

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRACE
INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI

ROK XVI

ZESZYT 4(56)

1969

WARSZAWA 1970

WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE

SPIS TREŚCI

| | |
|--|----|
| 1. <i>Zbigniew Frydrych</i> — Analiza niezawodności relacji telefonicznych na bazie uproszczonego modelu uszkodzeń | 3 |
| 2. <i>Zbigniew Frydrych</i> — Obliczanie strat ruchu telefonicznego z uwzględnieniem uszkodzeń odcinków w podstawowej sieci linii telefonicznych | 25 |
| 3. <i>Ryszard Grzegorz Strużak, Henryk Smorąg, Mirosław Pietranik</i> — Normalizacja urządzeń do pomiarów zakłóceń radioelektrycznych | 43 |
| 4. <i>Katarzyna Ryniewicz</i> — Badania nad ulepszeniem stopów i aktywatorów do protektorów stosowanych przy ochronie katodowej urządzeń liniowych | 59 |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| 1. <i>З. Фридрих</i> — Анализ надежности телефонных связей между парами узлов на базе упрощенной модели отказов | 3 |
| 2. <i>З. Фридрих</i> — Расчет потерь телефонного сообщения с учетом повреждений участков в магистральной сети телефонной связи | 25 |
| 3. <i>Р. Г. Стружак, Г. Сморог, М. Петраник</i> — Стандартизация устройств для измерений радиоэлектрических помех | 43 |
| 4. <i>К. Рывевич</i> — Исследования по усовершенствованию сплавов и активаторов для протекторов, применяемых при катодной защите линейных сооружений | 59 |

CONTENTS

| | |
|---|----|
| 1. <i>Z. Frydrych</i> — Reliability analysis of a telephone route on the basis of a simplified fault model | 3 |
| 2. <i>Z. Frydrych</i> — Calculation of the telephone traffic losses taking into account the faults of the line sectors of a basic telephone network | 25 |
| 3. <i>R. G. Strużak, H. Smorąg, M. Pietranik</i> — Standardization of instruments for measuring the radiofrequency interference | 43 |
| 4. <i>K. Ryniewicz</i> — Research on perfecting the alloys and activators for cathodic protection of underground line installations (cables) | 59 |

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| 1. <i>Z. Frydrych</i> — Analyse de la fiabilité des faisceaux de voies téléphoniques entre deux points fixes à la base d'un modèle de défauts simplifié | 3 |
| 2. <i>Z. Frydrych</i> — Calcul des pertes du trafic téléphonique tenant compte des dérangements des sections du réseau téléphonique de base | 25 |
| 3. <i>R. G. Strużak, H. Smorąg, M. Pietranik</i> — Normalisation des appareils à mesurer les perturbations radioélectriques | 43 |
| 4. <i>K. Ryniewicz</i> — Recherches sur l'amélioration des alliages et des activateurs utilisés pour la protection cathodique des installations souterraines de lignes (câbles) | 59 |

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| 1. <i>Z. Frydrych</i> — Die Analyse der Zuverlässigkeit von Fernsprechverbindungen auf Grund eines vereinfachten Beschädigungsmodells | 3 |
| 2. <i>Z. Frydrych</i> — Berechnung der Fernsprechverkehrsverlusten mit Berücksichtigung der Beschädigungen der Abschnitte in dem Grundnetz von Fernsprechleitungen | 25 |
| 3. <i>R. G. Strużak, H. Smorąg, M. Pietranik</i> — Normalisierung der Messeinrichtungen für Rundfunkstörungen | 43 |
| 4. <i>K. Ryniewicz</i> — Forschungen über Verbesserung der Legierungen und Aktivatoren für die beim Kathodenschutz der Leitungseinrichtungen angewendeten Protektoren | 59 |

PRACE INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI

ROK XVI

ZESZYT 4(56)

Praca zbiorowa
Prace Instytutu Łączności. Z. 4/56
Błędy dostrzeżone w druku

| Str. | Wiersz | Jest | Powinno być |
|------|-------------------|--------------------------------------|---|
| 9 | wzór (8) | $\sum_{G_j \in \Omega_k}$ | $\sum_{G_j \in \Omega_k}$ |
| 28 | wzór (2) | $\sum_{G_j \in \Omega_k}$ | $\sum_{G_j \in \Omega_k}$ |
| 32 | 3 od dołu | $\frac{A_{ij}}{1+n_{ij}+a_j-A_{ij}}$ | $\frac{A_{ij}}{1+n_{ij}+a_{ij}-A_{ij}}$ |
| 33 | 17 od dołu | $E_{n_{ij}+n_{ij}}^*(A_{ij}^*)$ | $E_{n_{ij}+n_{ij}}^*(A_{ij}^*)$ |
| 36 | 12 od góry | $\frac{A_2}{M_{21}}$ | $\frac{A_{21}^*}{M_{21}}$ |
| 78 | główka tablicy | (A godz kG) | (A godz/kG) |

WARSZAWA 1969

WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE

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

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

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

Indeks 37 359

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

Printed in Poland

Opracowano w Dziale Wydawniczym Instytutu Łączności

Redaktor techniczny *Jadwiga Pakoca*

WNT Warszawa 1970. Wydanie 1. Nakład 600 egz. Ark. wyd. 6,6. Ark druk. 5,75(7,75/A). Format B 5. Papier druk. sat. kl. III 70 g. Oddano do składania 10. 6. 1970 r. Podpisano do druku w grudniu 1970 r. Druk ukończono w grudniu 1970 r. Symbol 80444JNB. Cena zł 25,—

Poznań. Zakłady Graf. im. M. K. — Poznań zam. 10850/70-E-1/1149

ZBIGNIEW FRYDRYCH

621.395.74.019.3

ANALIZA NIEZAWODNOŚCI RELACJI TELEFONICZNYCH NA BAZIE UPROSZCZONEGO MODELU USZKODZEŃ

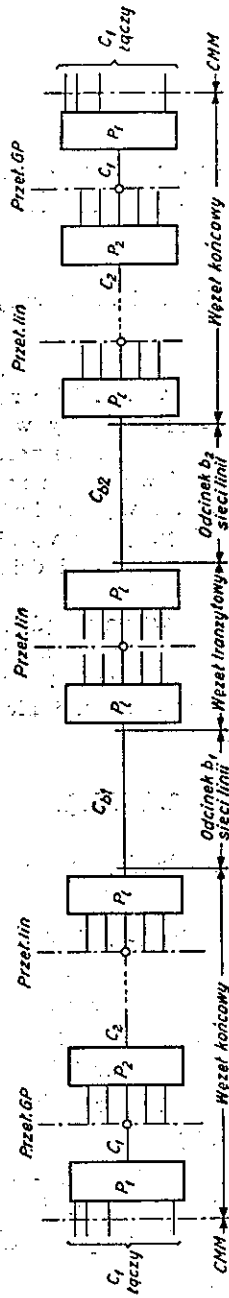
Rękopis dostarczono do Komitetu Redakcyjnego dnia 10. I. 1969 r.

Artykuł dotyczy obliczania wskaźników niezawodności relacji telefonicznych. Rozpatruje się przypadek, gdy występują tylko dwa rodzaje uszkodzeń. Przyjęcie założenia o niezależności tych uszkodzeń pozwala rozdzielić układ niezawodnościowy relacji na dwie części — część końcową związaną z urządzeniami węzłów końcowych relacji oraz część liniową związaną z liniami połączeniowymi między węzłami relacji. Podano metody obliczania efektywności działania i współczynnika gotowości relacji.

Rozpatrzono wpływ rezerwowania urządzeń końcowych na niezawodność relacji i stwierdzono, że przy dostatecznie bogatym wyposażeniu węzłów relacji w urządzenia końcowe jest ona określona wyłącznie przez niezawodność części liniowej. Wskaźniki niezawodności części liniowej zależą od sposobu jej realizacji.

1. WSTĘP

Uszkodzenia i restytucje urządzeń i linii połączeniowych, z których jest zestawiona relacja telefoniczna sprawiają, że liczba sprawnych łączy w relacji zmienia się w czasie, oscylując pomiędzy wartością maksymalną C_{r0} i wartością minimalną równą zero. Liczba nieczynnych łączy zależy przy tym nie tylko od liczby jednocześnie niesprawnych elementów relacji, ale również od rodzaju uszkodzonych elementów. Mianowicie charakterystyczną cechą nowoczesnych systemów teletransmisyjnych jest wielostopniowe grupowanie kanałów telefonicznych (rys. 1), w związku z czym uszkodzenie elementu związanego z grupą c_i kanałów powoduje niesprawny stan wiązki c_i łączy. Z powyższego wynika, że pełny układ niezawodnościowy relacji powinien zawierać co najmniej tyle różnych elementów niezawodnościowych, ile różnych grup kanałów występuje w stosowanym systemie teletransmisyjnym.



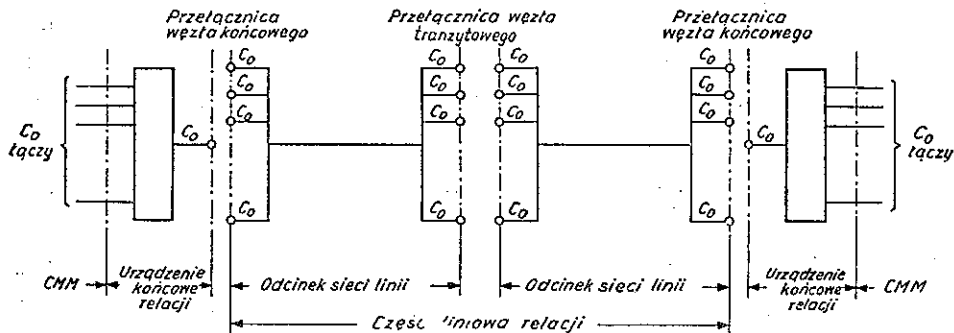
Rys. 1. Schemat blokowy relacji z jednym węzłem tranzytorem P_i — urządzenie związane z grupą c_i łączny (przemiennik grupowy)

Przet. — przelaznica

W niniejszym artykule zostanie rozpatrzony pewien uproszczony układ niezawodnościowy relacji, w którym występują jedynie dwa rodzaje elementów: elementy reprezentujące niezawodność urządzeń końcowych związanych z jednostkową grupą c_0 łączy oraz elementy reprezentujące niezawodność odcinków sieci linii połączeniowych.

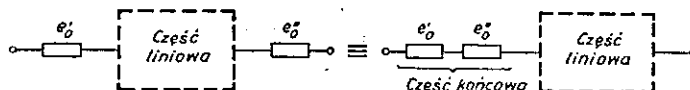
2. UPROSZCZONY UKŁAD NIEZAWODNOŚCIOWY RELACJI

Jako podstawową wiązkę łączy w relacji przyjmujemy wiązkę c_0 łączy. Wiązkę taką będziemy nazywać dalej drogą połączeniową między węzłami końcowymi relacji. Droga połączeniowa jest zestawiona z dwu urządzeń formujących podstawowe grupy c_0 łączy, a znajdujących się w obu węzłach końcowych relacji oraz z części liniowej obejmującej grupę c_0 łączy (kanałów), tworzącą połączenie między węzłami końcowymi relacji. Część liniowa jest utworzona z odcinków sieci linii telefonicznych, przy czym kaskadowe łączenie grup łączy kolejnych odcinków sieci linii jest wykonywane w węzłach tranzytowych. Przykład jednej drogi połączeniowej jest pokazany na rys. 2.



Rys. 2. Uproszczony schemat jednej drogi połączeniowej zawierającej c_0 łączy

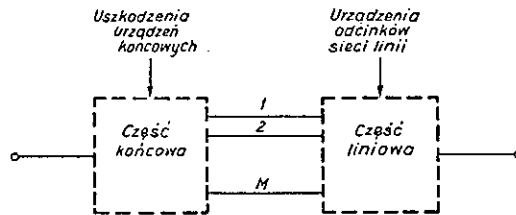
Jeżeli przyjmiemy, że węzły (przełącznice) są absolutnie niezawodne, to każdą drogę połączeniową można przedstawić układem niezawodnościowym pokazanym na rys. 3. „Nakładając na siebie” wszystkie drogi połączeniowe relacji otrzymuje się układ niezawodnościowy relacji pokazany na rys. 4. Liczba połączeń między obu częściami układu odpowiada maksy-



Rys. 3. Układ niezawodnościowy jednej drogi połączeniowej

Elementy e'_0 i e''_0 reprezentują niezawodność urządzeń drogi połączeniowej, znajdujących się w węzłach relacji końcowych

malnej liczbie dróg połączeniowych, które jednocześnie mogą być czynne w relacji. Liczbę tę oznaczamy przez M i będziemy nazywać nominalną liczbą dróg połączeniowych relacji.



Rys. 4. Układ relacji przy uproszczonym modelu uszkodzeń

Wprowadzony układ niezawodnościowy będziemy analizować przy następujących ogólnych założeniach. Uszkodzenia, którym ulegają elementy relacji są uszkodzeniami przypadkowymi charakteryzującymi się skokową zmianą stanu elementu, przy czym element może znajdować się jedynie w stanie pełnej sprawności albo w stanie uszkodzenia. Natychmiast po wystąpieniu uszkodzenia rozpoczyna się restytucja elementu. Restytucją elementu będziemy nazywać całość prac związanych z usunięciem uszkodzenia i przywróceniem elementowi pełnej sprawności. Procesy uszkodzeń i restytucji poszczególnych elementów są niezależne. Relacja znajduje się w stanie ustalonym procesu uszkodzeń i restytucji.

3. WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI RELACJI

Jeżeli układ niezawodnościowy relacji zawiera N elementów, to będzie się on znajdował zawsze w jednym z 2^N stanów, określonych przez chwilowy stan elementów składowych. Każdy z tych stanów x_i scharakteryzować można dwoma parametrami: prawdopodobieństwem wystąpienia tego stanu $P_r(x_i)$ oraz liczbą sprawnych dróg połączeniowych k . Zgrupujemy stany x_i w taki sposób, że wszystkie stany, w których sprawnych jest k dróg połączeniowych będą tworzyć podzbiór Ω_k . Sumując $P_r(x_i)$ wszystkich stanów podzbioru Ω_k otrzymuje się prawdopodobieństwo $P_r(\Omega_k)$, że łączność w relacji będzie utrzymywana za pomocą k sprawnych dróg połączeniowych:

$$P_r(\Omega_k) = \sum_{x_i \in \Omega_k} P_r(x_i) \quad (1)$$

Parametr k przyjmować może $M + 1$ wartości, $k = 0, 1, 2, \dots, M$. Podzbiór Ω_0 zawiera stany, w których łączność w relacji jest przerwana na skutek braku sprawnych dróg połączeniowych.

Jakość łączności w relacji znajdującej się w stanie $x_i \in \Omega_k$ można ocenić liczbowo współczynnikiem efektywności podzbioru Ω_k , zdefiniowanym następującym wyrażeniem

$$\nu_k = \frac{k}{M} \quad (2)$$

Stosując taką ocenę jakości działania relacji, otrzymujemy następujące wyrażenia określające operacyjną efektywność działania relacji [1]:

$$F_r = \sum_{k=0}^M \nu_k P_r(\Omega_k) = \sum_{k=1}^M \nu_k P_r(\Omega_k) \quad (3)$$

Jeżeli natomiast współczynniki efektywności podzbiorów Ω_k określone zostaną następująco

$$\nu'_k = \begin{cases} 0 & \text{dla } k = 0 \\ 1 & \text{dla } k \geq 1 \end{cases} \quad (4)$$

to otrzymuje się drugi wskaźnik niezawodności relacji — współczynnik gotowości relacji [1]

$$K_r = \sum_{k=0}^M \nu'_k P_r(\Omega_k) = \sum_{k=1}^M P_r(\Omega_k) \quad (5)$$

Współczynnik gotowości określa prawdopodobieństwo, z jakim będzie utrzymywana łączność w relacji, przy czym liczba dróg połączeniowych, za pomocą których łączność ta jest realizowana — nie jest istotna.

W celu obliczenia obu wskaźników należy wyznaczyć wartości $P_r(\Omega_k)$ dla wszystkich $k \geq 1$. W rozpatrywanym układzie niezawodnościowym (rys. 4) relacja została rozdzielona na dwie części. Ponieważ przyjęto niezależność uszkodzeń i restytucji wszystkich elementów, to obie te części, z których każda zawiera elementy jednego rodzaju, można analizować oddzielnie. Metody analizy zostaną podane w następnych punktach. Założmy, że w wyniku tej analizy zostały wyliczone wartości $P(\Omega_k)$, $k = 1, 2, \dots, M$ oraz $P_0(\Omega_k)$, $k = 1, 2, \dots, n$. Przez $P(\Omega_k)$ oznaczono tutaj prawdopodobieństwo, że część liniowa znajduje się w stanie umożliwiającym utworzenie dokładnie k sprawnych dróg połączeniowych, a $P_0(\Omega_k)$ oznacza takie samo prawdopodobieństwo obliczone dla części końcowej. Dla uogólnienia przyjęto, że wyposażenie części końcowej umożliwia utworzenie maksymalnie n dróg połączeniowych.

Przy znanych wartościach $P(\Omega_k)$ i $P_0(\Omega_k)$ prawdopodobieństwo $P_r(\Omega_k)$ można obliczyć przy pomocy następującego wyrażenia:

$$P_r(\Omega_k) = P(\Omega_k) \sum_{i=k}^n P_0(\Omega_i) + P_0(\Omega_k) \sum_{i=k+1}^M P(\Omega_i)$$

$$P(\Omega_i) = P(\Omega_k) \sum_{i=k+1}^n P_0(\Omega_i) + P_0(\Omega_k) \sum_{i=k}^M P(\Omega_i), \quad k = 1, 2, \dots, M \quad (6)$$

Wzór ten wynika z twierdzenia, że przepustowość kaskadowego połączenia dwóch układów o różnych przepustowościach jest równa mniejszej z tych przepustowości oraz z faktu, że liczba sprawnych dróg połączeniowych relacji jest limitowana z jednej strony chwilową przepustowością części liniowej, z drugiej zaś strony liczbą sprawnych w danej chwili urządzeń końcowych.

4. ANALIZA CZĘŚCI LINIOWEJ RELACJI

Układ niezawodnościowy części liniowej relacji składa się z elementów jednego rodzaju, reprezentujących niezawodność odcinków sieci linii. Uszkodzenie odcinka pociąga za sobą niesprawny stan wszystkich jednostkowych grup łączy tego odcinka, przerywając w ten sposób wszystkie drogi połączeniowe, których trasy przebiegają przez uszkodzony odcinek. Pojedyncze grupy łączy odcinków oddzielnie nie ulegają uszkodzeniom, podobnie węzły tranzytowe są absolutnie niezawodne.

Przyjmujemy, że dla każdego odcinka sieci linii znane jest prawdopodobieństwo sprawnego stanu. Ponieważ rozważania ograniczyliśmy do stanu ustalonego, to prawdopodobieństwo to jest równe współczynnikowi gotowości odcinka.

Analiza niezawodności części liniowej staje się bardziej połączona, jeżeli sieć linii przedstawiać w postaci grafu G_0 , którego gałęzie odpowiadają odcinkom sieci linii, a wierzchołki — węzłom sieci. Wówczas układ niezawodnościowy relacji można przedstawić grafem G , w którym z każdą jego gałęzią są związane dwa parametry: prawdopodobieństwo sprawnego stanu p_i oraz liczba μ_i jednostkowych grup łączy przydzielonych rozpatrywanej relacji. Graf relacji G jest podgrafem grafu G_0 , utworzonym przez wszystkie odcinki sieci linii związane z rozpatrywaną relacją oraz wszystkie incydentne tym odcinkom węzły.

W [1] opisano algorytm pozwalający wyznaczyć efektywność działania relacji przedstawionej grafem. W oparciu o ten algorytm przedstawimy sposób obliczania prawdopodobieństw $P(\Omega_k)$ na podstawie grafu części liniowej relacji. Rozpatrzmy przy tym oddzielnie trzy zasadnicze warianty realizacji części liniowej relacji.

