicznych występuje problem wyznaczenia rozplywu łączy relacji. Przez dokonanie rozplywu łączy rozumie się zwykle [1] utworzenie planu przebiegu każdego łączy relacji w ustalonej sieci tras (sieci linii), tj. zaplanowanie układu sieci rozpatrywanej relacji telefonicznej.

W pracy [2] wprowadzono model niezawodnościowy niezależnej relacji telefonicznej oparty na założeniu, że w sieci linii telefonicznych występują tylko dwa typy uszkodzeń: uszkodzenia podstawowych grup łączy (grup pierwotnych, wtórnych itd.) oraz uszkodzenia odcinków linii. Przy takim modelu relacji analizie niezawodnościowej podlegają nie poszczególne łączy, a drogi połączeniowe relacji.

Przyjęcie takiego modelu relacji wymaga uzupełnienia przytoczonego wyżej określenia rozplywu łączy. Mianowicie przy wyznaczeniu rozplywu łączy relacji powinno się wykonać dwa zadania:

- wyznaczyć ilość dróg połączeniowych relacji z określeniem zdolności przepustowych (ilości łączy) każdej drogi połączeniowej,
- wyznaczyć trasy (szlaki), po których kierowane powinny być poszczególne drogi połączeniowe.

Na podział łączy relacji na drogi połączeniowe nałożone są następujące oczywiste ograniczenia:

$$0 < c_i \leq c_0$$

$$\sum_{i=1}^n c_i = C_{r0}$$

$$n \geq \frac{C_{r0}}{c_0}$$

gdzie

c_i — oznacza przepustowość i -tej drogi połączeniowej,

C_{r0} — przepustowość relacji,

c_0 — przepustowość podstawowej grupy łączy sieci linii,

n — ilość dróg połączeniowych relacji.

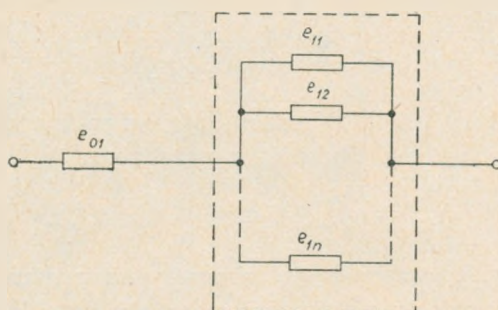
Z formy tych ograniczeń wynika, że pozwalają one na dużą swobodę dokonywania rozplywu łączy. Niezbędne jest zatem określenie dodatkowych kryteriów, pozwalających na bardziej jednoznaczne planowanie sieci relacji.

W niniejszym opracowaniu rozważa się kryteria związane z niezawodnym działaniem relacji. Zakres rozważań jest przy tym ograniczony do zbadania ogólnych związków, występujących między rozplywem łączy a kształtowaniem się wybranych wskaźników, charakteryzujących niezawodność relacji. Rozważania prowadzi się oddzielnie dla dwóch podstawowych wskaźników niezawodności: współczynnika gotowości relacji do pracy oraz operacyjnej efektywności działania relacji (oczekiwanej wartości strat łączy). Dodatkowo analizowany jest rozplyw łączy wykonywany według zasady „pierwszą najkrótszą trasą poprowadzić $x\%$ łączy relacji, drugą najkrótszą trasą — $y\%$ łączy, itd.”. Zasada ta związana jest z innym określeniem niezawodności sieci łączności, którą nazwać można odpornością sieci na wystąpienie m jednoczesnych uszkodzeń.

2. ANALIZA ROZPLYWU ŁĄCZY POD WZGLĘDEM WSPÓŁCZYNNIKA GOTOWOŚCI

Układ niezawodnościowy relacji nieprzełączalnej, której wszystkie drogi połączeniowe poprowadzone są jedną trasą, można zredukować do postaci pokazanej na rys. 1. Na rysunku tym element e_{01} przedstawia szeregowe połączenie elementów niezawodnościowych relacji reprezentujących niezawodność odcinków linii sieci łączy, e_{1i} — wypadkowy element odpowiadający szeregowemu połączeniu elementów reprezentujących niezawodność

wodność grup łączy, z których zestawiona jest i -ta droga połączeniowa relacji, n — ilość dróg połączeniowych poprowadzonych rozpatrywaną trasą.



Rys. 1. Zredukowany układ niezawodnościowy relacji o jednej trasie

Prawdopodobieństwo przerwania łączności w tym układzie można wyznaczyć, na przykład, metodą zbiorów rozcinających, przy której poszukiwane prawdopodobieństwo określone jest następującym wzorem ([2] wzór (20)):

$$q = \sum_i q(D_i) - \sum_{i,j} q(D_i D_j) + \dots + (-1)^{r-1} q(D_1 D_2 \dots D_r) \quad (1)$$

Jeżeli przez q_0 oznaczyć prawdopodobieństwo uszkodzenia elementu e_{01} , a przez q_1 — prawdopodobieństwo uszkodzenia elementów e_{1i} (przyjęcie jednakowej wartości prawdopodobieństwa uszkodzenia dla wszystkich elementów e_{1i} uzasadnione jest tym, że wszystkie drogi połączeniowe przebiegają tą samą trasą), to wzór ten przyjmie następującą postać:

$$q = q_0 + (q_1)^n - q_0(q_1)^n \quad (2)$$

Zwykle wartości prawdopodobieństw q_0 i q_1 są niewielkie. W takim wypadku można we wzorze (1) nie uwzględniać wpływu koniunkcji zbiorów rozcinających $D_i D_j$, $D_i D_j D_k$, ..., i z zadowalającą dla praktyki dokładnością stosować wzór przybliżony [3]:

$$q \approx \sum_i q(D_i) \quad (3)$$

Dla rozpatrywanego układu możemy zatem napisać:

$$q \approx q_0 + (q_1)^n \quad (4)$$

Ponieważ współczynnik gotowości relacji jest równy

$$K = 1 - q \quad (5)$$

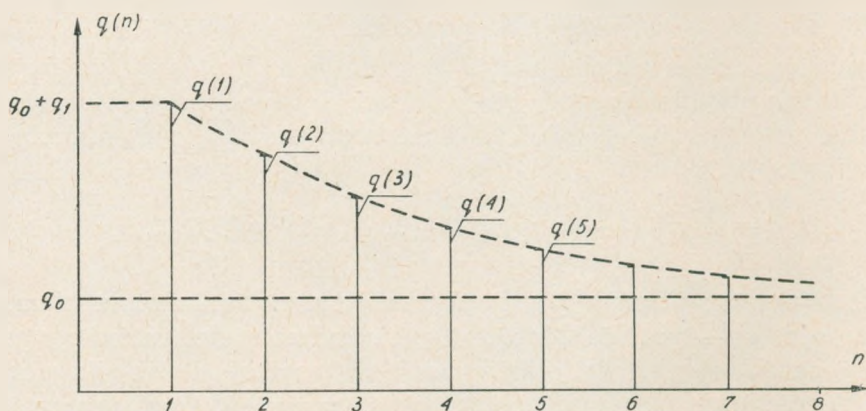
to zadanie maksymalizacji wartości K jest równoważne minimalizacji wartości q . W przypadku rozpatrywanej relacji planowanie rozplywu łączy relacji sprowadza się do określenia ilości dróg połączeniowych, tj. do określenia wartości n . Traktując zatem prawdopodobieństwo q jako funkcję zmiennej n

$$q = q(n) = q_0 + (q_1)^n$$

łatwo można sprawdzić, że $q(n)$ jest malejącą funkcją zmiennej n (rys. 2), przy czym przyjmuje ona wartości z przedziału

$$q_{min} = q_0|_{n=\infty} \leq q(n) \leq q_0 + q_1|_{n=1} \quad (6)$$

Na podstawie przeprowadzonego rozumowania można sformułować następujący wniosek: w celu zwiększenia wartości współczynnika gotowości