4.1. Wszystkie łączy relacji kierowane jedną trasą

W tym wariantcie graf relacji będzie się składał z prostego łańcucha gałęzi, przy czym μ_i wszystkich gałęzi są równe M . Prawdopodobieństwo $P(\Omega_k)$ będzie zatem równe

$$P(\Omega_k) = \begin{cases} 0 & \text{dla } k < M \\ p_i^M & \text{dla } k = M \end{cases} \quad (7)$$

4.2. Łącza relacji kierowane różnymi (częściowo różnymi) trasami

Graf relacji G i parametry μ_i określa się w tym wypadku na podstawie planu kierowania dróg połączeniowych w sieci linii, a prawdopodobieństwa $P(\Omega_k)$ oblicza przy pomocy następującej modyfikacji wspomnianego algorytmu:

1. Wyznaczyć wszystkie zbiory rozcinające grafu relacji G .
2. Wybrać dowolny, nie rozpatrzony dotychczas, częściowy graf G_j grafu G .
3. Przez wyznaczenie minimalnej wartości zbioru rozcinającego grafu G_j określić podzbiór Ω_k (liczbę sprawnych dróg połączeniowych), do którego należy rozpatrywany stan. Jeżeli $k = 0$ — wrócić do punktu 2.
4. Obliczyć prawdopodobieństwo $P(G_j)$ wystąpienia grafu G_j .
5. Jeżeli pozostały nie rozpatrzone grafy częściowe grafu G — wrócić do punktu 2.
6. Obliczyć prawdopodobieństwa $P(\Omega_k)$, sumując obliczone w punkcie 4 wartości $P(G_j)$ według następującej zasady:

$$P(\Omega_k) = \sum_{G_j \in \Omega_k} P(G_j), k = 1, 2, \dots, M. \quad (8)$$

W celu zmniejszenia ilości niezbędnych obliczeń można zamiast grafu G analizować zredukowany graf G' . Graf G' uzyskuje się przez zastąpienie prostych łańcuchów gałęzi grafu G jedną gałęzią o prawdopodobieństwie $p' = \pi_{p_j}$ (rys. 7).

Należy zwrócić uwagę, że przy prowadzeniu łączy relacji częściowo różnymi trasami sieć linii relacji może tworzyć układ pozwalający na zestawianie zastępczych dróg połączeniowych, przez co część liniowa relacji staje się przełączalną. Wiadomo zaś [2], że wersja przełączalna ma zawsze wyższe wskaźniki niezawodności.

4.3. Relacja z łączy z rezerwowymi

Istnieje szereg możliwych rozwiązań relacji z wykorzystaniem specjalnych łączy rezerwowych. Obowiązuje jednak zawsze następująca ogólna zasada. Wszystkie łącza relacji kieruje się najkrótszą trasą. Trasę tę nazywać będziemy dalej trasą podstawową. Przy wystąpieniu uszkodzenia trasy podstawowej uruchamia się trasę obejściową, zestawioną z rezerwowych łączy sieci linii. Po restytucji trasy podstawowej łącza tej trasy przejmują ponownie łączność w relacji, a trasa obejściowa ulega likwidacji.

Przy planowaniu relacji z łączy z rezerwowymi istotne są dwa problemy: określenie tras obejściowych oraz sposób gospodarowania łączy

rezerwowymi. Przyjęte dla rozpatrywanej sieci linii rozwiązanie tych problemów musi być podane w specjalnym planie tras obejściowych i planie gospodarowania łączami rezerwowymi. Jako przykład można podać następujące zasady sporządzania tych planów.

Plan tras obejściowych relacji tworzy się w ten sposób, że usuwa się jeden odcinek trasy podstawowej z sieci linii (zakłada się pojedyncze uszkodzenie trasy podstawowej) i w uzyskanej w ten sposób nowej sieci linii określa się ponownie najkrótszą trasę. Trasę tę przyjmuje się jako trasę obejściową, którą należy uruchomić w przypadku uszkodzenia usuniętego odcinka. Czynność tę powtarza się kolejno dla wszystkich odcinków trasy podstawowej. Zatem w ogólnym przypadku otrzyma się tyle tras obejściowych, z ilu odcinków jest zestawiona trasa podstawowa relacji. Oczywiście niektóre lub wszystkie trasy obejściowe mogą się przy tym pokrywać.

W sieci linii z łączami rezerwowymi występują dwa rodzaje łączy: łączy podstawowe, służące do zestawiania tras podstawowych relacji, oraz łączy rezerwowe, z których tworzy się trasy obejściowe. Przyjmując, że łączy rezerwowe odcinka sieci linii mogą być wykorzystywane do tworzenia tras obejściowych różnych relacji (tzw. przypadek wspólnych łączy rezerwowych), plan gospodarowania łączami rezerwowymi można oprzeć na następującej zasadzie. Podział grup łączy rezerwowych odcinka b_r pomiędzy konieczne w danej chwili trasy obejściowe przeprowadza się na nowo przy każdej zmianie liczby tras obejściowych, przechodzących przez rozpatrywany odcinek. Każdej trasie przydziela się przy tym liczbę grup μ_i proporcjonalnie do nominalnej liczby dróg M_i tej relacji:

$$\frac{\mu_i}{\mu_r} = \frac{M_i}{\sum_j M_j} \quad (9a)$$

Liczba przydzielonych grup μ_i powinna przy tym spełniać warunek

$$1 \leq \mu_i \leq M_i \quad (9b)$$

przy czym μ_r oznacza liczbę grup łączy rezerwowych odcinka b_r , a w sumie $\sum_j M_j$ uwzględnia się te relacje, które wymagają w danej chwili utworzenia trasy obejściowej.

Dla relacji ze wspólnymi łączami rezerwowymi prawdopodobieństwa $P(\Omega_k)$ obliczyć można za pomocą następującego algorytmu:

1. Trasę podstawową relacji analizować jak w przypadku kierowania łączy relacji jedną trasą.
2. Wybrać kolejną j -tą trasę obejściową i wyznaczyć dla niej podgraf G_j .
3. Wybrać kolejny, nie rozpatrywany dotąd, graf częściowy G_{ji} grafu G_j .
4. Określić na podstawie planu tras obejściowych i planu gospodarowania łączami rezerwowymi podzbiór Ω_k , do którego należy graf G_{ji} .

5. Obliczyć prawdopodobieństwo $P(G_{ji})$ wystąpienia grafu G_{ji} .
6. Jeżeli pozostały nie rozpatrzone dotąd grafy częściowe grafu G_j — wrócić do punktu 3.
7. Jeżeli pozostały nie rozpatrzone dotąd trasy obejściowe relacji — wrócić do punktu 2.
8. Obliczyć prawdopodobieństwo sprawnego stanu dokładnie k dróg połączeniowych, tworząc sumy prawdopodobieństw $P(G_{ji})$ według wzoru

$$P(\Omega_k) = \sum_{G_{ji} \in \Omega_k} P(G_{ji}), k = 1, 2, \dots, M, \quad (10)$$

przy czym do $P(\Omega_M)$ dodać prawdopodobieństwo sprawnego stanu trasy podstawowej.

Dla potrzeb tego algorytmu grafem G_j j -tej trasy obejściowej będziemy nazywać podgraf grafu G_0 zawierający:

- a) wszystkie odcinki sieci linii tworzące j -tą trasę obejściową,
- b) odcinki warunkujące uruchomienie tej trasy,
- c) wszystkie inne odcinki mające wpływ na podział łączy rezerwowych odcinków wymienionych w a,
- d) węzły sieci linii incydentne odcinkom wymienionym w punktach a—c.

Grafem częściowym grafu G_j będziemy nazywać graf utworzony przez wszystkie wierzchołki grafu G_j , wszystkie odcinki wymienione w punkcie a, odcinki punktu b zgodnie z warunkami uruchomienia j -tej trasy oraz część odcinków wymienionych w punkcie c. Takie określenie grafu częściowego powoduje, że nie analizuje się stanów, w których trasa obejściowa nie jest uruchomiona lub w których trasa ta jest przerywana na skutek uszkodzenia tworzących ją odcinków.

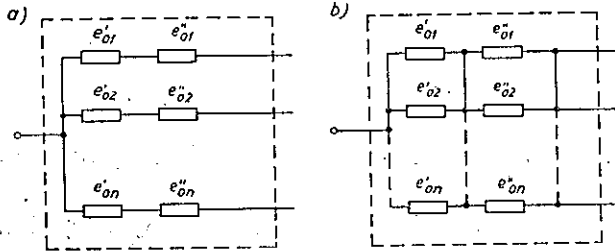
Określenie podzbioru Ω_k , do którego należy rozpatrywany graf częściowy, polega na określeniu liczby grup przydzielonych trasie w poszczególnych odcinkach tej trasy. Liczba sprawnych dróg połączeniowych jest równa najmniejszej z tych liczb.

5. ANALIZA CZĘŚCI KOŃCOWEJ RELACJI

Układ niezawodnościowy części końcowej zawierającej po n urządzeń w każdym węźle końcowym relacji może mieć jedną ze struktur pokazanych na rys. 5. Układ a odpowiada wersji nieprzełączalnej i charakteryzuje się tym, że oba urządzenia końcowe e'_0 i e''_0 każdej drogi połączeniowej są połączone ze sobą i z częścią liniową w sposób stały, nie przewidujący jakichkolwiek zmian połączeń w czasie eksploatacji. Układ b przedstawia wersję przełączalną części końcowej, w której każda droga połączeniowa może być utworzona przez kombinację dowolnych urządzeń e'_0 i e''_0 .

Oznaczamy przez ξ liczbę kaskadowo połączonych par urządzeń e'_0 i e''_0 , znajdujących się w stanie sprawnym. Wówczas prawdopodobieństwo $P_0(\Omega_k)$ jest równe prawdopodobieństwu przyjęcia przez zmienną losową ξ wartości k

$$P_0(\Omega_k) = P\{\xi = k\}, k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (11)$$



Rys. 5. Układ niezawodnościowy części końcowej relacji: a) w wersji nieprzełączalnej, b) w wersji przełączalnej

Prawdopodobieństwo $P\{\xi = k\}$ będziemy obliczali przy następujących założeniach. Wszystkie urządzenia końcowe są identyczne i znane jest prawdopodobieństwo sprawnego stanu tych urządzeń (elementów e'_0 i e''_0) — oznaczać je będziemy przez p'_0 .

5.1. Wersja nieprzełączalna

W układzie pokazanym na rys. 5a można elementy e'_0 i e''_0 zastąpić jednym elementem e_0 , którego prawdopodobieństwo sprawnego stanu jest równe $p_0 = (p'_0)^2$.

Przy założeniu niezależności uszkodzeń i restytucji elementów e_0 zmienna losowa ξ będzie miała rozkład dwumianowy [3].

Zatem

$$P\{\xi = k\} = \binom{n}{k} p_0^k q_0^{n-k}, \quad (12)$$

gdzie $q_0 = 1 - p_0$.

5.2. Wersja przełączalna

Oznaczamy przez ξ' i ξ'' liczbę sprawnych jednocześnie elementów e'_0 i e''_0 w każdym węźle końcowym relacji. Wówczas zmienna ξ będzie równa

$$\xi = \min\{\xi', \xi''\} \quad (13)$$

Zatem przy założeniu niezależności uszkodzeń i restytucji możemy napisać

$$\begin{aligned} P\{\xi = k\} &= P\{\xi' = k, \xi'' \geq k\} + P\{\xi' > k, \xi'' = k\} \\ &= P\{\xi' = k\}P\{\xi'' \geq k\} + P\{\xi' > k\}P\{\xi'' = k\} \end{aligned} \quad (14)$$

przy czym poszczególne składowe powyższego wyrażenia oblicza się z rozkładu dwumianowego

$$\begin{aligned} P\{\xi' = k\} &= P\{\xi'' = k\} = \binom{n}{k} (p_0')^k (q_0')^{n-k} \\ P\{\xi' \geq k\} &= P\{\xi'' \geq k\} = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} (p_0')^i (q_0')^{n-i} \\ P\{\xi' > k\} &= P\{\xi'' > k\} = \sum_{i=k+1}^n \binom{n}{i} (p_0')^i (q_0')^{n-i} \end{aligned} \quad (15)$$

6. ZALEŻNOŚĆ WSKAŹNIKÓW NIEZAWODNOŚCI RELACJI OD WYPOSAŻENIA CZĘŚCI KOŃCOWEJ

Dotychczas zakładano ogólnie, że część końcowa relacji jest wyposażona w n urządzeń końcowych, nie precyzując bliżej wartości n . Można tutaj wydzielić dwa przypadki: liczba urządzeń końcowych jest równa nominalnej liczbie dróg połączeniowych relacji, tj. $n = M$, oraz urządzeń końcowych jest więcej — $n > M$. W tym drugim przypadku węzły końcowe są wyposażone w urządzenia rezerwowe, przy czym urządzeń rezerwowych jest $n - M$.

Wyprowadzone w rozdz. 5 wzory dla wersji przełączalnej są słuszne dla dowolnego n . Należy jednak zwrócić uwagę, że przez przyjęcie jednakowych prawdopodobieństw p_0' dla wszystkich elementów e_0 i e_0'' został określony model rezerwowania — obciążone rezerwowanie aktywne [4], w którym zakłada się pełne obciążenie urządzenia znajdującego się w stanie rezerwy (intensywność uszkodzeń i restytucji urządzenia jest taka sama w stanie rezerwy, jak i w stanie pracy).

W przypadku nieprzełączalnej wersji części końcowej jest zawsze zainstalowanych M urządzeń końcowych, jednakże liczba urządzeń biorąca udział w łączności nie może być większa od liczby sprawnych w tym czasie dróg połączeniowych w części liniowej. Z tego powodu we wzorze (6) należy przyjmować dla wersji nieprzełączalnej $n = k$. Podstawiając (6) do (3) przy warunku $n = k$, otrzymujemy następujące wyrażenia wyznaczające operacyjną efektywność działania relacji z częścią końcową w wersji nieprzełączalnej

$$\begin{aligned} E_{np} &= \sum_{k=1}^M v_k \left[P_0(\Omega_k) \sum_{i=k}^M P(\Omega_i) \right] = \sum_{k=1}^M P(\Omega_k) \left[\sum_{i=1}^k p_i P_0(\Omega_i) \right] \\ &= \sum_{k=1}^M P(\Omega_k) \left[\sum_{i=1}^k \frac{i}{M} \binom{k}{i} p_0^i q_0^{k-i} \right] \\ &= \sum_{k=1}^M P(\Omega_k) \frac{k}{M} p_0 \left[\sum_{i=0}^{k-1} \binom{k-1}{i} p_0^i q_0^{k-1-i} \right] = p_0 \sum_{k=1}^M v_k P(\Omega_k) \end{aligned} \quad (16)$$

Przy przekształceniach wykorzystano wzory (2) i (10) oraz zależność

$$\sum_{i=0}^m \binom{m}{i} p_0^i q_0^{m-i} = (p_0 + q_0)^m = 1 \quad (17)$$

Analogicznie otrzymuje się wzór na współczynnik gotowości relacji z nieprzełączalną częścią końcową

$$\begin{aligned} K_{np} &= \sum_{k=1}^M \left[P_0(\Omega_k) \sum_{i=k}^M P(\Omega_i) \right] = \sum_{k=1}^M P(\Omega_k) \left[\sum_{i=1}^k P_0(\Omega_i) \right] = \\ &= \sum_{k=1}^M (1 - q_0^k) P(\Omega_k) \end{aligned} \quad (18)$$

gdyż

$$\sum_{i=1}^k \binom{m}{i} p_0^i q_0^{m-i} = 1 - q_0^m \quad (19)$$

W pracy [2] pokazano, że wersja przełączalna relacji ma zawsze wyższe wskaźniki niezawodności od wersji nieprzełączalnej. Na tej podstawie można twierdzić, że wartości określone wzorami [16] i [18] stanowią dolną granicę efektywności działania i współczynnika gotowości relacji

$$F_{np} \leq F_r, \quad K_{np} \leq K_r \quad (20a)$$

Dla określenia górnej granicy tych wskaźników rozpatrzmy wzór (6). Łatwo sprawdzić, że dla ustalonego $k \leq M$, gdy $n \rightarrow \infty$

$$\sum_{i=k}^n P_0(\Omega_i) \rightarrow 1 \quad \text{i} \quad P_0(\Omega_k) \rightarrow 0$$

Zatem przy $n = \infty$ $P_r(\Omega_k) = P(\Omega_k)$. Otrzymujemy wówczas

$$F_r(n = \infty) = \sum_{k=1}^M v_k P(\Omega_k) = F \quad (21)$$

$$K_r(n = \infty) = \sum_{k=1}^M P(\Omega_k) = K$$

Są to wyrażenia określające operacyjną efektywność działania F i współczynnik gotowości K części liniowej. Wartości F i K są zatem górnymi granicami F_r i K_r .

$$F_r \leq F, \quad K_r \leq K, \quad (20b)$$

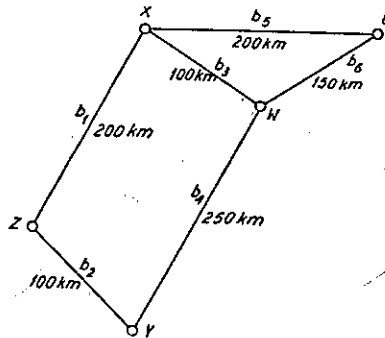
przy czym równość zachodzić będzie w przypadku, gdy część końcowa relacji będzie absolutnie niezawodna, co uzyskuje się albo przez stosowanie absolutnie niezawodnych urządzeń, albo przez dostatecznie bogate

wyposażenie węzłów końcowych w urządzenia rezerwowe (teoretycznie $n = \infty$, praktycznie wystarczy stosunkowo nieduża ich liczba).

Przykład

Dana jest sieć linii telefonicznych przedstawiona na rys. 6. W sieci tej są określone trzy relacje:

- relacja XY o nominalnej liczbie dróg połączeniowych 5,
- relacja XZ o nominalnej liczbie dróg połączeniowych 2,
- relacja XU o nominalnej liczbie dróg połączeniowych 3.



Rys. 6. Przykład sieci linii telefonicznych

Należy wyznaczyć operacyjną efektywność działania i współczynnik gotowości relacji XY dla następujących przypadków:

- a) przy kierowaniu wszystkich dróg połączeniowych pierwszą najkrótszą trasą,
- b) przy prowadzeniu dróg połączeniowych dwiema trasami,
- c) przy korzystaniu z łączy rezerwowych.

Przy obliczeniach należy przyjąć, że:

— prawdopodobieństwo sprawnego stanu i -tego odcinka (współczynnik gotowości) jest określony zależnością

$$p_i = 1 - l_i \cdot 10^{-4},$$

gdzie l_i oznacza długość odcinka w km,

— prawdopodobieństwo sprawnego stanu każdego urządzenia końcowego, związanego z grupą c_0 łączy jest równe

$$p'_0 = 0,95.$$

Obliczenia zaczniemy od wyznaczenia wartości $P(\Omega_k)$ części liniowej relacji XY.

Przypadek a. Najkrótsza trasa łącząca węzły X i Y składa się z odcinków b_1 i b_2 . Kierując tą trasą wszystkie pięć dróg połączeniowych, otrzymamy

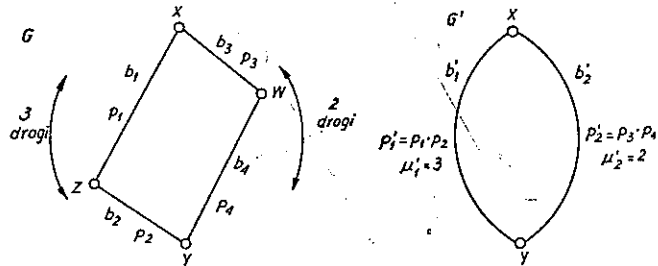
$$P(\Omega_5) = p_1 p_2 = 0,98 \cdot 0,99 = 0,9702.$$

Przypadek b. Załóżmy, że podział dróg połączeniowych pomiędzy obie trasy został narzucony następującą nierównością

$$\frac{1}{3} \leq \frac{\mu_2}{M}, \text{ tj. } \mu_2 \geq \frac{1}{3} M,$$

gdzie μ_2 oznacza liczbę dróg połączeniowych kierowanych drugą trasą.