Rys. 2. Przebieg zależności $q(n)$ jako funkcji zmiennej n

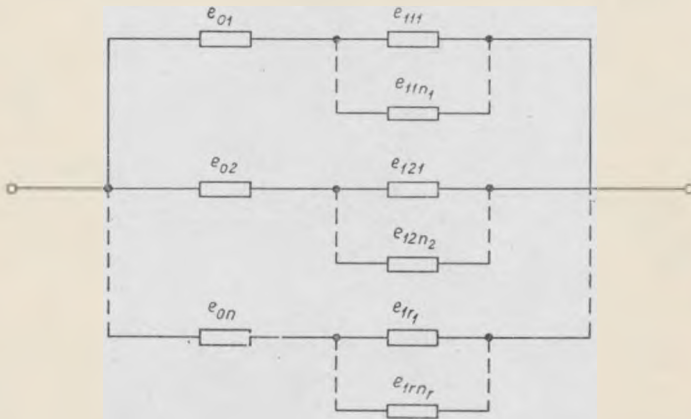
relacji, której drogi połączeniowe prowadzone są jedną trasą, należy zwiększać ilość dróg połączeniowych. Wartość współczynnika K dąży przy tym do wartości granicznej równej $1 - q_0$. Ponieważ liczba łączy relacji $C_{r,0}$ jest wielkością stałą, to spełnienie tego zalecenia można uzyskać przez zmniejszenie przepustowości (liczby łączy) dróg połączeniowych. Wartości przepustowości poszczególnych dróg połączeniowych nie mają przy tym wpływu na wartość współczynnika gotowości relacji.

Rozpatrzmy z kolei relację, której drogi połączeniowe są prowadzone różnymi trasami. Każdą trasę takiej relacji można przedstawić układem pokazanym na rys. 1. Układ niezawodnościowy relacji o r trasach będzie się wówczas składał z równoległego połączenia r układów poszczególnych tras (rys. 3).

Dla takiego układu prawdopodobieństwo przerwania łączności wyraża się w przybliżony sposób następującym wzorem:

$$q = \prod_{i=1}^r (q_{0i} + (q_{1i})^{n_i}) \quad (7)$$

gdzie indeksem i oznaczono wszystkie wielkości związane z i -tą trasą.



Rys. 3. Zredukowany układ niezawodnościowy relacji o r trasach

Prawdopodobieństwo q będzie tym mniejsze, czym większe będzie n_i . W granicy, gdy wszystkie $n_i \rightarrow \infty$, q zmierza do swej minimalnej wartości

$$q_{min} = \prod_{i=1}^r q_{0i} = q_{01} \cdot q_{02} \cdot \dots \cdot q_{0r}, \quad (8)$$

tj. wartości równej iloczynowi prawdopodobieństw uszkodzenia odcinków linii tworzących poszczególne trasy relacji.

Ponieważ $q_{0i} < 1$, to

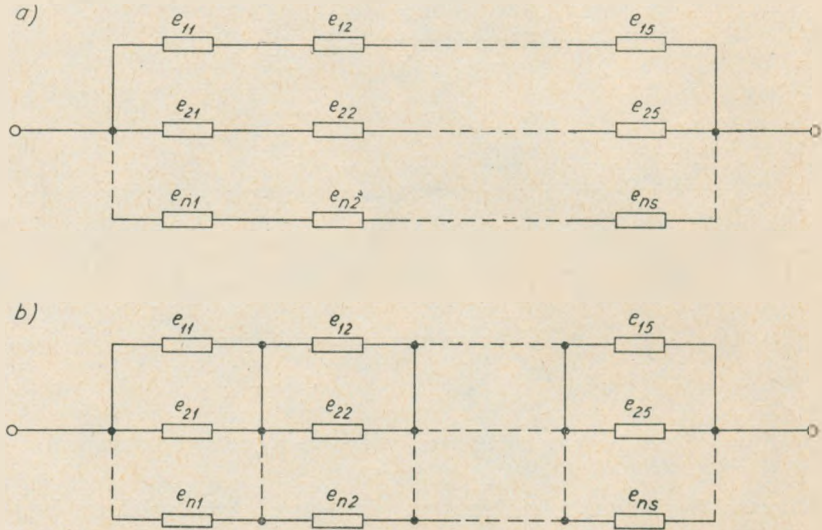
$$q_{min} < q_{0i}, \quad i = 1, 2, \dots, r,$$