Z danych przykładu otrzymujemy $\mu_2 \geq \frac{5}{3}$, zatem przyjmujemy $\mu_2 = 2$. Należy więc pierwszą najkrótszą trasą skierować 3 drogi połączeniowe, drugą najkrótszą trasą (jest nią trasa złożona z odcinków b_3 i b_4) skierować 2 drogi. Graf G tej relacji i zredukowany graf G' są pokazane



Rys. 7. Graf relacji G i zredukowany graf G' przy prowadzeniu dróg połączeniowych dwiema trasami

na rys. 7. Stosując podany poprzednio algorytm, otrzymujemy następujące wartości prawdopodobieństw $P(\Omega_k)$:

$$P(\Omega_5) = p'_1 p'_2 = p_1 p_2 p_3 p_4 = 0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,975 = 0,936 485 55$$

$$P(\Omega_3) = p'_1 q'_2 = p_1 p_2 (1 - p_3 p_4) = 0,033 714 45$$

$$P(\Omega_2) = q'_1 p'_2 = (1 - p_1 p_2) p_3 p_4 = 0,028 764 45$$

Przypadek c. Przyjmiemy w tym wypadku jako trasę podstawową — trasę $\{b_1 b_2\}$, a jako trasę obejściową, uruchamianą przy wystąpieniu dowolnego uszkodzenia trasy podstawowej — trasę $\{b_3 b_4\}$. Z łączy rezerwowych odcinków b_3 i b_4 korzystają również relacje XZ i XU . Załóżmy, że przyjęto plan tras obejściowych i plan gospodarowania łączami rezerwowymi, podane w tabl. 1 i 2. Przyjęto przy tym, że w odcinkach b_3 i b_4 są po cztery grupy łączy rezerwowych.

Stosujemy podany algorytm. Podgrafy obu tras relacji są pokazane na rys. 8. Dla trasy podstawowej oczywiście $G_a \in \Omega_5$ i $P(G_a) = p_1 p_2 = 0,9702$. Przechodzimy do analizy trasy obejściowej. Należy przy tym pamiętać, że zgodnie z definicją grafów częściowych odcinki tej trasy muszą być zawsze sprawne, z odcinków warunkujących uruchomienie tej trasy zawsze co najmniej jeden powinien być uszkodzony, a tylko inne odcinki wpływające na podział łączy rezerwowych mogą przebywać w dowolnym stanie

Tablica 1

Plan tras obejściowych

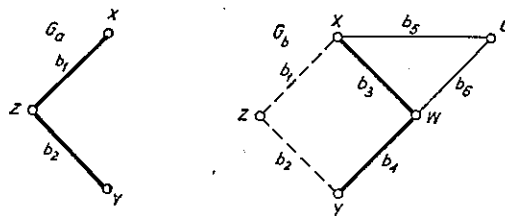
| Relacja | Wymagany stan odcinków | | | | | |
|---------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | b_3 | b_4 | b_1 | b_2 | b_5 | b_6 |
| XY | 1 | 1 | 0/1 | 0/1 | | |
| XZ | 1 | 1 | 0 | 1 | | |
| XU | 1 | | | | 0 | 1 |

Objaśnienie: Symbol 1 oznacza wymagany sprawny stan odcinka; 0 — stan uszkodzenia; 0/1 — odcinek może znajdować się w stanie sprawnym lub uszkodzenia, jednakże zawsze co najmniej jeden z odcinków oznaczonych takim symbolem musi być uszkodzony; brak symbolu oznacza, że stan odcinka jest obojętny.

Tablica 2

Plan gospodarowania łączami rezerwowymi odcinków b_3 i b_4

| Stan trasy obejściowej relacji | | | Rozdział grup łączy rezerwowych | | | | |
|--------------------------------|----|----|---------------------------------|----|----|-------|----|
| | | | b_3 | | | b_4 | |
| XY | XZ | XU | XY | XZ | XU | XY | XZ |
| 1 | 0 | 0 | 4 | — | — | 4 | — |
| 1 | 1 | 0 | 3 | 1 | — | 3 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 2 | — | 2 | 4 | — |
| 0 | 0 | 1 | — | — | 4 | — | — |



Rys. 8. Podgrafy tras relacji: G_a — podgraf trasy podstawowej, G_b — podgraf trasy obejściowej

Grubą linią oznaczono odcinki trasy, przerywaną linią — odcinki warunkujące uruchomienie trasy, cienką linią — inne odcinki sieci linii wpływające na podział grup łączy rezerwowych odcinków trasy

(tj. tylko dla tych odcinków należy rozpatrzyć każdą kombinację ich stanów).

Wybieramy graf częściowy, na przykład $G_{b_1} = \{11, 01, 11\}$ (przyjęto następującą kolejność zapisu odcinków: b_3b_4, b_1b_2, b_5b_6). Na podstawie tabl. 1 stwierdzamy, że w tym stanie będzie również czynna trasa obejściowa relacji XZ. Z tablicy 2 odczytujemy, że przy konieczności uruchomienia tras obejściowych relacji XY i XZ relacji XY przydziela się w odcinku b_3 3 grupy łączy rezerwowych i w odcinku b_4 również 3 grupy. Zatem graf $G_{b_1} \in \Omega_3$, a prawdopodobieństwo wystąpienia tego stanu jest równe

$$P(G_{b_1}) = p_3 p_4 q_1 p_2 p_5 p_6$$

Przechodzimy do następnego grafu częściowego, np. $G_{b_2} = \{11, 01, 01\}$. Z tablicy 1 stwierdzamy, że będą wówczas uruchomione także trasy obejściowe relacji XZ i XU. Z tablicy 2 odczytujemy, że relacji XY przydziela się w takim wypadku 2 grupy łączy rezerwowych w odcinku b_2 i 3 grupy w odcinku b_3 .

Zatem $G_{b_2} \in \Omega_2$, a

$$P(G_{b_2}) = p_3 p_4 q_1 p_2 q_5 p_6$$

Analizując w podobny sposób pozostałe grafy częściowe, otrzymujemy

$$\begin{aligned} P(\Omega_4) &= \sum_{G_{bi} \in \Omega_4} P(G_{bi}) = p_3 p_4 (p_1 q_2 p_5 p_6 + p_1 q_2 p_5 q_6 + p_1 q_2 q_5 q_6) = \\ &= p_3 p_4 p_1 q_2 (p_5 p_6 + q_6) = 0,009\ 273\ 099 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(\Omega_3) &= \sum_{G_{bi} \in \Omega_3} P(G_{bi}) = p_3 p_4 (q_1 p_2 p_5 p_6 + q_1 p_2 p_5 q_6 + q_1 p_2 q_5 q_6 + \\ &+ q_1 q_2 p_5 p_6 + q_1 q_2 p_5 q_6 + q_1 q_2 q_5 q_6) = \\ &= p_3 p_4 q_1 (p_5 p_6 + q_6) = 0,018\ 924\ 691 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(\Omega_2) &= \sum_{G_{bi} \in \Omega_2} P(G_{bi}) = p_3 p_4 (q_1 p_2 q_5 p_6 + q_1 q_2 q_5 p_6 + p_1 q_2 q_5 p_6) = \\ &= p_3 p_4 (q_1 + p_1 q_2) q_5 p_6 = 0,000\ 566\ 660 \end{aligned}$$

Obliczone wartości prawdopodobieństw $P(\Omega_k)$ dla wszystkich trzech sposobów realizacji części liniowej relacji zostały zestawione w tabl. 3.

Przechodzimy następnie do analizy części końcowej relacji. Na podstawie wzoru (14) z wykorzystaniem zależności (15) obliczamy prawdopodobieństwa $P_0(\Omega_k)$. Obliczenia wykonujemy dla kilku wartości n , np. dla $n = 5, 6$ i 7 , tzn. dla przypadku, gdy relacja pracuje bez rezerwowych urządzeń końcowych, z jednym urządzeniem rezerwowym i z dwoma urządzeniami rezerwowymi. Wyniki obliczeń zestawione są w tabl. 4.

Mając w ten sposób wyliczone wartości $P(\Omega_k)$ i $P_0(\Omega_k)$, można przystąpić do obliczenia operacyjnej efektywności działania F_r i współczynnika gotowości K_r . Stosujemy wzory (3) i (5), wstępnie wyliczając $P_r(\Omega_k)$ według wzoru (6). Otrzymane wartości są zestawione w tabl. 5 i 6.

Tablica 3

Wartości prawdopodobieństw $P(\Omega_k)$ dla różnych sposobów realizacji części liniowej

| | Wszystkie łącza prowadzone jedną trasą | Łącza prowadzone dwiema trasami | Wykorzystanie łączy rezerwowych |
|---------|--|---------------------------------|---------------------------------|
| $k=2$ | — | 0,028 764 45 | 0,000 566 660 |
| $k=3$ | — | 0,033 714 45 | 0,018 924 691 |
| $k=4$ | — | — | 0,009 273 099 |
| $k=5=M$ | 0,970 2 | 0,936 485 55 | 0,970 2 |

Tablica 4

Wartości prawdopodobieństw $P_0(\Omega_k)$ dla kilku kolejnych n

| | $n = 5$ | $n = 6$ | $n = 7$ |
|-------|---------------|---------------|---------------|
| $k=1$ | 0,000 059 374 | 0,000 003 562 | 0,000 000 207 |
| $k=2$ | 0,002 254 909 | 0,000 169 211 | 0,000 011 845 |
| $k=3$ | 0,042 359 669 | 0,004 281 910 | 0,000 375 064 |
| $k=4$ | 0,356 588 430 | 0,060 018 817 | 0,007 112 851 |
| $k=5$ | 0,598 736 939 | 0,395 156 383 | 0,079 291 481 |
| $k=6$ | — | 0,540 360 087 | 0,425 533 569 |
| $k=7$ | — | — | 0,487 674 979 |

Tablica 5

Operacyjna efektywność działania F_r relacji w zależności od sposobu realizacji części liniowej i liczby urządzeń końcowych

| | Wszystkie łącza prowadzone jedną trasą | Łącza prowadzone dwiema trasami | Wykorzystanie łączy rezerwowych |
|------------|--|---------------------------------|---------------------------------|
| $n=k$ | 0,875 605 5 | 0,873 818 55 | 0,892 752 961 |
| $n=5$ | 0,883 209 270 | 0,884 235 830 | 0,902 112 969 |
| $n=6$ | 0,956 791 104 | 0,955 275 685 | 0,975 781 630 |
| $n=7$ | 0,967 697 007 | 0,966 740 388 | 0,987 666 378 |
| $n=\infty$ | 0,970 2 | 0,968 22 | 0,989 199 958 |

W tablicach tych wpisano również wartości wskaźników F_{np} i K_{np} relacji z nieprzełączalną wersją części końcowej (w wierszu oznaczonym $n = k$) oraz wskaźniki F i K części liniowej relacji (wiersz oznaczony $n = \infty$).

Wyniki przykładu potwierdzają podane w rozdz. 6 zależności, że $F_{np} \leq F_r(n) \leq F$ i $K_{np} \leq K_r(n) \leq K$. Szybkość zbieżności $F_r(n)$ do F zależy oczywiście od niezawodności urządzeń końcowych, przy danych przyję-

Tablica 6

Współczynnik gotowości K_r relacji w zależności od sposobu realizacji części liniowej i liczby urządzeń końcowych

| | Wszystkie łącza prowadzone jedną trasą | Łącza prowadzone dwiema trasami | Wykorzystanie łączy rezerwowych |
|------------|--|---------------------------------|---------------------------------|
| $n=k$ | 0,970 191 452 | 0,998 651 508 | 0,998 932 136 |
| $n=5$ | 0,970 199 341 | 0,998 963 771 | 0,998 963 771 |
| $n=6$ | 0,970 199 971 | 0,998 964 420 | 0,998 964 420 |
| $n=7$ | 0,970 199 996 | 0,998 964 446 | 0,998 964 446 |
| $n=\infty$ | 0,970 2 | 0,998 964 45 | 0,998 964 450 |

tych w przykładzie ($p'_0 = 0,95$) różnica pomiędzy F_r i F już przy dwóch urządzeniach rezerwowych w każdym węźle końcowym nie przekracza 1,5—2,6%. Bardzo niewielki wpływ liczby urządzeń końcowych na wartość współczynnika gotowości K_r wynika także ze stosunkowo dużej liczby dróg połączeniowych, rozpatrywanej w przykładzie relacji. Silniejsza zależność F_r od n występuje przy M równym 1 i 2.

Warto zwrócić uwagę na różnice występujące między wartościami efektywności działania relacji, podanymi w wierszach $n = k$ i $n = 5$. W obu wypadkach w węzłach końcowych znajduje się po pięć urządzeń końcowych, jednakże różny jest sposób ich eksploatacji. Przyjęcie wersji przełączalnej bez dodatkowych kosztów poprawia niezawodność relacji.

Wyniki przykładu potwierdzają również pewne ogólne wnioski o części liniowej. W [2] stwierdzono, że w przypadku relacji bez łączy rezerwowych współczynnik gotowości relacji ma tym większą wartość, im większa jest liczba tras, którymi są kierowane drogi połączeniowe relacji, natomiast operacyjna efektywność działania osiąga swoją maksymalną wartość, gdy wszystkie drogi połączeniowe są prowadzone jedną trasą. Przeciwność tych warunków jest omijana przy realizacji relacji z wykorzystaniem specjalnych łączy rezerwowych. Wówczas bowiem relacja korzysta z szeregu tras (wysoki współczynnik gotowości), przy czym każdorazowo jest uruchomiona tylko jedna trasa (maksymalna w tych warunkach efektywność działania). Oczywiście wysokiej efektywności działania relacji z łączami rezerwowymi nie uzyskuje się „za darmo” — sieć linii musi zawierać więcej łączy.

Wymagany przyrost nie jest jednak duży. W pewnym przykładzie dotyczącym krajowej sieci podstawowej porównano sieć z łączami rezerwowymi z siecią bez łączy rezerwowych i stwierdzono, że przy tej samej mniej więcej wartości współczynnika gotowości relacja z łączami rezerwowymi ma o kilka procent większą efektywność działania, wymagając przy tym o kilka procent więcej łączy (odcinko-łączy).

W każdym razie należy pamiętać, że realizacja relacji z wykorzystaniem łączy rezerwowych jest jedynym sposobem podniesienia efektywności działania relacji powyżej maksymalnej wartości osiągalnej przy sieci bez nadmiarowości.

7. PODSUMOWANIE

W niniejszej pracy omówiono metody analizy niezawodnościowej relacji telefonicznych na bazie uproszczonego modelu uszkodzeń, w którym zakłada się, że występują jedynie dwa rodzaje uszkodzeń: uszkodzenia urządzeń związanych (formujących) z przyjętą jako podstawową grupą c_0 łączy oraz uszkodzenia odcinków sieci linii telefonicznych. Przyjęcie założenia o niezależności obu tych uszkodzeń pozwoliło rozdzielić relację na dwie części i analizować każdą z nich oddzielnie.

Pokazano, że efektywność działania F i współczynnik gotowości K części liniowej są granicznymi wartościami odpowiednich wskaźników relacji, osiąganymi przy dostatecznie bogatym wyposażeniu węzłów końcowych relacji w urządzenia rezerwowe. Ponieważ na wybór podstawowej grupy łączy nie nałożono żadnych istotnych ograniczeń, to jako grupę podstawową można przyjąć każdą z grup kanałów występujących w stosowanym systemie teletransmisyjnym. Stwierdzenie o wartościach granicznych nie ulega przy tym zmianie.

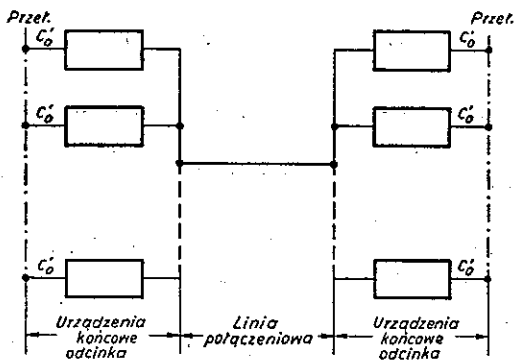
Na tej podstawie można sformułować następujący ogólny wniosek. Przy odpowiednio bogatym wyposażeniu relacji w urządzenia związane z poszczególnymi grupami kanałów niezawodność relacji jest określona wyłącznie przez niezawodność jej części liniowej.

W rozpatrywanym przypadku niezawodność części liniowej jest związana tylko z jednym rodzajem uszkodzeń, zatem obliczanie wskaźników F i K jest zadaniem stosunkowo prostym. Należy przy tym podkreślić, że wskaźniki te nie zależą od przyjętej grupy podstawowej. Można bowiem przy obliczaniu tych wskaźników operować bezpośrednio liczbą łączy. Mianowicie wprowadzając wielkość C_{r0} , oznaczającą nominalną liczbę łączy relacji, oraz $C_r(x_i)$ — liczbę sprawnych łączy w relacji, gdy część liniowa znajduje się w stanie x_i , współczynnik efektywności stanu x_i (2) będzie określony wzorem.

$$\nu(x_i) = \frac{C_r(x_i)}{C_{r0}}$$

Pozostałe podane powyżej wyrażenia są dalej ważne, jeżeli przyjmie się, że podzbiory Ω_k obejmują stany charakteryzujące się jednakową wartością współczynników $\nu(x)$.

Na zakończenie tych uwag warto przypomnieć, że w przypadkach, gdy wymagana jest bardziej dokładna analiza niezawodności części liniowej relacji, można wykorzystać metody obliczeń F i K podane w [1]. W pracy tej jest analizowana sieć linii telefonicznych złożona z odcinków, których struktura jest pokazana na rys. 9. Układ taki pozwala na uwzględnienie



Rys. 9. Struktura odcinka sieci linii pozwalająca na uwzględnienie dwóch rodzajów uszkodzeń

dwóch rodzajów uszkodzeń w części liniowej relacji: uszkodzeń urządzeń związanych z wiązką c_0' łączy, przyjętą jako podstawowa grupa przy odgałęzieniach i transferze, oraz uszkodzeń linii połączeniowych sieci (łącznie z uszkodzeniami urządzeń wspólnych traktu liniowego).

WYKAZ LITERATURY

1. Frydrych Z.: Wskaźniki niezawodności niezależnych relacji telefonicznych i metody ich obliczania, Prace Instytutu Łączności, nr 1/1969.
2. Frydrych Z.: Badanie rozplywu łączy relacji telefonicznych, Prace Instytutu Łączności, nr 1/1969.
3. Sandler Dż.: Technika niezawodności systemów, Izd. Nauka, Moskwa, 1966.
4. Drużinin G. W.: Надежность систем автоматики, Энергия, Moskwa, 1967.

3. Фрыдрых

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ТЕЛЕФОННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПАРАМИ УЗЛОВ НА БАЗЕ УПРОЩЕННОЙ МОДЕЛИ ОТКАЗОВ

Резюме

Статья представляет метод расчета показателей надежности телефонных связей между парами узлов сети связи. Рассматривается случай, когда выступает только два рода отказов. Предполагается независимость этих отказов друг от друга,

что дает возможность разложить общую цепь связи на две части: одну составленную из всех устройств оконечных узлов связи и линейную часть соединяющую эти узлы. Приводится метод расчета эффективности связи и коэффициента готовности.

Рассмотрено влияние резервирования оконечных устройств на надежность связи между узлами сети и получено, что в условиях достаточного оснащения узлов сети оконечными устройствами она определяется исключительно надежностью линейной части. Показатели надежности линейной части зависят от способа ее реализации.