czyli współczynnik gotowości relacji, której drogi połączeniowe prowadzone są różnymi trasami, jest zawsze większy od wartości, którą można osiągnąć, gdy wszystkie drogi relacji są prowadzone jedną trasą.

Wniosek jest zatem następujący: w celu zwiększenia wartości współczynnika gotowości relacji należy zwiększać ilość tras, którymi kierowane są drogi połączeniowe relacji. Graniczna wartość współczynnika gotowości, jaką można przy tym osiągnąć, jest określona wzorem (8).

Porównajmy obecnie współczynniki gotowości relacji w wersji nieprzełączalnej oraz w wersji przełączalnej. Obie wersje różnią się sposobem połączenia elementów reprezentujących niezawodność grup łączy, z których zestawione są drogi połączeniowe prowadzone tą samą trasą.

Na rys. 4a pokazano połączenie dla wersji nieprzełączalnej, natomiast na rys. 4b — połączenie dla wersji przełączalnej. Przyjęto przy tym, że rozpatrywaną trasą przebiega n pierwotnych dróg połączeniowych, utworzonych przez kaskadowe połączenie s grup łączy. (Układy te przedstawiają w rozwiniętej formie zaznaczoną linią kreskowaną część układu niezawodnościowego relacji z rys. 1).



Rys. 4. Układ niezawodnościowy n dróg połączeniowych prowadzonych jedną trasą: a — w wersji nieprzełączalnej, b — w wersji przełączalnej

Przyjmując, że prawdopodobieństwa uszkodzenia wszystkich grup łączy e_{ij} mają jednakową wartość q_2 , otrzymamy następujące wyrażenia wyznaczające prawdopodobieństwo przerwania łączności:

dla wersji nieprzełączalnej

$$q_{np} = [1 - (1 - q_2)^s]^n \quad (9)$$

dla wersji przełączalnej

$$q_p = 1 - (1 - q_2^n)^s \quad (10)$$

Łatwo sprawdzić, że przy $s = 1$ oba wyrażenia są sobie równe. Jest to oczywiste, gdyż w takim przypadku nie można utworzyć wersji przełączalnej (trasa nie ma węzłów tranzytowych).

Przy $s > 1$ (oraz $n > 1$) q_{np} jest zawsze większe od q_p . Na przykład, dla $s = 2$ można napisać:

$$q_p = q_2^n(2 - q_2^n)$$

$$q_{np} = q_2^n(2 - q_2)^n = q_p + q_2^n \left[q_2^n - 2 + \sum_{k=0}^n (-1)^k \binom{n}{k} 2^{n-k} q_2^k \right] > q_p$$

Z powyższego rozumowania wynika zatem następujący wniosek: wersja przełączalna charakteryzuje się większą wartością współczynnika gotowości aniżeli wersja nieprzełączalna tej relacji. Dodać jednak należy, że nie może być przy tym przekroczona wartość graniczna współczynnika gotowości określona wzorami (6) lub (7). Oznacza to, że wersja przełączalna charakteryzuje się jedynie szybszą zbieżnością wartości współczynnika gotowości relacji do wartości granicznej.

3. ANALIZA ROZPLYWU ŁĄCZY ZE WZGLĘDU NA EFEKTYWNOŚĆ DZIAŁANIA

Rozważmy następujący problem. Dany jest układ nieprzełączalny relacji o dwóch drogach połączeniowych. W relacji tej ma być czynne C_{r0} łączy. Łącza te należy rozdzielić pomiędzy obie drogi połączeniowe w taki sposób, aby operacyjna efektywność działania relacji była największa (aby straty łączy wywołane uszkodzeniami były najmniejsze).

Jest to zagadnienie programowania liniowego i można je zapisać w następujący sposób. Należy zminimalizować formę liniową

$$L = a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (11)$$

przy następujących ograniczeniach

$$x_1 + x_2 = C_{r0} = 1$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2$$

Przyjęto tutaj następujące oznaczenia:

a_1 (a_2) — łączne prawdopodobieństwo wystąpienia stanów relacji, w których jedynie pierwsza (druga) droga połączeniowa jest uszkodzona. Prawdopodobieństwa te są proporcjonalne do prawdopodobieństw przewrzenia odpowiedniej drogi połączeniowej;

$x_1(x_2)$ — przepustowość (ilość łączy) pierwszej (drugiej) drogi. Dla prostoty przyjęto przepustowość relacji $C_{r0} = 1$.

Punkty (x_1, x_2) , będące rozwiązaniem sformułowanego zagadnienia, leżą na prostej utworzonej przez przecięcie płaszczyzny $a_1 x_1 + a_2 x_2$ płaszczyzną prostopadłą do $x_1 0 x_2$ i spełniającą równanie $x_1 + x_2 = 1$. Ilustruje to konstrukcja przedstawiona na rys. 5.

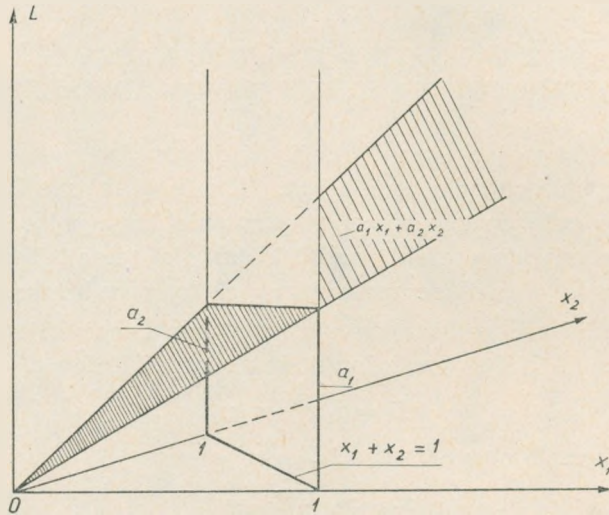
Rozwiązaniem optymalnym jest punkt (x_1, x_2) , dla którego wartość L (odległość od płaszczyzny $x_1 0 x_2$) jest najmniejsza. Mogą przy tym wystąpić trzy przypadki:

$$a_2 < a_1 \text{ — wówczas optymalnym rozplywem jest podział } x_1 = 0, x_2 = 1 (C_{r0}),$$

$$a_2 > a_1 \text{ — temu przypadkowi odpowiada podział } x_1 = 1, x_2 = 0,$$

$a_2 = a_1$ — podział łączy może być dowolny, gdyż każda para wartości x_1 i x_2 spełniająca warunek $x_1 + x_2 = 1$ jest rozwiązaniem optymalnym.