Z. Frydrych

RELIABILITY ANALYSIS OF A TELEPHONE ROUTE ON THE BASIS OF A SIMPLIFIED FAULT MODEL

Summary

One deals with calculation of telephone route reliability. The case has been discussed when only kinds of faults occurred. Assumption of independence of these two kinds of faults made it possible to deal with two separate reliability systems: one associated with route terminating installations and other with transmission lines between the stations of the route. The method has been given of calculating of the operating efficiency and the route availability.

The effect of redundancy of terminal equipment upon the route reliability has been discussed. It has been stated, that in case of satisfactorily equipped route terminal stations, the reliability depends upon the transmission line system reliability only. The reliability of the transmission line system itself depends upon the way of its performance.

Z. Frydrych

ANALYSE DE LA FIABILITÉ DES FAISCEAUX DE VOIES TÉLÉPHONIQUES ENTRE DEUX POINTS FIXES À LA BASE D'UN MODÈLE DE DÉFAUTS SIMPLIFIÉ

Résumé

L'article concerne le calcul des indices de fiabilité du trafic d'un faisceau de voies entre deux points fixes d'un réseau téléphonique. En supposant qu'il y a deux genres divers de défauts, entièrement indépendants l'un de l'autre, on peut partager le système de fiabilité entier d'un faisceau des voies en deux parties, l'une qui ne dépend que des installations des centraux terminaux mêmes et l'autre — la partie de ligne — qui dépend des liaisons entre les centraux. On a présenté les méthodes

qui permettent de calculer l'efficacité d'action et le coefficient de disponibilité d'un faisceau de voies.

On a analysé l'influence d'un remplacement des installations terminales en défaut par les installations de réserve sur la fiabilité de toute communication et on a constaté qu'en cas d'une redondance suffisante des stations terminales la fiabilité de toute communication ne dépend que du coefficient de disponibilité des installations de lignes.

Z. Frydrych

DIE ANALYSE DER ZUVERLÄSSIGKEIT VON FERNSPRECHVERBINDUNGEN AUF GRUND EINES VEREINFACHTEN BESCHÄDIGUNGSMODELS

Zusammenfassung

Das Artikel betrifft die Berechnung der Zuverlässigkeitskenngrößen von Fernsprechverbindungen. Es wird der Fall erörtert, wenn nur zwei Beschädigungsarten auftreten. Die Annahme der Unabhängigkeit dieser Beschädigungen erlaubt die Zuverlässigkeitschema in zwei Teile zu spalten, und zwar in einen, der die Einrichtungen von Endverbindungsknoten umfasst sowie in den anderen, der die Verbindungsleitungen enthält. Man hat die Berechnungsmethoden der Betriebseffektivität und der Verbindungsverfügbarkeit angegeben.

Man hat den Einfluss der Reservierung der Endeinrichtungen auf die Zuverlässigkeit der Verbindung geprüft und festgestellt, dass diese bei reicher Ausstattung der Verbindungsknoten mit Endeinrichtungen nur mit der Zuverlässigkeit des Leitungsteiles bestimmt wird. Die Zuverlässigkeitskenngrößen des Leitungsteiles hängen von der Art seines Aufbaus ab.

ZBIGNIEW FRYDRYCH

621.395.31: 621.395.74.019.3

OBLICZANIE STRAT RUCHU TELEFONICZNEGO Z UWZGLĘDNIENIEM USZKODZEŃ ODCINKÓW W PODSTAWOWEJ SIĘCI LINII TELEFONICZNYCH

Rękopis dostarczono do Komitetu Redakcyjnego dn. 10. VI. 1969 r.

W artykule przedstawiono metodę obliczania przeciętnych strat ruchu telefonicznego, pozwalającą uwzględnić wpływ uszkodzeń odcinków podstawowej sieci linii telefonicznych. Obliczony tą metodą współczynnik strat ruchu może służyć jako wskaźnik charakteryzujący niezawodność sieci linii relacji telefonicznej.

Metodę zilustrowano przykładami, przy czym analizowano zarówno relacje z wiązkami łączy bezpośrednich jak i relacje, w których stosuje się drogi alternatywne.

Podano również kilka wskazań orientujących projektanta sieci telefonicznych o kierunkach działania w celu zmniejszenia przeciętnych strat ruchu, związanych z zawodnością odcinków sieci.

1. WPROWADZENIE

W teorii ruchu telefonicznego powszechnie operuje się pojęciem sprawności usługowej relacji. Miarą ilościową sprawności usługowej jest współczynnik strat ruchu telefonicznego, określający wartość natężenia ruchu, który w GNR będzie prawdopodobnie stracony. Straty ruchu są wywołane różnymi przyczynami, wśród których poważną rolę odgrywa brak w danej chwili wolnych obwodów połączeniowych. Zwykle przyjmuje się, że brak wolnych obwodów jest spowodowany zajęciem organów połączeniowych innymi, wcześniejszymi połączeniami. Podobny jednak skutek wywołuje również niedostępność (blokada) obwodów połączeniowych, związana z chwilowym niesprawnym stanem tych obwodów (np. uszkodzenie łączy).

W niniejszym opracowaniu zajmiemy się obliczaniem wartości współczynnika strat ruchu przy uwzględnieniu wpływu uszkodzeń odcinków

w podstawowej sieci łączy telefonicznych. Uszkodzenie odcinka sieci linii jest tutaj rozumiane jako jednoczesne uszkodzenie wszystkich łączy realizowanych w tym odcinku (pojedyncze łącza odcinka nie mogą uszkadzać się oddzielnie).

Przy powiązaniu strat ruchu z zawodnością sieci łączy wykorzystamy analogie, jakie można przeprowadzić, analizując wpływ, jaki na straty ruchu wywiera zmienność średniego natężenia ruchu obserwowanego w GNR różnych dni (przy stałej liczbie obwodów połączeniowych).

Jak wiadomo [1], w przypadku gdy zachodzi konieczność uwzględnienia przy obliczaniu strat ruchu fluktuacji średniego natężenia ruchu oferowanego w GNR różnych dni, można postąpić w dwojaki sposób. Przy pierwszym sposobie oblicza się średnią z ruchu rozpatrywanych GNR i otrzymany średni ruch wraz z założoną liczbą obwodów połączeniowych stanowi podstawę do określenia strat (sposób stosowany w technice angielskiej). Drugi sposób polega na obliczeniu strat oddzielnie dla poszczególnych GNR i następnym ich uśrednieniu. Otrzymana wartość jest przyjmowana jako przeciętna wartość współczynnika strat dla całego rozpatrywanego okresu obserwacji (sposób stosowany w technice niemieckiej).

Oba wspomniane wyżej sposoby rozwiązania można zastosować bez zmian w interesującym nas przypadku, wystarczy jedynie przestawić znaczeniami natężenie oferowanego ruchu i liczbę obwodów połączeniowych. W naszym przypadku występuje bowiem zmieniająca się w czasie liczba sprawnych (biorących udział w połączeniach) łączy przy stałej wartości natężenia ruchu oferowanego.

2. OBLICZANIE WSPÓŁCZYNNIKA STRAT RUCHU DLA RELACJI NIEZALEŻNYCH

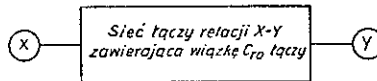
Rozpatrzmy następujący układ połączeniowy (rys. 1), przedstawiający wiązkę łączy łączącą dwie centrale X i Y , między którymi średnie natężenie ruchu jest równe A_r Erl. Jeżeli przez B_0 oznaczyć zakładane straty ruchu, to liczbę łączy C_{r0} w wiązce doskonałej, niezbędnych dla załatwienia ruchu A_r przy nieprzekroczeniu dopuszczalnych strat B_0 , można wyliczyć ze wzoru Erlanga:

$$B = E_n(A) = \frac{A^n}{n!} \bigg/ \sum_{j=0}^n \frac{A^j}{j!} \quad (1)$$

przyjmując $A = A_r$, $B = B_0$, $n = C_{r0}$.

W czasie eksploatacji poszczególne łącza lub grupy łączy wiązki $X-Y$

mogą ulegać uszkodzeniom, w związku z czym chwilowa liczba sprawnych łączy $C(t)$, za pośrednictwem których załatwiać można oferowany ruch A_r , będzie mniejsza od C_{r0} . W szczególnym wypadku $C(t) = 0$ (wszystkie łącza wiązki są uszkodzone). Zmniejszenie liczby dostępnych łączy pociąga za sobą oczywiście wzrost chwilowej wartości współczynnika strat $B(t)$.



Rys. 1. Układ blokowy relacji niezależnej, tj. relacji, której łącza służą wyłącznie do załatwiania ruchu między centralami X i Y

Zadanie stojące przed nami polega na obliczeniu wartości B_r — wartości współczynnika przeciętnych strat ruchu, jakich oczekiwać należy przy dostatecznie długim okresie obserwacji rozpatrywanego układu połączeniowego. Jak wspomniano w wprowadzeniu, można przyjąć dwa sposoby rozwiązania tego zadania.

Sposób 1

Dla rozpatrywanego okresu obserwacji należy obliczyć przeciętnie sprawną liczbę łączy C_r , dla której następnie ze wzoru Erlanga określa się przeciętną wartość strat B_r (przy założeniu stałej wartości oferowanego ruchu A_r).

Sposób 2

Dla każdej możliwej liczby sprawnych w wiązce łączy C_i ($0 \leq C_i \leq C_{r0}$) należy obliczyć odpowiadające straty B_i , a przeciętną wartość strat B_r określa się drogą uśrednienia obliczonych wartości B_i .

Przy wykorzystaniu opisanego w [2] algorytmu obliczania wskaźników niezawodności niezależnej relacji telefonicznej, postępowanie przy rozwiązywaniu postawionego zadania można zapisać w następującej postaci.

Jeżeli sieć łączy między centralami X i Y przedstawić w postaci grafu G (grafu, którego gałęziami są odcinki sieci relacji, przy czym z każdą gałęzią są związane dwa parametry: c_i — liczba wykorzystywanych łączy oraz p_i — prawdopodobieństwo sprawnego stanu), to etapy algorytmu będą następujące:

1. Wyznaczyć wszystkie zbiory rozcinające grafu G ,
2. Wybrać dowolny, nie rozpatrzony dotąd częściowy graf G_j grafu G .
3. Przez określenie minimalnej wartości zbioru rozcinającego grafu G_j (tj. liczby sprawnych w G_j łączy $C(G_j)$) wyznaczyć podzbiór Ω_k , do którego należy rozpatrywany częściowy graf G_j .
4. Obliczyć prawdopodobieństwo $P(G_j)$ wystąpienia grafu G_j .

5. Jeżeli pozostały nie rozpatrzone grafy częściowe G_j — wrócić do punktu 2.

6. Obliczyć prawdopodobieństwo $P(\Omega_k)$, sumując obliczone w punkcie 4 wartości $P(G_j)$ według zasady:

$$P(\Omega_k) = \sum_{G_j \in \Omega_k} P(G_j), \quad k = 1, 2, \dots \quad (2)$$

Dotychczasowe punkty algorytmu pozwoliły określić liczbę podzbiorów stanów Ω_k rozpatrywanej sieci relacji, przy czym każdy podzbiór Ω_k scharakteryzowany został liczbą $C(\Omega_k)$ sprawnych w podzbiorsze łączy i prawdopodobieństwem $P(\Omega_k)$ wystąpienia podzbioru. Dalszy tryb postępowania zależy od przyjętego sposobu definiowania strat.

Rozwiązanie przy przyjętym sposobie 1

7¹. Obliczyć przeciętnie sprawną liczbę łączy w relacji według wzoru:

$$C_r = \sum_k C(\Omega_k) \cdot P(\Omega_k) \quad (3)$$

8¹. Obliczyć przeciętną wartość strat ruchu B_r ze wzoru Erlanga (1), przyjmując w tym wzorze

$$A = A_r, \quad n = C_r, \quad B = B_r$$

Rozwiązanie przy przyjętym sposobie 2

7². Dla każdego podzbioru Ω_k obliczyć ze wzoru Erlanga (1) współczynnik strat $B(\Omega_k)$, przyjmując

$$A = A_r, \quad n = C(\Omega_k), \quad B = B(\Omega_k)$$

8². Obliczyć przeciętną wartość strat ruchu B_r według wzoru

$$B_r = \sum_k B(\Omega_k) \cdot P(\Omega_k) \quad (4)$$

Należy zwrócić uwagę, że przedstawiony sposób obliczania strat ruchu jest sposobem przybliżonym, gdyż nie uwzględnia strat ruchu, spowodowanych przerwaniem na skutek uszkodzenia łączy połączeń istniejących w momencie wystąpienia uszkodzenia. Ściślej mówiąc, obliczenia przeprowadzone są przy założeniu, że łącza (odcinki) w podstawowej sieci łączy mogą uszkadzać się jedynie w tym czasie, kiedy nie biorą one udziału w połączeniach.

Przykład 1. W pewnej relacji X — Y oferowane natężenie ruchu telefonicznego wynosi $A_r = 30$ Erl. Przy założeniu znamionowej wartości współczynnika strat na poziomie 2% ($B_0 \simeq 0,02$) należy w tej relacji utworzyć pełnodostępną wiązkę 38 łączy ($C_{r0} = 38$).

Łąca tej wiązki zostały poprowadzone dwiema trasami (rys. 2). Trasą b_1 , dla której prawdopodobieństwo sprawnego stanu wynosi $p_1 = 0,965$, skierowano 26 łączy ($c_1 = 26$), a pozostałe 12 łączy — trasą b_2 ($p_2 = 0,95836$, $c_2 = 12$).

Dla tak prostej sieci łączy można podzbiory stanów Ω_k wyznaczyć bezpośrednio, bez konieczności stosowania odpowiednich etapów podanego algorytmu. Parametry wszystkich podzbiorów Ω_k , $k = 1, 2, 3, 4$ zostały ze-



Rys. 2. Graf sieci relacji do przykładu 1

stawione w tabl. 1. Wykonując następnie obliczenia zgodnie z punktami 7 i 8 podanego algorytmu, otrzymujemy następujące wyniki liczbowe:

Dla sposobu 1

$$C_r = 36,590 \quad B_r = 0,037 \ 410$$

Dla sposobu 2

$$B_r = 0,054 \ 990$$

Dla porównania można podać, że przy absolutnie niezawodnej sieci łączy współczynnik strat ruchu ma wartość $B_0 = B(\Omega_1) = 0,025 \ 845$.

Tablica 1

Parametry podzbiorów stanów relacji z przykładu 1

| Ω_k | $k = 1$ | $k = 2$ | $k = 3$ | $k = 4$ |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| $C(\Omega_k)$ | $c_1 + c_2 = 38$ | $c_1 = 26$ | $c_2 = 12$ | 0 |
| $P(\Omega_k)$ | $p_1 p_2 = 0,924 \ 817$ | $p_1 q_2 = 0,040 \ 183$ | $q_1 p_2 = 0,033 \ 543$ | $q_1 q_2 = 0,001 \ 457$ |
| $B(\Omega_k)$ | 0,025 845 | 0,220 618 | 0,619 094 | 1,000 000 |
| $C(\Omega_k) \cdot P(\Omega_k)$ | 35,143 | 1,045 | 0,402 | 0 |
| $B(\Omega_k) \cdot P(\Omega_k)$ | 0,023 902 | 0,008 865 | 0,020 766 | 0,001 457 |

W rozważanym przykładzie większą wartość przeciętnych strat ruchu uzyskano przy obliczaniu strat według sposobu drugiego. Jest to ogólna prawidłowość wynikająca z nieliniowej zależności strat ruchu od liczby czynnych łączy — przy zmniejszaniu liczby łączy straty szybciej rosną aniżeli maleją przy zwiększaniu liczby łączy.

3. ZAGADNIENIE MINIMALIZACJI PRZECIĘTNYCH STRAT RUCHU

Wyniki przykładu 1 pozwalają przypuszczać, że sposób kierowania łączy relacji ma wyraźny wpływ na wartość przeciętnych strat ruchu. Pojawia się więc pytanie, w jaki sposób należy kierować łączy relacji w zadanej sieci linii, aby zminimalizować wartość B_r . Odpowiedź zależy od przyjętego sposobu obliczania przeciętnych strat ruchu.

Sposób 1

Przy tym sposobie straty ruchu zależą od liczby przeciętnie sprawnych łączy C_r : im większą wartość ma C_r , tym mniejsze są straty B_r . Minimalizacji B_r odpowiada zatem maksymalizacja wartości C_r . Wzór (3) określający wartość C_r można przekształcić w następujący sposób:

$$C_r = \sum_k C(\Omega_k) P(\Omega_k) = C_{r0} \sum_k \frac{C(\Omega_k)}{C_{r0}} P(\Omega_k) = C_{r0} \cdot F \quad (5)$$

Ponieważ $C_{r0} = \text{const.}$, to minimalną wartość przeciętnych strat ruchu B_r będzie zapewniać taki rozplływ łączy relacji, przy którym uzyskuje się maksymalną wartość operacyjnej efektywności działania relacji F . Z opracowania [3] wiadomo zaś, że maksymalną wartość F zapewnia poprowadzenie wszystkich łączy relacji jedną trasą, trasą o najmniejszym prawdopodobieństwie uszkodzenia.

Sposób 2

Podanie prostego warunku minimalizacji strat ruchu w tym przypadku jest utrudnione nieliniową zależnością strat ruchu od liczby czynnych łączy. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można jednak twierdzić, że

1° — straty ruchu będą malały w miarę wzrostu liczby tras (dróg), którymi są kierowane łączy relacji,

2° — dla każdej konfiguracji tras relacji istnieje optymalny plan podziału łączy pomiędzy poszczególne trasy, zapewniający minimalną wartość przeciętnych strat ruchu.

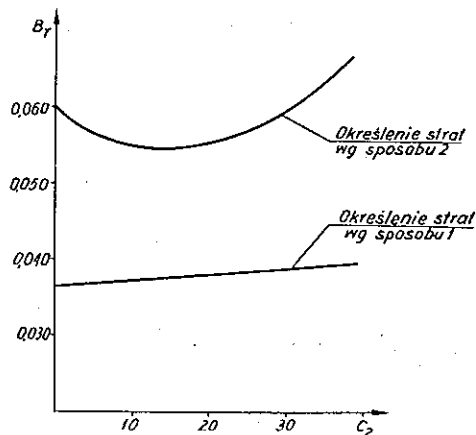
Optymalny plan kierowania łączy relacji w zadanej sieci linii można wyznaczyć metodą kolejnych prób, zakładając kolejno różne liczby łączy prowadzonych poszczególnymi trasami.

Przykład 2. Dla relacji z przykładu 1 należy wyznaczyć przebieg zależności $B_r = f(c_2)$, tj. zmianę wartości współczynnika przeciętnych strat ruchu tej relacji w zależności od liczby łączy kierowanych trasą b_2 .

Powtarzając obliczenia dla różnych wartości $c_2 (0 \leq c_2 \leq 38)$, otrzymamy wykresy pokazane na rys. 3. Przy stratach określonych według sposobu 1

minimalną wartość współczynnika B_r osiąga się przy kierowaniu wszystkich łączy relacji trasą b_1 , tj. trasą o najmniejszym prawdopodobieństwie uszkodzenia ($E_{rmin} = 0,036\ 668$). Przy definiowaniu strat relacji według sposobu 2 minimalne straty występują przy skierowaniu trasą b_1 — 25 łączy i trasą b_2 — 13 łączy ($B_{rmin} = 0,054\ 945$).

Z podanego wykresu dla sposobu 2 widać, że zależność $B_r = f(c_2)$ w pobliżu minimum ma stosunkowo płaski przebieg, w związku z czym podział łączy między poszczególne trasy nie jest zbyt krytyczny. I tak na przykład, przy obliczaniu strat ruchu z dokładnością do jednego promilla, jako opty-



Rys. 3. Wykres zmian wartości współczynnika przeciętnych strat ruchu w zależności od liczby łączy kierowanych trasą drugą

malną liczbę łączy, które skierować należy drugą trasą, można wziąć dowolną liczbę $8 \leq c_2 \leq 20$, dla których to wartości przeciętne straty ruchu $B_r(c_2) \cong B_{rmin} = 0,055$.