Zagadnienie to można uogólnić na dowolną liczbę dróg połączeniowych. W takim przypadku rozwiązaniem optymalnym będzie następujący rozdział łączy. Jeżeli jedna z dróg połączeniowych charakteryzuje się praw-



Rys. 5. Konstrukcja graficzna ilustrująca rozwiązanie zagadnienia zminimalizowania formy liniowej $L = a_1x_1 + a_2x_2$

dopodobieństwem przerwania łączności mniejszym od prawdopodobieństw pozostałych dróg, to wszystkie łącza relacji należy poprowadzić tą drogą. Przy jednakowych prawdopodobieństwach uszkodzenia wszystkich dróg połączeniowych — przepustowości dróg połączeniowych nie mają wpływu na wartość operacyjnej efektywności działania relacji. Jeżeli k dróg połączeniowych ma jednakową wartość prawdopodobieństwa uszkodzenia, przy czym jest ona mniejsza od prawdopodobieństw uszkodzenia pozostałych dróg, to wszystkie łącza relacji należy rozmieścić w tych k drogach, a sposób rozdziału łączy między te drogi może być dowolny.

Powyżej stwierdzono, że przy równych prawdopodobieństwach sprawnego stanu dróg połączeniowych sposób rozdziału łączy relacji między te drogi nie wywiera wpływu na efektywność działania relacji. Zbadajmy z kolei, jaki wpływ w takim wypadku ma liczba dróg połączeniowych.

Jeżeli relacja jest utworzona z n dróg połączeniowych o jednakowym prawdopodobieństwie sprawnej pracy p_1 , przy czym łącza są rozdzielone między te drogi w sposób równomierny (każdą drogą poprowadzono $\frac{C_{10}}{n}$

łączy), to operacyjna efektywność działania relacji wyrazi się wzorem

$$F(n) = p_1^n + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{i}{n} \binom{n}{i} p_1^{n-i} q_1^i \quad (12)$$

Analizując tę zależność jako funkcję zmiennej n (liczby dróg), można przekonać się, że $F(n+1) < F(n)$ dla $n > 2$. Zatem czym mniejsza będzie liczba dróg połączeniowych relacji, tym większa będzie efektywność.

Na podstawie wyżej przeprowadzonych rozważań można zatem sformułować następujący ogólny wniosek. W celu otrzymania dużych wartości operacyjnej efektywności działania relacji należy łączy relacji rozdzielać między drogi połączeniowe o większym prawdopodobieństwie sprawnego działania, liczba dróg połączeniowych powinna być przy tym możliwie mała, tj. bliska minimalnej wartości $n_{min} = \frac{C_{r0}}{c_0}$.

4. ROZPLYW ŁĄCZY A ODPORNOŚĆ RELACJI NA USZKODZENIA

Niezawodność obiektu definiuje się zwykle jako zdolność tego obiektu do wykonania określonego zadania w określonym czasie i otoczeniu. Przyjęcie stochastycznego modelu niezawodnościowego pozwala na wprowadzenie ilościowych miar niezawodności, co z kolei daje podstawę do poszukiwania rozwiązań optymalnych w sensie wybranych wskaźników niezawodności.

Istnieją jednak również inne określenia niezawodności. Jedną z takich definicji, określających niezawodność sieci łączności od strony jakościowej, jest następująca definicja.

Sieć łączności nazywamy niezawodną, jeżeli mimo jednoczesnego wystąpienia m uszkodzeń elementów składowych sieci łączność między rozdzielonymi węzłami sieci nie zostanie całkowicie przerwana — czynnych pozostanie C_{rmin} łączy, przy czym $C_{rmin} < C_{r0}$. Sieć niezawodną w sensie podanej definicji nazywać będziemy siecią odporną na m uszkodzeń.

Planowanie sieci relacji odpornej na m uszkodzeń jest zadaniem stosunkowo prostym. Ponieważ podana definicja nie precyzuje o jakie uszkodzenia chodzi, to uwzględniać należy przede wszystkim te uszkodzenia, których skutki są najbardziej ciężkie. Dla sieci relacji będą to uszkodzenia tych elementów sieci, których przepustowości są największe. Takimi elementami są oczywiście odcinki linii sieci łączy. Uszkodzenie odcinka linii pociąga bowiem za sobą unieruchomienie wszystkich dróg połączeniowych relacji, przebiegających przez dany odcinek (daną trasę), gdy tymczasem uszkodzenie grupy łączy powoduje przerwanie jedynie jednej drogi połączeniowej.