4. PRZYPADK DRÓG ALTERNATYWNYCH

Przedstawiony w punkcie 2 algorytm obliczania strat ruchu wywołanych uszkodzeniami łączy telefonicznych może być również użyty w przypadku, gdy w sieci podstawowej przewiduje się stosowanie dróg kolejnego wyboru.

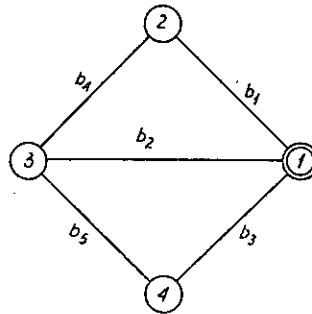
Ponieważ jednak drogami drugiego i następnych wyborów jest załatwiany połączony ruch różnych relacji, to sieci łączy tych relacji nie są już niezależne, gdyż dla dróg przelewowych nie można określić liczby łączy związanych z poszczególnymi relacjami. Dlatego też dla relacji korzystających z dróg alternatywnych może być przyjmowany jedynie drugi sposób obliczania strat ruchu.

Procedurę obliczania wartości B_r dla relacji korzystającej z dróg alternatywnych pokażemy na przykładzie.

Przykład 3. Dany jest układ czterech central (rys. 4.) Oferowany ruch telefoniczny pomiędzy tymi centralami ma następujące natężenia:

$$A_{21} = 35 \text{ Erl}, A_{31} = 60 \text{ Erl}, A_{41} = 25 \text{ Erl}, A_{23} = 30 \text{ Erl}, A_{24} = 10 \text{ Erl}, \\ A_{34} = 25 \text{ Erl}.$$

Centrale współpracują w układzie gwiazdowym, w którym centrala 1 jest centralą węzłową (tranzytową).



Rys. 4. Sieć linii międzycentralowych do przykładu 3

W relacjach 2—3 oraz 3—4 są utworzone również bezpośrednie wiązki łączy, przy czym $n_{23} = 30$ łączy oraz $n_{34} = 25$ łączy. Wiązki te tworzą drogi pierwszego wyboru dla ruchu pomiędzy odpowiednimi centralami, natomiast przez centralę węzłową jest kierowany ruch przelewowy (droga drugiego wyboru).

Ruch w relacji 2—4 jest załatwiany wyłącznie przez centralę węzłową.

Zadanie 1. Należy obliczyć liczby łączy, którymi powinny być połączone centrale 2, 3 i 4 z centralą węzłową.

Dopuszczalne straty ruchu w każdej wiązce międzycentralowej należy przyjąć w wysokości około 2% ($B_0 \cong 0,02$).

Przy rozwiązaniu tego zadania skorzystamy z metody *Wilkinsona* w postaci opisanej w [4] i [5].

Obliczamy wartość średnią a_{ij} i wariancję (rozsiewność) v_{ij} ruchu przelewowego relacji 2—3 i 3—4 według wzorów:

$$a_{ij} = A_{ij} \cdot E_{n_{ij}}(A_{ij})$$

$$v_{ij} = a_{ij} \left[1 - a_{ij} + \frac{A_{ij}}{1 + n_{ij} + a_j - A_{ij}} \right]$$

$$E_{n_{23}}(A_{23}) = 0,132460, \quad a_{23} = 3,974, \quad v_{23} = 12,149$$

$$E_{n_{34}}(A_{34}) = 0,143823, \quad a_{34} = 3,596, \quad v_{34} = 10,227$$

Obliczamy wartość średnią i wariancję ruchu w gałęziach 1—2, 1—3 i 1—4.

$$M_{21} = A_{21} + a_{23} + A_{24} = 48,974, \quad V_{21} = A_{21} + v_{23} + A_{24} = 57,149$$

$$M_{31} = A_{31} + a_{23} + a_{34} = 67,570, \quad V_{31} = A_{31} + v_{23} + v_{34} = 82,376$$

$$M_{41} = A_{41} + A_{42} + a_{34} = 38,596, \quad V_{41} = A_{41} + A_{42} + v_{34} = 45,227$$

Obliczamy wartość fikcyjnego ruchu w gałęziach 1—2, 1—3 i 1—4 według wzoru:

$$A_{ij}^* = V_{ij} + 3 \frac{V_{ij}}{M_{ij}} \left[\frac{V_{ij}}{M_{ij}} - 1 \right]$$

$$A_{21}^* = 57,733, \quad A_{31}^* = 83,177, \quad A_{41}^* = 45,831.$$

Obliczamy fikcyjne wiązki w gałęziach 1—2, 1—3 i 1—4 według wzoru:

$$n_{ij}^* = \frac{A_{ij}^*}{1 - \frac{V_{ij}}{M_{ij}}} - M_{ij} - 1$$

$$n_{21}^* = 9,034, \quad n_{31}^* = 15,834, \quad n_{41}^* = 7,417.$$

Obliczamy rzeczywistą wielkość wiązek 1—2, 1—3 i 1—4 z równości:

$$B_0 \frac{M_{ij}}{A_{ij}^*} = E_{n_{ij}^*} + n_{ij} (A_{ij}^*)$$

$$B_0 \frac{M_{21}}{A_{21}^*} = 0,016\ 966, \text{ zatem } n_{21}^* + n_{21} = 69 \text{ i } n_{12} = 60 \text{ łączy,}$$

$$B_0 \frac{M_{31}}{A_{31}^*} = 0,016\ 247, \text{ zatem } n_{31}^* + n_{31} = 96,8 \text{ i } n_{31} = 81 \text{ łączy,}$$

$$B_0 \frac{M_{41}}{A_{41}^*} = 0,016\ 843, \text{ zatem } n_{41}^* + n_{41} = 57 \text{ i } n_{41} = 50 \text{ łączy.}$$

Zadanie 2. Obliczyć przeciętną wartość strat ruchu w relacji 2—3 rozpatrywanej sieci telefonicznej z uwzględnieniem wpływu uszkodzeń odcinków b_i tej sieci.

Prawdopodobieństwa niesprawnego stanu q_i oraz prawdopodobieństwa sprawnego stanu p_i (współczynniki przestoju oraz współczynniki gotowości) odcinków b_i mają następujące wartości:

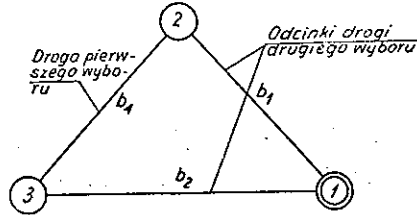
$$q_1 = 0,012, \quad q_2 = 0,030, \quad q_3 = 0,016, \quad q_4 = 0,035 \text{ i } q_5 = 0,030,$$

$$p_1 = 0,988, \quad p_2 = 0,970, \quad p_3 = 0,984, \quad p_4 = 0,965 \text{ i } p_5 = 0,970.$$

Sieć linii relacji 2—3 jest pokazana na rys. 5. Ponieważ z łączy odcinków b_1 i b_2 korzystają również relacje 2—1, 3—1 i 4—3, to zmianę warunków łączności w relacji 2—3 (na drodze drugiego wyboru) będą wywoływać nie tylko uszkodzenia odcinków sieci linii tej relacji, lecz również uszkodzenia odcinków sieci linii pozostałych relacji. Oznacza to, że w rozpatry-

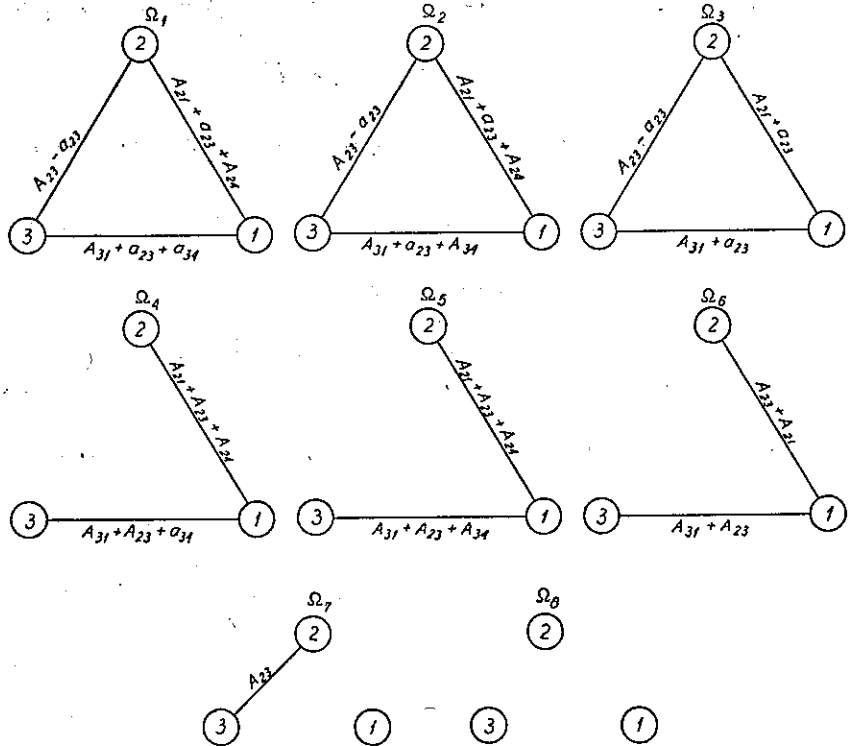
wanym przypadku wpływ na sprawność usługową łączności w relacji 2—3 mają uszkodzenia wszystkich pięciu odcinków sieci.

Zbiór stanów sieci linii, składającej się z pięciu odcinków, zawiera $2^5 = 32$ stanów. Analiza tych stanów odnośnie natężenia ruchu kierowanego przez gałęzie b_1 i b_2 (tj. odnośnie stanów sieci relacji 2—3) wykazuje, że można utworzyć 8 podzbiorów Ω_k .



Rys. 5. Sieć łączy relacji 2—3 z przykładu 3

Na rysunku 6 przedstawiono te podzbiory schematycznie, zaznaczając przy poszczególnych odcinkach składowe ruchy kierowanego na te odcinki. Odcinków, znajdujących się w stanie niesprawności — nie rysowano.



Rys. 6. Grafy podzbiorów Ω_k relacji 2—3 z przykładu 3

Podzbiory Ω_k składają się z następujących stanów sieci linii:

$$\Omega_1: \{11111\}$$

$$\Omega_2: \{11110\}$$

$$\Omega_3: \{11011, 11010\}$$

$$\Omega_4: \{11101\}$$

$$\Omega_5: \{11100\}$$

$$\Omega_6: \{11001, 11000\}$$

$$\Omega_7: \{10111, 10110, 10011, 10010, 01111, 01110, 01011, 01010, 00111, 00110, 00011, 00010\}$$

$$\Omega_8: \{10101, 10100, 10001, 10000, 01101, 01100, 01001, 01000, 00101, 00100, 00001, 00000\}$$

Przy zapisie stanów przyjęto kolejność $b_1 b_2 b_3 b_4 b_5$, przy czym znak 1 oznacza sprawny, a 0 — niesprawny stan odcinka.

Na podstawie powyższego wykazu stanów obliczamy prawdopodobieństwa $P(\Omega_k)$ wystąpienia podzbiorów Ω_k :

$$P(\Omega_1) = p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 = 0,988 \cdot 0,970 \cdot 0,984 \cdot 0,965 \cdot 0,970 = 0,882 \ 719 \ 712.$$

$$P(\Omega_2) = p_1 p_2 p_3 p_4 q_5$$

$$P(\Omega_3) = p_1 p_2 q_3 p_4$$

$$P(\Omega_4) = p_1 p_2 p_3 q_4 p_5$$

$$P(\Omega_5) = p_1 p_2 p_3 q_4 q_5$$

$$P(\Omega_6) = p_1 p_2 q_3 q_4$$

$$P(\Omega_7) = (1 - p_1 p_2) p_4$$

$$P(\Omega_8) = (1 - p_1 p_2) q_4$$

Wartości tych prawdopodobieństw zostały zapisane w tabl. 2.

Dla każdego podzbioru Ω_k należy z kolei obliczyć współczynnik strat $B(\Omega_k)$. W przypadku podzbiorów z indeksami k od 1 do 6 jest on określony przez straty powstające w odcinkach b_1 i b_2 . Jeżeli przez $B_1(\Omega_k)$ i $B_2(\Omega_k)$ oznaczyć współczynniki strat powstających w tych odcinkach, gdy relacja 2—3 przebywa w stanie należącym do podzbioru Ω_k , to współczynnik strat drogi przelewowej utworzonej z odcinków b_1 i b_2 można obliczyć według wzoru:

$$B_{12}(\Omega_k) = \sqrt{B_1^2(\Omega_k) + B_2^2(\Omega_k)}$$

Wzór ten jest słuszny przy założeniu, że w szeregowo połączonych odcinkach b_1 i b_2 GNR poszczególnych relacji, korzystających z tych odcinków, nie występują dokładnie w tym samym czasie [1].

Współczynnik strat $B(\Omega_k)$ relacji 2—3 będzie wówczas równy

$$B(\Omega_k) = \frac{a_{23}}{A_{23}} B_{12}(\Omega_k) \quad \text{dla } k = 1, 2, 3$$

$$B(\Omega_k) = B_{12}(\Omega_k) \quad \text{dla } k = 4, 5, 6$$

I tak na przykład dla podzbioru Ω_1 , szczegółowe obliczenia są następujące. Dla odcinka b_1 , dla którego $n_{21} = 60$:

$$M_{21} = A_{21} + A_{24} + a_{23} = 48,974$$

$$V_{21} = A_{21} + A_{24} + v_{23} = 57,149$$

$$A_{21}^* = 57,733$$

$$n_{21}^* = 9,034$$

$$E_{n_{21}+n_{21}}^*(A_{21}^*) = 0,019\ 243$$

$$B_1(\Omega_1) = \frac{A_{21}}{M_{21}} E_{n_{21}+n_{21}}^*(A_{21}^*) = 0,022\ 684$$

Dla odcinka b_2 , dla którego $n_{31} = 81$:

$$M_{31} = A_{31} + a_{23} + a_{34} = 67,570$$

$$V_{31} = A_{31} + v_{23} + v_{34} = 82,376$$

$$A_{31}^* = 83,177$$

$$n_{31}^* = 15,834$$

$$E_{n_{31}+n_{31}}^*(A_{31}^*) = 0,015\ 431$$

$$B_2(\Omega_1) = \frac{A_{31}}{M_{31}} E_{n_{31}+n_{31}}^*(A_{31}^*) = 0,018\ 995$$

Zatem

$$B_{12}(\Omega_1) = \sqrt{B_1^2(\Omega_1) + B_2^2(\Omega_1)} = 0,029\ 587$$

i ostatecznie

$$B(\Omega_1) = \frac{a_{23}}{A_{23}} B_{12}(\Omega_1) = 0,003\ 919$$

Wyniki tych obliczeń dla wszystkich podzbiorów wpisano do tabl. 2. Podane są tam także iloczyny $B(\Omega_k) \cdot P(\Omega_k)$. Suma tych ostatnich, zgodnie ze wzorem (4), daje poszukiwaną przez nas wartość przeciętnych strat ruchu relacji 2—3:

$$B_r = 0,020\ 754$$

Dane tablicy pozwalają również na obliczenie współczynnika gotowości relacji:

$$K = \sum_{k=1}^7 P(\Omega_k) = 0,998\ 543$$

Tablica 2

Zestawienie wyników obliczeń zadania 2 przykładu 3

| Ω_k | $P(\Omega_k)$ | $B_1(\Omega_k)$ | $B_2(\Omega_k)$ | $B_{12}(\Omega_k)$ | $B(\Omega_k)$ | $B(\Omega_k) \cdot P(\Omega_k)$ |
|------------|---------------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------|---------------------------------|
| $k=1$ | 0,882 719 712 | 0,022 684 | 0,018 995 | 0,029 587 | 0,003 919 | 0,003 460 |
| $k=2$ | 0,027 300 610 | 0,022 684 | 0,144 300 | 0,146 072 | 0,019 350 | 0,000 528 |
| $k=3$ | 0,014 797 078 | 0,000 953 | 0,007 851 | 0,007 907 | 0,001 048 | 0,000 016 |
| $k=4$ | 0,032 015 741 | 0,236 682 | 0,177 429 | 0,295 803 | 0,295 803 | 0,009 470 |
| $k=5$ | 0,000 990 177 | 0,236 682 | 0,313 389 | 0,392 723 | 0,392 723 | 0,000 389 |
| $k=6$ | 0,000 536 682 | 0,143 911 | 0,149 383 | 0,207 426 | 0,207 426 | 0,000 111 |
| $k=7$ | 0,040 182 600 | — | — | — | 0,132 460 | 0,005 323 |
| $k=8$ | 0,001 457 400 | — | — | — | 1,000 000 | 0,001 457 |
| Razem | | | | | | 0,020 754 |

Zadanie 3. Dla porównania należy obliczyć współczynnik przeciętnych strat ruchu relacji 2—3 zaprojektowanej w wersji niezależnej, tj. zrealizowanej wyłącznie przy zastosowaniu wiązki łączy bezpośrednich.

Zakładając nominalne straty ruchu B_0 na tym samym poziomie, jak dla wersji z drogami alternatywnymi, tj. $B_0 \cong 0,02$, należy centrale 2 i 3 połączyć wiązką zawierającą 38 łączy (wówczas $B_0 = 0,025 845$).

Zaprojektowana w ten sposób wersja relacji 2—3 została analizowana w przykładach 1 i 2. Uzyskane tam wyniki podają, że:

1° — przy skierowaniu wszystkich łączy jedną trasą (przez odcinek b_4) przeciętne straty ruchu wynoszą $B_r = 0,059 940$, a współczynnik gotowości $K = 0,965$,

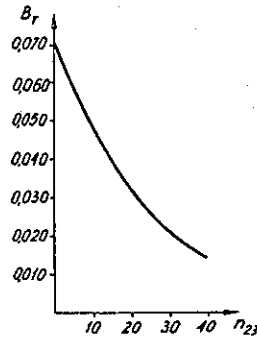
2° — przy prowadzeniu łączy różnymi trasami (b_4 i $b_1 b_2$) minimalne straty ruchu w wysokości $B_r = 0,054 945$ wystąpią przy skierowaniu pierwszą trasą 25 łączy i drugą trasą — 13 łączy, przy współczynniku gotowości $K = 0,998 543$.

5. ZAGADNIENIE MINIMALIZACJI STRAT RUCHU PRZY STOSOWANIU DRÓG ALTERNATYWNYCH

Spośród różnych czynników mających wpływ na wielkość ruchu traconego w relacji stosującej drogi przelewowe rozważymy tutaj dwa problemy.

Pierwszy z nich dotyczy wpływu, jaki na straty ruchu wywiera zmiana wielkości wiązki łączy bezpośrednich (wiązki drogi pierwszego wyboru). Odpowiednie rozważania prowadzą do stwierdzenia, że im większa jest wiązka drogi pierwszego wyboru, tym straty ruchu mają mniejszą wartość.

Charakter tej zależności ilustruje rys. 7, na którym wykreślono $B_r = f(n_{23})$ dla omawianej w przykładzie 3 relacji 2—3. Obliczenia do tego wykresu przeprowadzono przy warunku, aby dla każdej wybranej wartości n_{23} współczynnik strat drogi drugiego wyboru $B_{12}(\Omega_1)$ był zawsze

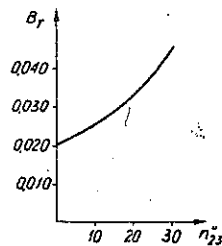


Rys. 7. Wykres zmian wartości współczynnika przeciętnych strat ruchu w zależności od liczby łączy drogi pierwszego wyboru

mniej więcej jednakowy ($B_{12}(\Omega_1) \cong 0,029$). Z wykresu widać, że największe straty w relacji występują, gdy cały ruch jest załatwiany przez transytową centralę 1 ($B_r(n_{23} = 0) = 0,071\ 154$).

W punkcie 3 niniejszej pracy podano, że straty ruchu dla relacji niezależnej maleją w miarę wzrostu ilości tras, którymi kierowane są łączy relacji. Nasuwa się zatem pytanie, czy poprowadzenie łączy wiązki pierwszego wyboru różnymi trasami poprawi sprawność usługową również w przypadku stosowania dróg alternatywnych. Odpowiedź na takie pytanie jest pozytywna, pod warunkiem, że żadna z tych tras nie pokrywa się z trasami, którymi realizowane są drogi drugiego i wyższych wyborów. W takim bowiem przypadku straty ruchu wzrastają.

Na rysunku 8 pokazano wykres zależności $B_r = f(n'_{23})$ przykładowej relacji 2-3 dla wersji, w której $n_{23} = n'_{23} + n''_{23} = 30$. Przez n'_{23} i n''_{23} ozna-



Rys. 8. Wykres zmian wartości współczynnika przeciętnych strat ruchu w zależności od liczby łączy drogi pierwszego wyboru, kierowanych trasą pokrywającą się z trasą drogi drugiego wyboru

czono tutaj liczbę łączy drogi pierwszego wyboru poprowadzonych odpowiednio przez odcinek b_4 i trasą b_1b_2 , pokrywającą się z trasą drogi drugiego wyboru. Z wykresu widać, że w miarę wzrostu liczby łączy kiero-

wanych trasą $b_1 b_2$ współczynnik strat ruchu rośnie od wartości $B_r = 0,020\ 754$ przy $n''_{23} = 0$ do wartości $B_r = 0,045\ 642$ przy $n''_{23} = 30$.

6. PODSUMOWANIE

W niniejszej pracy wprowadzono wskaźnik pozwalający ocenić wpływ, jaki na sprawność usługową relacji telefonicznych wywiera zawodność odcinków międzymiastowych linii połączeniowych. Wskaźnikiem tym jest współczynnik strat ruchu telefonicznego, określający przewidywane przeciętne straty ruchu w rozpatrywanym, dostatecznie długim okresie eksploatacji sieci.

Wskazano na dwa sposoby obliczania współczynnika przeciętnych strat ruchu. Przy sposobie pierwszym punktem wyjścia jest liczba przeciętnie sprawnych łączy, tj. uśrednieniu podlegają możliwe ilości czynnych łączy, przy sposobie drugim — uśrednia się straty występujące przy możliwych kombinacjach uszkodzeń odcinków sieci linii telefonicznych.

Wybór sposobu obliczania przeciętnych strat ruchu wpływa nie tylko na wyniki liczbowe strat otrzymane przy analizie zadanej sieci linii (straty obliczone według sposobu pierwszego zawsze będą miały mniejszą wartość), ale również na zalecenia stawiane przy projektowaniu sieci w celu minimalizacji tych strat. Mianowicie przy stratach obliczanych według sposobu pierwszego należy wszystkie łącza relacji kierować jedną, najkrótszą (najbardziej niezawodną) trasą, natomiast przy sposobie drugim straty maleją przy zwiększaniu liczby tras, którymi prowadzone są łącza relacji, przy czym dla każdego wariantu wyboru tras istnieje optymalny stosunek podziału łączy pomiędzy te trasy.

Podana metoda obliczania współczynnika przeciętnych strat ruchu jest słuszna dla sieci linii pracującej w stanie ustalonym oraz dla wiązek pełnodostępnych. To drugie ograniczenie nie jest jednak istotne i może być łatwo usunięte: analiza wiązek niedoskonałych jest związana jednak ze znacznym wzrostem pracochłonności obliczeń.

Drugą część pracy poświęcono analizie relacji z drogami alternatywnymi. Dla takiej relacji podano przykład obliczania przeciętnych strat ruchu (według sposobu drugiego) i współczynnika gotowości. Należy zwrócić uwagę, że dla relacji z drogami alternatywnymi nie można w drogach drugiego i wyższych wyborów wydzielić łączy użytkowanych wyłącznie przez rozpatrywaną relację, w związku z czym straty określone według sposobu pierwszego, a także operacyjna efektywność działania takiej relacji nie są określone.

Jeżeli chodzi o ustalenie wytycznych dla projektowania sieci relacji stosującej drogi alternatywne, to wyniki pracy pozwalają na sformułowanie dwóch zaleceń, stosowanie których prowadzi do zmniejszenia przeciętnych strat ruchu. Mianowicie straty ruchu maleją przy powiększeniu wiązki łączy bezpośrednich (wiązki drogi pierwszego wyboru) oraz przy zwiększaniu liczby tras, którymi kierowane są łącza tej wiązki. Żadna z tych tras nie powinna pokrywać się jednak z trasami, którymi kierowane są łącza dróg przelewowych.

WYKAZ LITERATURY

1. Kuhn S.: Zagadnienie ruchowe w telefonii automatycznej, PWN Warszawa, 1957.
2. Frydrych Z.: Wskaźniki niezawodności niezależnych relacji telefonicznych i metody ich obliczania, Prace Instytutu Łączności, 1969 nr 1.
3. Frydrych Z.: Badanie rozptyłu łączy relacji telefonicznych, Prace Instytutu Łączności, 1969 nr 1.
4. Rapp Y.: Planning of Junction Network in Multiexchange Area. I General Principles, Ericsson Technics, 1964 t. 20 nr 1, s. 77—130.
5. Rapp Y.: Some Economic Aspects on the Long-Term Planning of Telephone Networks. Part II, Ericsson Review, 1968 t. 45 nr 3, s. 122—136.

З. Фридрих

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ТЕЛЕФОННОГО СООБЩЕНИЯ С УЧЕТОМ ПОВРЕЖДЕНИЙ УЧАСТКОВ В МАГИСТРАЛЬНОЙ СЕТИ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ

Резюме

В статье приводится метод расчета средних потерь телефонного трафика, который учитывает влияние повреждений участков в магистральной сети телефонной связи. Рассчитанную по этому методу вероятность потерь можно использовать в качестве одного из показателей надежности связи между парой узлов сети связи.

Приводятся примеры расчета, при чем рассматривается как некоммутируемая так и частично коммутируемая сеть.

Даются некоторые указания относительно мероприятий, которые надо реализовать с целью минимизации потерь, вызываемых ненадежностью участков сети связи.

Z. Frydrych

CALCULATION OF THE TELEPHONE TRAFFIC LOSSES TAKING INTO ACCOUNT THE FAULTS OF THE LINE SECTORS OF A BASIC TELEPHONE NETWORK

Summary

A method has been presented of calculating the telephone traffic mean losses, taking into account the effects of some line sectors faults of a basic telephone network. The traffic loss coefficient calculated in the presented manner can be a measure of the reliability of a basic telephone network enabling the concrete connection.

The method has been illustrated by examples when analyzing the connections using bundles of direct lines as well as the connections for which alternative ways could be used.

Some information has been given showing how to diminish, while designing telephone networks, the mean traffic losses, related to the line sectors failing rate.

Z. Frydrych

CALCUL DES PERTES DU TRAFIC TÉLÉPHONIQUE TENANT COMPTE DES DÉRANGEMENTS DES SECTIONS DU RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE DE BASE

Résumé

On a présenté la méthode de calcul des pertes moyennes du trafic téléphonique, qui permet de tenir compte de l'influence des dérangements des sections du réseau de base. L'indice de perte du trafic calculé de telle manière présente la mesure de la fiabilité de la communication d'un faisceau de voies téléphoniques entre deux points fixes du réseau.

La méthode est illustrée par des exemples concernant ainsi les faisceaux de voies directes que ceux de voies détournées.

Quelques informations générales sont données, qui peuvent être utiles pour les projets de réseaux téléphoniques afin de diminuer les pertes moyennes du trafic résultant des dérangements des sections du réseau.

Z. Frydrych

BERECHNUNG DER FERNSPRECHVERKEHRSVERLUSTEN MIT BERÜCKSICHTIGUNG DER BESCHÄDIGUNGEN DER ABSCHNITTE IN DEM GRUNDNETZ VON FERNSPRECHLEITUNGEN

Zusammenfassung

Im Artikel wird eine Methode der Berechnung der durchschnittlichen Fernsprechverkehrsverlusten vorgestellt, die den Einfluss der Beschädigungen in den Abschnitten eines Grundnetzes zu berücksichtigen erlaubt. Der mit dieser Methode berechnete Verlustfaktor kann als Anzeiger dienen, welcher die Zuverlässigkeit des Leitungsnetzes von Fernsprechverbindungen charakterisiert.

Die Methode wird durch Beispiele illustriert, wobei sowohl die Verbindungen mit direkten Leitungsbündeln als auch solche, in denen alternative Wege verwendet werden, analysiert wurden.

Man hat auch einige Richtlinien für die Fernsprechnetzprojektanten über die Massnahmen betreffs Verminderung der durchschnittlichen mit der Zuverlässigkeit von Netzabschnitten verbundenen Verkehrsverlusten angegeben.

RYSZARD GRZEGORZ STRUŻAK
HENRYK SMORAĞ
MIROŚLAW PIETRANIK

621.317.799(083.7): 621.391.823

NORMALIZACJA URZĄDZEŃ DO POMIARÓW ZAKŁÓCEŃ RADIOELEKTRYCZNYCH

Rękopis dostarczono do Komitetu Redakcyjnego dnia 15. II. 1969 r.

W 1968 r. Polski Komitet Normalizacyjny zakończył prace nad nowelizacją normy na mierniki przemysłowych zakłóceń radioelektrycznych (PN-69/T-06450).

W niniejszym artykule podano wyjaśnienia i uzasadnienia niektórych postanowień tej normy, precyzującej wymagania stawiane miernikom tzw. wartości quasiszczytowej zakłóceń. Ponadto w artykule podano ważniejsze parametry mierników szczytowej, skutecznej i średniej wartości zakłóceń, które dotychczas jeszcze nie zostały znormalizowane.

Omówiono także urządzenia przeznaczone specjalnie do pomiarów zakłóceń wąskopasmowych (sinusoidalnych), również nie objęte wspomnianą normą. Wspomniano także o aktualnych tendencjach rozwojowych w dziedzinie omawianych urządzeń pomiarowych.

WSTĘP

Wyniki pomiarów zakłóceń radioelektrycznych, wykonywanych w różnych laboratoriach, mogą być tylko wówczas porównywane z wymaganiami odpowiednich norm i między sobą, jeżeli zastosowane urządzenia pomiarowe spełniają określone, jednakowe wymagania. Wypływa to stąd, że wskazania miernika przy pomiarach zakłóceń, zwłaszcza impulsowych, zależą w sposób zasadniczy od jego parametrów elektrycznych. Już w latach trzydziestych opracowano ujednoczone w skali jednego kraju wymagania dla znormalizowanych urządzeń do pomiarów zakłóceń radioelektrycznych [1] i [2]. W tym też czasie pojawiły się na rynku pierwsze mierniki zakłóceń tj. urządzenia specjalnie przystosowane do wspomnianych pomiarów [3]. Niestety, nie nadały się one zupełnie do pomiarów zakłóceń o charakterze impulsowym.

W latach trzydziestych rozpoczęły się także pierwsze próby ujednoczenia parametrów mierników zakłóceń w skali międzynarodowej, związane z rozwojem międzynarodowego obrotu towarami. Zasadnicze znaczenie miało tu powołanie w ramach Międzynarodowej Komisji Elektronicznej (Commission Electrotechnique Internationale, w skrócie CEI) Specjalnego Komitetu Międzynarodowego d/s Zakłóceń Radioelektrycznych (Comite International Spacial des Perturbations Radioelectriques, w skrócie CISPR) [4]. Pierwsze zalecenie CISPR w omawianej dziedzinie dotyczyło parametrów mierników przeznaczonych do pomiarów zakłóceń w zakresie częstotliwości od 0,15 do 1,605 MHz. Podczas drugiej wojny światowej zakres częstotliwości uległ rozszerzeniu w związku z szerokim wykorzystaniem nowych zakresów częstotliwości i nowych, bardziej złożonych urządzeń radioelektrycznych. Dokładność pomiarów, a zwłaszcza ich powtarzalność nie były jednak wystarczające. Pomiary za pomocą przyrządów zbudowanych według tych samych zaleceń dawały często różne rezultaty, co świadczy o tym, że zalecenia te nie ujmowały wymagań dotyczących wszystkich istotnych parametrów. Systematyczne badania tych zagadnień rozpoczęto dopiero po wojnie, uwzględniając przy tym rozszerzony zakres częstotliwości. Badania te doprowadziły w końcu do uzgodnienia w skali międzynarodowej zaleceń na urządzenia do pomiarów zakłóceń radioelektrycznych, w zakresie częstotliwości od 0,15 do 1000 MHz [5], [6], [7], [8] i [9].

Prace te nie zostały jednak zakończone: są one kontynuowane nadal i mają obecnie na celu z jednej strony opracowanie zaleceń na urządzenia pomiarowe dla innych zakresów częstotliwości, a z drugiej — udoskonalenie zaleceń już istniejących. Bliższe informacje na ten temat są podane w literaturze (np. [16]) i z tego względu nie będą tutaj powtarzane.

Pierwsze powojenne prace krajowe dotyczące mierników zakłóceń radioelektrycznych zostały rozpoczęte w latach pięćdziesiątych w Politechnice Wrocławskiej pod kierunkiem *prof. W. Rotkiewicza*. Następnie tematykę tę podjął Oddział Instytutu Łączności we Wrocławiu. Prace te przyczyniły się w znacznym stopniu do opracowania w kraju całej rodziny mierników zakłóceń [10], [11], [12], [13], [14] [15] i [16]. Pierwsza norma krajowa dotycząca mierników zakłóceń ukazała się w roku 1959. Obejmowała ona zakresy częstotliwości 0,15...30 i 25...300 MHz. W 1962 r. norma została znowelizowana, jednak bez wprowadzania istotnych zmian merytorycznych. Na skutek szybkiego postępu technicznego już po kilku latach norma ta wymagała aktualizacji. Z tego też powodu w 1968 r. została ona znowelizowana, i znacznie zmieniona. W niniejszym artykule omawia się pokrótce najistotniejsze zagadnienia związane z nowelizacją wspomnianej normy.

2. ZNORMALIZOWANY MIERNIK Z DETEKTOREM QUASISZCZYTOWYM

Zasadniczym celem normalizacji parametrów mierników zakłóceń na zakres częstotliwości 0,15...30 MHz jest zapewnienie obiektywnej i powtarzalnej oceny mierzonego przebiegu. Jest przy tym pożądane, ale nie konieczne, aby ta obiektywna miara zakłóceń była proporcjonalna do efektu zakłócającego. Większość zakłóceń w odbiorze radiowym ma w tym zakresie częstotliwości charakter powtarzających się impulsów. Wcześniejsze prace CISPR doprowadziły do konkluzji, że najlepszą miarą efektu działania tego typu zakłóceń w radiofonii są wskazania woltomierza quasiszczytowego o odpowiednio dobranych stałych czasowych, ładowania i rozładowania. Taki też woltomierz zalecono stosować w miernikach zakłóceń i przyjęto w omawianej normie. Mimo iż późniejsze badania wykazały, że wspomniana konkluzja nie jest zupełnie ścisła i woltomierz wartości skutecznej może dawać bardziej dokładną ocenę efektu zakłócającego, woltomierz quasiszczytowy zachowano zarówno w zaleceniach międzynarodowych, jak i normie z następujących powodów:

1) dla impulsów o częstotliwości powtarzania zawartej w zakresie akustycznym, zmiany wskazań woltomierza wartości quasiszczytowej i wartości skutecznej w funkcji częstotliwości powtarzania tych impulsów są w przybliżeniu takie same (por. rys. 2 i 3).

2) w ciągu wieloletniego okresu praktycznego stosowania mierników zakłóceń z detektorem quasiszczytowym nagromadzono wiele doświadczeń i cennego materiału statystycznego, który stałby się częściowo nieużyteczny po wprowadzeniu miernika innego typu;

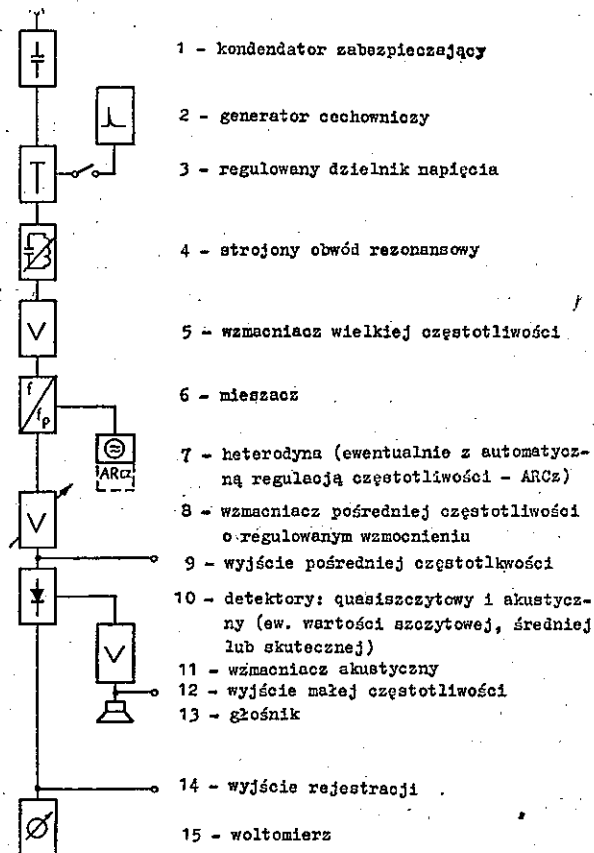
3) zarówno w kraju jak i za granicą w eksploatacji znajduje się znaczna liczba mierników zakłóceń z detektorem quasiszczytowym i ich zakaz użytkowania byłby ze względów ekonomicznych nie wskazany.

Jako podstawowy wskaźnik do oceny zgodności parametrów miernika z wymaganiami normy przyjęto charakterystykę impulsową miernika, tj. jego odpowiedź na krótkie impulsy o regulowanej amplitudzie, których częstotliwość może być zmieniana od pojedynczego impulsu do kilku tysięcy impulsów w ciągu sekundy. Zgodnie z przyjętą praktyką odpowiedź ta jest odnoszona do skutecznej wartości niemodulowanego napięcia sinusoidalnego przyłożonego na wejście miernika. Do ujednoczenia warunków badania tej odpowiedzi, w polskiej normie podane są także wymagania na generatory impulsów wzorcowych, zwane inaczej generatorami widma częstotliwości.

Dotychczasowa praktyka wykazuje, że możliwe jest uzyskanie charakterystyki impulsowej mieszczącej się w dopuszczalnym polu tolerancji przy różnych stałych czasowych detektora i wskaźnika. Z drugiej jednak

strony, odpowiedź miernika zakłóceń na impulsy o przypadkowej amplitudzie, częstotliwości powtarzania i czasie trwania, jakie najczęściej występują w praktyce, w sposób istotny zależy od tych parametrów. Na przykład odpowiedź na impuls o bardzo długim czasie trwania zależy głównie od stałej czasowej ładowania detektora [17, 18, 19, 20]. Z tych też względów w normie podane są także wymagania dla tych stałych czasowych.

W nowym tekście normy, w odróżnieniu od poprzednich, podano zalecany układ blokowy miernika zakłóceń, pokazany na rys. 1. Jest to po-



Rys. 1. Zalecany układ blokowy typowego miernika zakłóceń

miarowy odbiornik superheterodynowy posiadający następujące właściwości ogólne:

- wyłącznie ręczna regulacja czułości (bez automatycznej regulacji wzmacnienia);
- określone ściśle pole tolerancji dla krzywej selektywności;

- woltomierz quasiszczytowy o dokładnie sprecyzowanych stałych czasowych, dołączony bezpośrednio do ostatniego stopnia wzmacniacza pośredniej częstotliwości.