Z przeprowadzonego rozumowania wynika, że rozplływ łączy relacji, od której wymaga się, aby była ona odporna na uszkodzenia, polegać będzie zatem na utworzeniu planu tras przebiegu łączy relacji oraz na wyznaczeniu przepustowości każdej trasy. Natomiast podział łączy na wiązki tworzące poszczególne drogi połączeniowe nie jest w tym wypadku istotny.

Wyznaczenie struktury sieci odpornej na m jednoczesnych uszkodzeń może być przeprowadzane w rozmaity sposób (patrz np. [4]). Podamy tutaj jeden z takich sposobów. Jeżeli relacja jest nieprzełączalna, to odporność na m uszkodzeń może być osiągnięta przez poprowadzenie łączy relacji $m + 1$ równoległymi trasami, przy czym każdą trasą należy poprowadzić co najmniej C_{rmin} łączy. Wynika stąd, że wartość C_{rmin} jest ograniczona następującą nierównością:

$$C_{rmin} \leq \frac{C_{r0}}{m+1} \quad (13)$$

I tak, jeżeli łączy relacji poprowadzone są dwiema trasami, to relacja taka będzie odporna na jedno uszkodzenie, a liczba czynnych zawsze łączy C_{rmin} jest równa mniejszej z przepustowości obu tras. Jeżeli relacja ma być odporna na dwa uszkodzenia, łączy relacji należy prowadzić trzema trasami, itd.

Można zauważyć, że stosowane przy planowaniu sieci telefonicznych zalecenie „pierwszą najkrótszą trasą poprowadzić $x^0/0$ łączy, drugą najkrótszą trasą — $y^0/0$ łączy” jest zaleceniem prowadzącym do zaplanowania sieci niezawodnej w sensie przytoczonej definicji przy $m = 1$.

Omawiana definicja niezawodności sieci łączności charakteryzuje zachowanie się sieci od strony jakościowej i pozwala na wprowadzenie jedynie dwupunktowej skali ocen: sieć jest odporna na m jednoczesnych uszkodzeń lub nie jest odporna (spełnia lub nie spełnia postawione wymagania). Dlatego też dodatkowe analizowanie takiej relacji pod względem niezawodności, rozumianej w zwykłym sensie, nie może wpłynąć na poprawę odporności na uszkodzenia.

5. WNIOSKI

W niniejszej pracy zbadano zależności, jakie występują pomiędzy rozplływem łączy a wskaźnikami, charakteryzującymi niezawodność sieci relacji. Stwierdzono, że:

- dla zapewnienia większej wartości współczynnika gotowości należy zwiększać ilość dróg połączeniowych oraz ilość tras, po których drogi te są prowadzone;
- dla zapewnienia większej efektywności działania należy zmniejszać

ilość dróg połączeniowych w relacji, przy czym wszystkie drogi połączeniowe winny mieć jednakowe prawdopodobieństwo sprawnej pracy (co uzyskać można przez poprowadzenie wszystkich dróg jedną trasą);

— dla zapewnienia odporności na m uszkodzeń wszystkie łączy relacji należy rozdzielić na $m + 1$ tras.

Łatwo przekonać się, że wymagania nakładane na rozptyw łączy dla maksymalizacji współczynnika gotowości i efektywności działania są przeciwstawne. Natomiast osiągnięcie zadanej odporności na uszkodzenia nie wymaga optymalizacji (sieć nie może być bardziej lub mniej odporną).

Ostatecznie należy więc stwierdzić, że rozptyw łączy relacji można planować tylko względem jednego z trzech omówionych kryteriów. Wybór jednego — eliminuje pozostałe.