W razie potrzeby oczywiście jest jednak możliwe stosowanie mierników zakłóceń opartych na innej zasadzie, np. wzmocnienia bezpośredniego, bez przemiany częstotliwości. Interpretacja postanowień normy w tym ostatnim przypadku jest oczywista.

Normalizowane są tylko te parametry mierników zakłóceń, które mają istotny wpływ na ich wskazania. Wszystkie inne właściwości, zależne od warunków zastosowania, jak np. zakres pomiarów napięcia czy natężenia pola, pokrywany zakres częstotliwości, stałość częstotliwości czy rozwiązanie konstrukcyjne pozostawione są do indywidualnego wyboru, w zależności od potrzeb i możliwości.

Służby radiowe działające w zakresie częstotliwości powyżej 30 MHz są bardzo różnorodne zarówno pod względem rodzaju przesyłanej informacji (np. obraz, dźwięk), jak i modulacji (np. modulacja amplitudy, modulacja częstotliwości). Ta różnorodność nie pozwala na zbudowanie urządzenia, którego wskazania byłyby bezpośrednio związane z efektem zakłócającym obserwowanym w każdej z tych służb. Z tego powodu, zgodnie z panującymi tendencjami, w omawianej normie przyjęto rozwiązanie kompromisowe. Parametry mierników zakłóceń na zakres częstotliwości 30...300 MHz zostały wybrane w sposób analogiczny do przyjętych w zakresie częstotliwości 0,15...30 MHz. Wzięto przy tym pod uwagę przede wszystkim obowiązujące zalecenia międzynarodowe. Takie rozwiązanie wymaga jednak, przy ustaleniu dopuszczalnych poziomów zakłóceń, uwzględnienia korelacji między wynikami pomiarów a efektem zakłócającym w określonej służbie radiowej.

W podobny sposób zostały ustalone nowe wymagania dotyczące parametrów mierników w zakresie 300...1000 MHz. Są one ustalone tak, że można je spełnić, wykorzystując miernik na zakres 30...300 MHz z odpowiednią przystawką do przemiany częstotliwości.

Urządzenia pomiarowe są przeznaczone do kontroli zakłóceń rozprzestrzeniających się po przewodach sieci elektrycznej oraz promieniowanych bezpośrednio. W pierwszym wypadku stosuje się do pomiarów dodatkowe urządzenia pomocnicze, tzw. sieci sztuczne. Zadaniem ich jest z jednej strony zapobieżenie przenikaniu zakłóceń z badanego źródła zakłóceń do sieci zasilającej, a z drugiej — zapewnienie określonej impedancji „widzianej” przez to źródło. Przy pomiarach natężenia pola zakłóceń miernik współpracuje z odpowiednim urządzeniem antenowym. W omawianej normie podane są zasadnicze wymagania stawiane takim sieciom sztucznym i urządzeniom antenowym.

3. MIERNIK Z DETEKTOREM WARTOŚCI SKUTECZNEJ SZCZYTOWEJ I ŚREDNIEJ

W pracach badawczych i rozwojowych, jak również w praktyce eksploatacyjnej w dziedzinie zakłóceń radiotelelektrycznych są także często stosowane inne rodzaje urządzeń pomiarowych, jak np. mierniki zakłóceń o złagodzonych parametrach w porównaniu z parametrami mierników odpowiadających postanowieniom omawianej normy, analizatory widma częstotliwości, odbiorniki panoramiczne.

Podana norma określa parametry miernika, którego wskazania mogą być wykorzystane do porównań mierzonych wartości z wartościami poziomów zakłóceń wymaganych zgodnie z normą na dopuszczalne poziomy zakłóceń [30].

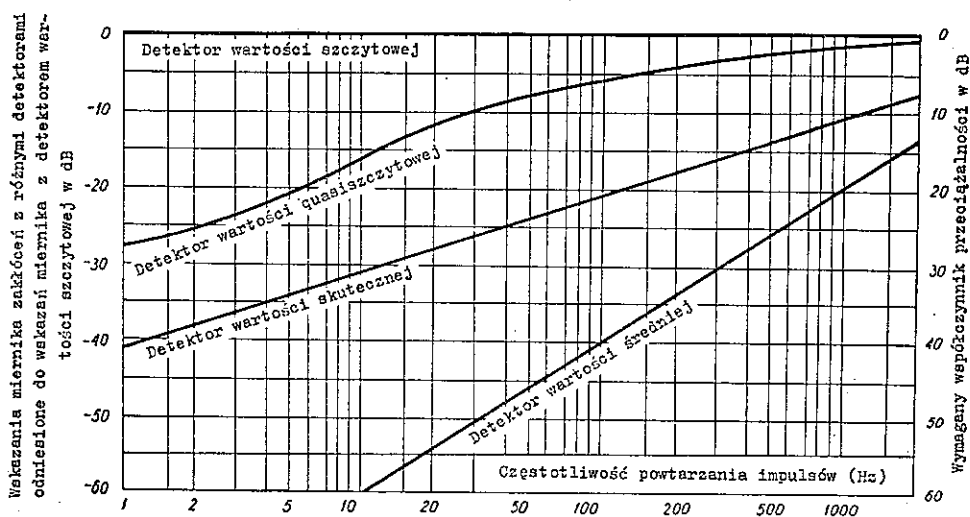
Rezultaty uzyskiwane za pomocą innych urządzeń pomiarowych muszą być odnoszone do wskazań miernika o normowanych parametrach z detektorem quasiszczytowym.

Biorąc jednak pod uwagę, że w pracach rozwojowych i badawczych jest często pożądana, a niekiedy nawet konieczna znajomość skutecznej, szczytowej czy średniej wartości badanych zakłóceń, w normie zalecono stoso-

Tablica 1
Podstawowe parametry mierników zakłóceń z detektorem wartości skutecznej, szczytowej i średniej

| Parametr | Jednostka | Detektor wartości | | |
|--|----------------|---|---|--|
| | | — skutecznej | — średniej | — szczytowej |
| Wymagany współczynnik przeciążalności 1), 2) | dB | $20 \log \left[1,38 \times \sqrt{\frac{B}{n}} \right]$ | $20 \log \left[1,05 \frac{B}{n} \right]$ | Teoretycznie nie wymagany. Praktycznie przyjmuje się 6 dB |
| Powierzchnia krótkiego impulsu wzorcowego o częstotliwości powtarzania 100 Hz 3) | μVs | $\frac{155}{\sqrt{B}}$ | 14 | $\frac{1335}{B}$ |
| Krzywa odpowiedzi miernika na powtarzane impulsy wzorcowe 4) | dB | $k_1 - 10 \cdot \log(n)$ | $k_2 - 20 \cdot \log(n)$ | Teoretycznie nie zależy od częstotliwości powtarzania impulsów |

Uwagi: 1) B — szerokość pasma na poziomie -6 dB w [Hz] (podano w PN-69/T-06450).
 2) n — częstotliwość powtarzania impulsów wzorcowych w [Hz].
 3) Odpowiedź miernika zakłóceń na podane impulsy wzorcowe jest równa jego odpowiedzi na niemodulowany sygnał sinusoidalny o częstotliwości dostrojenia miernika i wartości skutecznej 2 mV (SEM), w warunkach dopasowania.
 4) k_1 i k_2 — współczynniki proporcjonalności.



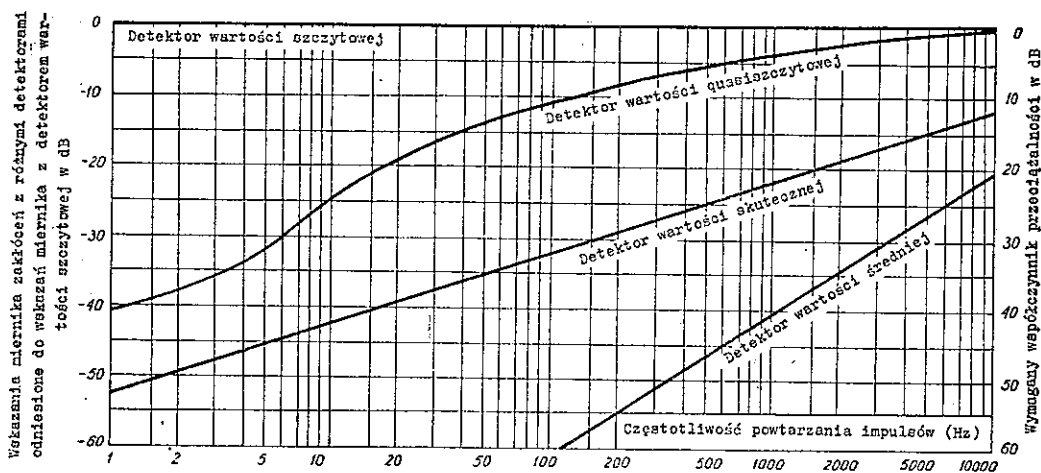
Rys. 2. Odpowiedzi miernika zakłóceń na powtarzane impulsy wzorcowe o powierzchni $0,316 \mu\text{Vs}$ z detektorem wartości szczytowej, quasiszczytowej, średniej i skutecznej. Parametry miernika wg PN/T-06450 dla zakresu częstotliwości $0,15 \dots 30 \text{ MHz}$

wanie takich detektorów w charakterze urządzeń pomocniczych. Tego rodzaju detektory ułatwiają bowiem bardziej szczegółowe określenie charakteru zakłóceń. Należy przypuszczać, że w przyszłości detektory takie nie będą traktowane jako urządzenia dodatkowe, a staną się obowiązuje, ponieważ wymagane w tym celu zmiany konstrukcyjne w mierniku z detektorem quasiszczytowym nie są zbyt duże. W tabelicy 1 zestawiono najważniejsze parametry mierników zakłóceń z różnymi detektorami oraz zależność odpowiedzi miernika na impulsy wzorcowe częstotliwości ich powtarzania.

Należy pamiętać, że przy pomiarach tych samych zakłóceń wskazania mierników z różnymi detektorami są oczywiście różne; największe wartości wskazań odpowiadają detektorowi wartości szczytowej, najmniejsze — detektorowi wartości średniej. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wykresy ilustrujące wskazania mierników z różnymi detektorami przy pomiarach powtarzających się impulsów zakłócających. Z rysunków tych można także wyznaczyć wymagany współczynnik przebiegłości miernika.

4. MIERNIK ZAKŁÓCEŃ SINUSOIDALNYCH

Jak już wspomniano wcześniej, większość zakłóceń radioelektrycznych nosi charakter impulsowy. Takie zakłócenia mają z zasady stosunkowo szerokie widmo częstotliwości i dlatego bywają niekiedy nazywane także za-



Rys. 3. Odpowiedź miernika zakłóceń na powtarzane impulsy wzorcowe o powierzchni $0,0044 \mu\text{Vs}$. z detektorem wartości szczytowej, quasiszczytowej, skutecznej i średniej. Parametry miernika wg PN/T-06450 dla zakresu częstotliwości 30...300 MHz i 300...1000 MHz

kłóceniami szerokopasmowymi. Znormalizowany miernik z detektorem quasiszczytowym jest specjalnie przystosowany do pomiarów takich właśnie zakłóceń.

Pewna część spotykanych w praktyce zakłóceń nosi inny charakter; ich energia jest zawarta najczęściej w bardzo wąskim pasmie częstotliwości. Takie zakłócenia nazywane są wąskopasmowymi albo sinusoidalnymi ze względu na ich przebieg czasowy. Urządzeniom, przeznaczonym specjalnie (i wyłącznie) do pomiarów zakłóceń sinusoidalnych, stawia się wymagania nieco inne niż podano w omawianej normie, ponieważ nie wszystkie parametry mierników znormalizowanych mają istotny wpływ na rezultaty pomiarów tych zakłóceń. Pozwala to w pewnych przypadkach uprościć urządzenie pomiarowe, co może mieć istotne znaczenie ekonomiczne, ponieważ miernik znormalizowany jest złożony i kosztowny. Sprawę tę ilustruje tabl. 2, w której porównano wymagania stawiane miernikom zakłóceń impulsowych (szerokopasmowych) i sinusoidalnych (wąskopasmowych).

Należy jednak zaznaczyć, że w pewnych wypadkach niektóre parametry mierników zakłóceń sinusoidalnych muszą być zastrzeżone w stosunku do wymagań normy. Na przykład pomiary bardzo słabych sygnałów zakłócających o częstotliwości zbliżonej do częstotliwości silnych obcych sygnałów wymagają zwiększonej selektywności i ekranowania. Pomiary zakłóceń sinusoidalnych wymagają także utrzymywania stałości częstotliwości heterodyny w zadanych przedziałach (p. tabl. 3). Pomiary zakłóceń wąskopasmowych o zmieniającej się częstotliwości można wykonać tylko miernikami z automatyczną regulacją częstotliwości (ARCz).

Tablica 2

Porównanie parametrów mierników zakłóceń impulsowych i mierników zakłóceń sinusoidalnych

| Parametr miernika zakłóceń | impulsowych | | sinusoidalnych |
|---|---|-------------------------------|---|
| | 0,15...30 MHz | 30...300 MHz i 300...1000 MHz | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Szerokość pasma na poziomie -6 dB | 9 kHz | 120 kHz | Nie ma istotnego wpływu na wynik pomiaru |
| Rodzaj detektora | Detektor wartości quasiszczytowej o stałych czasowych ładowania 1 msek 1 msek rozładowania 160 msek 550 msek | | Dowolny typ detektora amplitudowego. Warunkiem jest cechowanie miernika w skutecznej wartości napięcia sinusoidalnego |
| Stała czasowa wskaźnika | 160 msek | 100 msek | Nie ma istotnego wpływu na wynik pomiaru |
| Współczynnik przeciążalności obwodów poprzedzających detektor | 30 dB | 43,5 dB | 6 dB |
| Współczynnik przeciążalności wzmacniacza prądu stałego | 12 dB | 6 dB | 6 dB |
| Selektywność | Normowane pole tolerancji do poziomu 20 dB | | Nie ma istotnego wpływu na wynik pomiaru |
| Tłumienie sygnałów p.c.z, lustrzanych i innych | 40 dB | 40 dB | 40 dB W uzasadnionych przypadkach może być wymagana jeszcze większa wartość |
| Tłumienie efektów intermodulacji | 36 dB | 36 dB | 36 dB |
| Ekranowanie | 60 dB | 60 dB | 60 dB W uzasadnionych przypadkach może być wymagana jeszcze większa wartość |
| Dokładność pomiaru napięcia natężenia pola | ±2 dB ±3 dB | ±2 dB ±3 dB | ±2 dB ±3 dB |
| Stołość częstotliwości heterodyny | Nie objęta normą, ponieważ parametr ten przy pomiarach zakłóceń impulsowych nie ma zasadniczego znaczenia | | Pożądana jest jak największa oraz ew. ARCz. |

Tablica 3

Główne parametry mierników zakłóceń i prognozy rozwoju urządzeń do pomiarów zakłóceń

| Charakterystyka | Stan obecny: | | Prognoza na przyszłość |
|-----------------------------------|--|--|---|
| | w kraju | w krajach rozwiniętych | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Rodzaje urządzeń | urządzenia do pomiarów lub analizy widma częstotliwościowego | urządzenia do pomiarów lub analizy widma częstotliwościowego | Zautomatyzowane urządzenia do rejestracji i analizy charakterystyk widmowych lub przebiegów czasowych |
| Zakres częstotliwości pomiarowych | od 150 kHz do 250(300) MHz | od 30 Hz do 20 GHz | od 20 Hz do 40(80) GHz |
| Tłumienie sygnałów niepożądanych | 40 dB | 40+60 dB | 90+120 dB |
| Dynamika miernika ¹⁾ | ok. 70 dB | 80+100 dB | 80+120 dB |
| Zmiana zakresu mierzonych napięć | ręczna, skokowa | ręczna, skokowa | automatyczna |
| Rozdzielczość amplitudowa | 3 dB | 3 dB | 1 dB |
| Dokładność częstotliwości | 2% | 1% | 10 ⁻⁷ |
| Sposób przestrajania miernika | ręczny | ręczny lub elektro-mechaniczny | elektryczny z możliwością programowania i zdalnego sterowania |
| Forma przedstawiania wyników | odczyt przez operatora | analogowa, odczyt przez operatora | Zapis w postaci cyfrowej lub analogowej |
| Zasada pracy | Odbiornik superheterodynowy z lok. oscylatorem | Odbiornik superheterodynowy z lok. oscylatorem | Odbiornik superheterodynowy z syntezą częstotliwości |

¹⁾ Dynamika jest tu rozumiana jako stosunek wartości napięcia sygnału wejściowego, przy którym następuje odchylenie o 3 dB od liniowej zależności napięcia wyjściowego od napięcia wejściowego do wartości skutecznej szumów własnych.

5. UWAGI KOŃCOWE

W omawianej normie podano wymagania dotyczące mierników zakłóceń, sieci sztucznych i urządzeń antenowych oraz metody ich badania dla rozszerzonego zakresu częstotliwości od 0,15 do 1000 MHz. Są one całkowicie zgodne z zaleceniami międzynarodowymi [5, 6, 7] i [24]. Podano odpowiednie przykłady i zalecenia, które mogą być przydatne dla producenta. Wprowadzono podział badań na pełne i niepełne, przy czym te ostatnie są badaniami stuprocentowymi. Postanowienie to znajduje uzasadnienie dwójakiego rodzaju. Po pierwsze, mierniki zakłóceń są stosowane przy kontroli produkcji i ich wskazania mogą decydować o przyjęciu lub odrzuceniu całych partii gotowych wyrobów. Stąd wynikają wysokie wymagania co do rzetelności ich wskazań; stuprocentowe badania mają na celu zapewnić wymaganą rzetelność. Po drugie z doświadczeń dotychczasowej eksploatacji krajowych mierników zakłóceń wynika, że celowa jest okresowa ich kontrola (co około pół roku).

Wyjaśnienia wymaga jeszcze sprawa tzw. mierników eksploatacyjnych lub uproszczonych. Otóż w niektórych zaleceniach organizacji międzynarodowych [8] i normach niektórych krajów [25] oprócz mierników zakłóceń, zgodnych z wymaganiami omawianej polskiej normy, (które tam nazywane są miernikami laboratoryjnymi lub miernikami I klasy), przewiduje się mierniki o znacznie złagodzonych wymaganiach (nazywanych tam miernikami eksploatacyjnymi lub miernikami II klasy).

Przyrządy tego rodzaju, lekkie, łatwe do przenoszenia i proste w obsłudze, znajdują zastosowanie w służbie przeciwzakłóceńowej resortu łączności do wykrywania źródeł zakłóceń, ich lokalizacji i wstępnej oceny poziomu wywoływanych przez te źródła zakłóceń radioelektrycznych. Mogą one być przeznaczone do pomiarów w zawężonym zakresie częstotliwości. Sprawa powtarzalności pomiarów, ich dokładności ma tu znaczenie drugorzędne, dlatego też ich parametry elektryczne zostały obniżone.

Przy obecnym stanie techniki możliwa jest produkcja mierników I klasy w wykonaniu przenośnym, tak że zaniżanie ich parametrów nie znajduje obecnie pełnego uzasadnienia. Ponadto wyniki, uzyskiwane za pomocą mierników I i II klasy, mogą się znacznie różnić między sobą, zwłaszcza przy pomiarach zakłóceń o charakterze impulsowym. Wskutek tego wyniki pomiarów wykonanych miernikami II klasy nie mogą być porównywane z wymaganiami norm na dopuszczalne poziomy zakłóceń.

Postanowienia omawianej normy polskiej odpowiadają postanowieniom norm w krajach rozwiniętych (np. [26, 27]) i zaleceniom najbardziej kompetentnych organizacji międzynarodowych. Nieco inaczej jednak przedstawia się sprawa stanu produkcji krajowych urządzeń do pomiarów zakłóceń radioelektrycznych. Dla ilustracji w tabl. 3 zestawiono główne parametry

mierników krajowych i produkowanych w krajach przodujących (urządzenia o najwyższych parametrach technicznych).

Ponadto przedstawiono tam dane charakteryzujące tendencje rozwojowe, oparte na wynikach analizy stanu i prognozy rozwoju techniki w omawianej dziedzinie w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej [29].