WYKAZ LITERATURY

1. Praca zbiorowa: Współczesne sieci teletransmisyjne. WKiŁ, Warszawa, 1967.
2. Frydrych Z.: Wskaźniki niezawodności relacji telefonicznych i metody ich obliczania. Prace IŁ 1 (53).
3. Zastosowanie teorii niezawodności do zagadnień sieci telekomunikacyjnych. Biuletyn Techniczny MŁ, 1965, nr 6, s. 9—17.
4. Nakamura G.: A flow network with high reliability. Review of the Electrical Commun. Lab. 1966, t. 14, March-April, s. 254—269. (Patrz także Ekspres Inf. Tiesniczeskaja Kibiernietika, 1966, nr 30, ref. 21.)

3. Фридрих

ЗАМЕЧАНИЯ О ПЛАНИРОВАНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕПЕЙ МЕЖДУГОРОДНОЙ СВЯЗИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Резюме

Изучены общие зависимости между распределением цепей, связывающих оконечные узлы сети и значениями выбранных показателей надёжности телефонной связи. Проанализированы два основных показателя: коэффициент готовности, характеризующий непрерывность действия связи и коэффициент эффективности, определяющий среднее число действующих каналов. В итоге получено, что предъявляемые этими показателями требования относительно распределения каналов оказываются противоположными.

Добавочно исследовано распределение каналов при другом определении надёжности сети: сеть называется надёжной, если выступление в сети m одновременных повреждений не нарушает исправность связи сети между оконечными узлами связи.

Z. Frydrych

REMARKS ABOUT RELIABILITY ASPECTS OF CIRCUIT DISTRIBUTION PLANNING

Summary

In the paper the general relations between the circuit distribution and the values of the chosen indices, describing the reliability of telephone traffic route are given.

Two fundamental indices have been treated: the index characterising the traffic route regarding the operation continuity and the second one describing the mean number of circuits being in operation. It has been stated that the demand placed by two indices are reciprocal.

In addition the distribution of circuits has been examined in the case where the survivable network was defined as the network keeping the operation ability when simultaneous faults appear.

Z. Frydrych

REMARQUES SUR LES ASPECTS DE FIABILITÉ DANS LA PLANIFICATION DU ROUTAGE

Résumé

On a examiné les relations générales, qui existent entre le routage des faisceaux de circuits et les valeurs de quelques indices choisis, concernant la fiabilité des routes téléphoniques directes.

Deux indices fondamentaux ont été considérés: l'indice caractérisant les faisceaux de circuits directs du point de vue de continuité du fonctionnement et celui caractérisant le nombre moyen de circuits actifs.

On a constaté que les exigences résultant de deux indices sont contredisants.

Enfin on a étudié le routage des faisceaux de circuits en cas d'appréciation du réseau qui garde l'efficacité du fonctionnement (limitée) malgré l'apparition de m défauts de la ligne en même temps.

Z. Frydrych

BEMERKUNGEN ÜBER ZUVERLÄSSIGKEITSASPEKTE DER PLANUNG DER LEITUNGSVERTEILUNG EINER FERNSPRECHVERKEHRSRICHTUNG

Zusammenfassung

In der Arbeit hat man die Zusammenhänge untersucht, die zwischen der Leitungsverteilung und den gewählten, die Zuverlässigkeit der Fernsprechverkehrsrichtung kennzeichnenden Kenngrößen bestehen.

Zwei grundsätzliche Kenngrößen wurden besprochen: einer, der die Verkehrsrichtung hinsichtlich der Betriebskontinuirlichkeit charakterisiert und zweiter, der die durchschnittliche Anzahl der aktiven Leitungen bestimmt. Es wurde festgestellt, dass die Forderungen, die von den beiden Kenngrößen gestellt werden, gegensätzlich sind.

Zusätzlich hat man die Leitungsverteilung untersucht bei anderer Bestimmung der Zuverlässigkeit des Leitungsnetzes: Leitungsnetz heisst zuverlässig, wenn bei Auftreten m gleichzeitige Störungen die Fernleitungsbündeln nicht ganz unterbrochen werden.

Cena zł 18,—