WYKAZ LITERATURY

1. Radio noise measuring set. Natl. Elec. Light Assoc. Publ. Jan. 1933 nr 32.
2. *Byrhydt C. R.*: Radio noise meter and its application. GE Rev. April 1933, vol. 36, pp 201...205.
3. *Dinger H. E.*: Radio Frequency Interference Measurements and Standards. PIRE, May 1962.
4. International Special Committee on Radio Interference. Rept. R.I. (Belgium) 1, November 1937 and Rept. R.I. (Belgium) 2, December 1937.
5. CISPR, Publ. 1: Specification for CISPR radio interference measuring apparatus for the frequency range 0,15...30 mc/s. 1961.
6. CISPR, Publ. 2: Specification for CISPR radio interference measuring apparatus for the frequency range 25 Mc/s to 300 Mc/s. 1961.
7. CISPR, Publ. 4: CISPR measuring set specification for the frequency range 300 MHz to 1000 MHz. 1964.
8. OSS-Thema 320861: Technische Forderungen für Funkstörmessgeräte und Betriebsstörmessgeräte. Berlin, Januar 1965.
9. OSS-Thema 320831: Abschlussbericht zur Teilaufgabe Technische Forderungen für Netznachbildungen im Frequenzbereich 0,15...30 MHz. Berlin, Dezember 1967. RFZ/EV5.
10. *Rotkiewicz W.*: Miernik poziomu zakłóceń. Prace IŁ, nr 1(3), 1956, s. 41.
11. *Grobelny M.*: Miernik zakłóceń na zakres fal ultrakrótkich. Prace IŁ, 1957, nr 1(7).
12. *Grobelny M.*: Miernik zakłóceń radioelektrycznych dla zakresu częstotliwości 30...220 MHz. PAK, 1964, z. 4.
13. *Moroń W.*: Sprawdzenie odpowiedzi na impulsy przemysłowych mierników zakłóceń radioelektrycznych. PAK 1963 z. 4.
14. *Treter A.*: Miernik poziomu zakłóceń na zakres częstotliwości 0,15...20 MHz. Prace IŁ, 1957 nr 1.
15. *Treter A.*: Miernik poziomu zakłóceń. Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej, Elektryka, 1965, nr 6.
16. *Grobelny M., Strużak R., Smorąg H., Stawski W., Pietranik M.*: Aparatura do pomiaru zakłóceń radioelektrycznych. Problemy Elektroniki i Telekomunikacji, 1968, nr 18.
17. *Francuz A. G.*: Rabota diodnowo woltmietra pod wozdziejstwiejem processow sluczajnowo charakteria. Radiotiechnika, 1954, nr 6.
18. *Haber F.*: Response of quasi-peak detector to periodic impulses with random amplitudes. IEEE, Transaction on Electromagnetic Compatibility. March 1967.
19. *Fastowskij I. A.*: Rabota magnitoelektriczeskowo pribora pod wozdziejstwiejem eksponencjalnych impulsow. Iz. m. Tiech 1962, nr 4.
20. *Fastowskij I. A.*: Rabota inercionnowo dietektora pri wozdziejstwieii impulsow szložnoj formy. Radiotiechnika 1961, nr 5.

21. PN-59/T-06450: Laboratoryjne mierniki zakłóceń radioelektrycznych. Przepisy ogólne.
22. PN-62/T-06450: Mierniki przemysłowych zakłóceń radioelektrycznych. Wymagania i badania techniczne.
23. PN-69/T-06450: Przemysłowe zakłócenia radioelektryczne. Urządzenia do pomiaru zakłóceń. Wymagania i badania.
24. RWFG. RS-534-66. Pribory dla izmierienija radiopomiech. Tiechniczeskije triebowanija. Mietody ispytaniij. 1966.
25. GOST — 11001-64.: Izmeriteli radiopomiech. Tiechniczeskije triebowanija.
26. B. S. 727. Specification for Radio-Interference Measuring Apparatus for the Frequency range 0,015 MHz to 1000 MHz. 1967.
27. TGL 20885, Blatt 2.: Funkentstörung. Funkstörmessgerät. Kennwerte Prüfbedingungen. 1965.
28. CISPR/WG 1 (Chairman) 14 Discussion of Technical Considerations of Reply to S.Q. 56: Correlation between CISPR and Non-CISPR interference measuring equipment. April 1967.
29. Sproul R. W.: The Future of EMC Instrumentation. IEEE Trans. EMC, 1965, nr 1.
30. Polska norma PN-69/E-02031 (projekt): Przemysłowe zakłócenia radioelektryczne. Dopuszczalne poziomy.

P. G. Стружак, Г. Слоронг, М. Петраник

СТАНДАРТИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОМЕХ

Резюме

В 1968 году Польским комитетом по стандартизации была окончена работа по новеллизации нормы для измерителей промышленных радиоэлектрических помех (P-69/T-06450). В настоящей статье приведены выяснения и обоснования некоторых решений этой нормы, уточняющей требования, предъявляемые измерителям так называемого квазипикового значения помех.

Кроме этого в статье приведены наиболее важные параметры измерителей пикового, эффективного и среднего значения помех, которые до настоящего времени еще не стандартизованы.

Описаны также устройства, предназначенные специально для измерений узкополосных помех (синусоидальных), тоже не обнятые вышеуказанной нормой. Указаны тоже современные направления прогресса в области упомянутых выше измерительных устройств.

R. G. Strużak

H. Smorąg

M. Pietranik

STANDARDIZATION OF INSTRUMENTS FOR MEASURING THE RADIOFREQUENCY INTERFERENCE

Summary

In 1968 the Polish Standard Board accomplished the amendment of standard for measuring instruments of the industrial radiofrequency interference (PN/T-06450).

The explications and justifications of some items of the standard, precisising the specifications imposed to the meters of so-called quasi peak value of radiofrequency interference, have been presented.

The more important parameters of instruments for measuring the peak-, effective- and mean interference values not yet standardized have been given.

The instrument destined especially for measuring the narrow band (monofrequent) interference which have not been comprised in the standard, have been discussed. Actual evolutional tendency in the domain of the discussed instruments have been mentioned here also.

R. G. Strużak

H. Smorąg

M. Pietranik

NORMALISATION DES APPAREILS À MESURER LES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

Résumé

Le Comité de Normalisation de Pologne a achevé en 1968 les amendements des normes des appareils à mesurer les perturbations industrielles radioélectriques (PN-69/T-06450).

Dans l'article on a présenté les explications et les justifications de certaines clauses de la norme précisant les demandes posées aux appareils à mesurer la valeur dite quasi de crête des perturbations.

On a aussi présenté les paramètres plus importants des appareils à mesurer les valeurs des perturbations quasi de crête, efficaces et moyennes qui jusqu'à présent ne sont pas encore normalisés.

On a traité les appareils destinés spécialement à mesurer les perturbations à bande étroite (monofréquentielles) qui dans la norme mentionnée n'ont pas été prises en considération. Les tendances actuelles concernant le progrès dans le domaine des appareils ci-dessus sont ici présentées également.

R. G. Strużak
H. Smorąg
M. Pietranik

NORMALISIERUNG DER MESSEINRICHTUNGEN FÜR RUNDFUNKSTÖRUNGEN

Zusammenfassung

Im Jahre 1968 hat man im Polnischen Normalisierungsausschuss die Arbeiten über eine Novelle der Norm für die Messgeräte für industrielle Rundfunkstörungen (PN-69/T-06450) beendet.

In dem Artikel werden die Erläuterungen und Begründungen einiger Beschlüsse dieser Norm, die die den Messern des sogenannten Quasi-Spitzenwertes von Störungen gestellten Forderungen präzisieren, gegeben.

Ausserdem werden im Artikel wichtigere Parameter der Spitzen-, Effektiv- und Mittelwerte von Störungen gegeben, die bisher noch nicht normalisiert worden waren.

Man hat auch die Einrichtungen, die besonders für Messungen der Schmalbandstörungen (sinusoidal) bestimmt sind und die auch nicht mit der obengenannten Norm umfassen sind, besprochen. Die aktuelle Entwicklungstendenzen im Gebiet dieser Messeinrichtungen werden auch erwähnt.

[The body of the document contains extremely faint and illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is too light to transcribe accurately.]

KATARZYNA RYNIEWICZ

BADANIA NAD ULEPSZENIEM STOPÓW I AKTYWATORÓW DO PROTEKTORÓW STOSOWANYCH PRZY OCHRONIE KATODOWEJ URZĄDZEŃ LINIOWYCH

Rękopis dostarczono do Komitetu Redakcyjnego dnia 20. III. 1969 r.

Praca niniejsza dotyczy zagadnienia ochrony protektorowej telekomunikacyjnych kabli ziemnych przy stosowaniu anod reakcyjnych wykonanych z nowych zestawów stopów aluminium.

Omówiono także problem doboru mas aktywujących dla tego rodzaju protektorów.

Na podstawie wyników badań laboratoryjnych wytypowano stopy i aktywatory kwalifikujące się do prób w warunkach eksploatacyjnych przy ochronie katodowej ołowianych powłok kablowych.

1. WSTĘP

Przeprowadzone w Instytucie Łączności w latach poprzednich badania protektorów aluminiowych ze stopu AlZn 10 [1,2] z zastosowaniem aktywatorów alkalicznych nie dały zadowalających rezultatów. W związku z tym postanowiono rozszerzyć badania na inne stopy aluminium. Niniejsza praca jest nawiązaniem do uprzednio prowadzonych badań i celem jej było uzyskanie stopów protektorowych ekonomicznych i efektywnych, tzn. nie ulegających pasywacji w warunkach pracy w ziemi oraz dobór odpowiednich aktywatorów przeciwdziałających powstawaniu trudno rozpuszczalnych produktów korozji, zmniejszających efektywność pracy protektora. Badania prowadzono w warunkach laboratoryjnych i na podstawie otrzymanych wyników wytypowano 3 rodzaje stopów protektorowych o następującym składzie:

1. Al + 15% Mg + 10% Zn
2. Al + 8% Zn + 0,3% Ca
3. Al + 8% Zn + 1,8% Mg

Ponadto w trakcie badań stwierdzono, że najlepsze własności aktywujące ma cement Sorela. Stopy te wraz z wymienionym aktywatorem będą badane w warunkach eksploatacyjnych przy ochronie katodowej ołowianych powłok kabli podziemnych.

2. PRZEGLĄD WŁASNOŚCI PROTEKTORÓW ZE STOPÓW ALUMINIUM

2.1. Wpływ dodatków stopowych na własności protektora

Czyste aluminium jako materiał protektorowy jest mało przydatny z tego względu, że ulega łatwo pasywacji. Rozwój metalurgii stopów aluminium przyczynił się do rozpowszechnienia tego łatwo dostępnego i stosunkowo taniego materiału. Opracowano stopy odznaczające się wieloma cennymi zaletami w zastosowaniu do ochrony katodowej metalowych konstrukcji przed korozją. Protektorowe stopy aluminium stosuje się przede wszystkim do ochrony konstrukcji pływających w wodzie morskiej. Nieliczne wzmianki wskazują także na zastosowanie ich do ochrony konstrukcji stacjonarnych (znajdujących się w wodzie), jeśli istnieje możliwość okresowego oczyszczania powierzchni protektora z osadu [3]. Woda morska stwarza wyjątkowo korzystne warunki pracy protektorów aluminiowych ze względu na duże stężenie jonów chlorkowych w elektrolicie otaczającym anodę a także ze względu na ciągły ruch elektrolitu przeciwdziałający osadzaniu się na powierzchni anody warstewki produktów korozji.

W odniesieniu do ochrony konstrukcji podziemnych stosowanie aluminium i jego stopów napotyka większe trudności. Niemniej badania przeprowadzone w latach 40 naszego stulecia wykazały przydatność stopów aluminium do ochrony obiektów podziemnych przy zastosowaniu odpowiednio dobranych aktywatorów [4]. Według danych radzieckich stopy aluminium wprowadzono do ochrony rurociągów podziemnych, znajdujących się w gruntach zawierających duże ilości soli [5].

W celu znalezienia materiałów odpowiednich do pracy zarówno w warunkach morskich jak i glebowych badano stopy podwójne, potrójne i wieloskładnikowe, w których najczęściej występującymi dodatkami stopowymi były metale, jak: cynk, magnez, cyna, wapń, ind, rtęć, żelazo.

Badania wskazywały, że dodatek cynku nie tylko zwiększa potencjał stopu w kierunku ujemnym (w wielu elektrolitach stopy aluminium z małą domieszką cynku są anodowe względem czystego aluminium), ale ma także dodatni wpływ na strukturę warstewki tlenkowej, tworzącej się na powierzchni protektora [6,7]. Stwierdzono ponadto, że dodatek cynku wydawnie podnosi wydajność prądową anody.

Badania *Gerasimowa* i *Rosenfelda* wykazały, że przy zwiększeniu zawartości cynku do 30% potencjał stopu szybko wzrastał w kierunku ujemnym. Dalszy wzrost zawartości cynku do 70% praktycznie nie zmieniał wielkości stacjonarnego potencjału stopu. Przy przechodzeniu do czystego cynku obserwowano niewielkie przesunięcie potencjału w kierunku dodatnim. Badania powyższe prowadzono w 1,5% roztworze chlorku sodowego. Mierzono także spadek natężenia prądu ochrony w miarę upływu czasu pracy protektorów oraz wydajność prądową. Stwierdzono przy tym, że stopy środkowej części układu Al-Zn mogą być wykorzystane do przygotowania protektorów. Stopy te mają potencjał bliski potencjałowi cynku, ale w odróżnieniu od niego wykazują mniejszą polaryzację anodową, dają większy prąd ochrony, większą stabilność pracy i przy ich eksploatacji zużywa się mniej materiału protektora dla uzyskania tej samej ilości elektryczności. Jako najbardziej efektywne uznano stopy zawierające od 30 do 70% cynku. Jednakże w czasie pracy protektora wielkość potencjału zmieniała się w kierunku dodatnim, co świadczyło o jego polaryzacji. W ciągu 10 dni trwania badań najmniejszy stopień polaryzacji wykazały stopy z zawartością 50—70% cynku.

W Instytucie Łączności opracowano laboratoryjnie, a następnie zastosowano w warunkach naturalnych stop aluminium z dodatkiem 10% cynku. Obiektem chronionym był kabel podziemny w powłoce ołowianej. Protektory umieszczono w aktywatorach alkalicznych. Stop protektorowy wykonano z materiałów wysokiej czystości (aluminium rafinowane 99,99%, cynk elektrolityczny 99,998%). Po zainstalowaniu anod aluminiowych potencjał kabel-ziemia przesunął się w kierunku ujemnym tylko o 60 mV. Średnia wartość potencjału kabel-ziemia po 12 miesiącach eksploatacji wynosiła $-0,88$ V względem elektrody Cu/CuSO₄ (przed zainstalowaniem anod wynosiła $-0,82$ V).

Po 20 miesiącach pracy anod zaobserwowano tendencję przesuwania się potencjału w kierunku wartości dodatnich. Natężenie prądu w obwodzie ochrony od początkowej wartości 44,6 mA obniżyło się do 17,6 mA ($\sim 60,5\%$). Na wydobytym protektorze zaobserwowano warstwę produktów korozji, szczelnie przylegającą do powierzchni anody. Stosowane aktywatory nie przeciwdziałały powstawaniu tej warstwy.

Spośród wielu stopów aluminium z cynkiem do najczęściej stosowanych należy stop z 5% dodatkiem cynku i odpowiednim aktywatorem. Ten rodzaj stopu badano laboratoryjnie w Instytucie Chemii Fizycznej AN ZSRR w elektrolicie glebowym oraz w różnych aktywatorach [9]. Stwierdzono, że stop ten nie może być zalecany do ochrony konstrukcji podziemnych, ponieważ wysoki elektroujemny potencjał początkowy oraz duże natężenie prądu spadały po krótkim czasie pracy protektora. Jednakże stop ten zastosowano z pozytywnym wynikiem do ochrony stalowych konstrukcji

morskich [10]. W przeciwieństwie do badaczy radzieckich badacze amerykańscy [4] polecają ten typ materiału protektorowego do ochrony urządzeń podziemnych przy zastosowaniu odpowiednich aktywatorów. W zależności od rodzaju aktywatora badania laboratoryjne i terenowe wykazały wydajność anod w granicach od 858 do 2410 Ah/kg.

Innym ważnym dodatkiem w aluminiowych stopach protektorowych okazał się magnez. Badania stopów podwójnych aluminiowo-magnezowych wykazały, że w odniesieniu do obiektów stalowych nie dają one dostatecznie ujemnej wartości potencjału ochrony, ponadto obecność magnezu w stopie nie ma wpływu na strukturę warstwy tlenkowej, tworzącej się na protektorze. Stopy z magnezem ulegały szybko polaryzacji, natomiast wydajność prądowa ich była zadowalająca. Wyjątkowo korzystne okazały się charakterystyki elektrochemiczne stopów potrójnych Al-Mg-Zn. Stopy te w wodzie morskiej polaryzują się mało, ich wydajność prądowa przewyższa wydajność anod magnezowych i wynosi ok. 2000 Ah/kg [4], ponadto w odniesieniu do obiektów stalowych dają dużą różnicę potencjałów. W próbach laboratoryjnych [7] najbardziej ujemny potencjał wykazał stop typu Al Mg 15 Zn 10 przy gęstości prądu 0,5 mA/dm² w elektrolicie imitującym wodę morską. Badania laboratoryjne znalazły potwierdzenie później [10]. Stop o składzie Al + 15% Mg + 10% Zn zastosowano z wynikiem pozytywnym przy ochronie zbiornika z wodą morską. Tenże stop zalecany był do ochrony urządzeń podziemnych, znajdujących się w glebach o dużej zawartości soli, głównie chlorków i siarczanów [5].

Wśród stopów z cynkiem i magnezem *Michajłow* i współpracownicy [11], opierając się na wynikach badań laboratoryjnych, polecają do ochrony katodowej urządzeń podziemnych stop z dodatkiem 3—5% cynku i 5—6% magnezu.

Na dużą uwagę zasługują badania radzieckie odnośnie aluminiowych stopów protektorowych zawierających wapń. Są to stopy podwójne [3], [12], potrójne z wapniem i cynkiem [3], [5], [12, 13] oraz wieloskładnikowe [12, 13]. Stopy te w warunkach morskich oraz w gruntach nasyconych wodą morską lub solanką wykazują doskonałe własności protektorowe. Protektory takie mogą być stosowane bez użycia jakichkolwiek depolaryzatorów, ponieważ czynnikiem depolaryzującym jest wapń, który sprzyja alkalizacji środowiska wokół protektora. Badania metalograficzne i rentgenograficzne stopów wykazały, że wapń występuje w nich w postaci związku międzymetalicznego Ca₄Al i innych o bliżej nie ustalonym składzie, w osnowie ze stałego roztworu cynku w aluminium. Po przyłączeniu protektora do konstrukcji chronionej tworzy się w strefie przyanodowej wodorotlenek wapnia, który w obecności jonów chloru reaguje z produkta-

mi korozji glinu i cynku na powierzchni anody, co zabezpiecza jej stałą aktywność. Najbardziej efektywny okazał się stop o składzie:

| | |
|-------------------|----------------|
| 79,67 % aluminium | 0,56 % magnezu |
| 14,50 % cynku | 0,06 % krzemu |
| 5,10 % wapnia | 0,03 % żelaza |

wykazujący równomierne natężenie prądu, dużą wydajność prądową oraz współczynnik sprawności do 96% w odniesieniu do warunków morskich oraz w gruntach nasyconych wodą morską. Otrzymywanie wieloskładnikowych stopów z zawartością wapnia odbywa się przez elektrolityczne osadzanie wapnia na płynnej wieloskładnikowej katodzie w temperaturze 800° ze stopionego chlorku wapnia [13]. Dane japońskie wzmiankują o opracowaniu stopów o składzie: aluminium + 2,18% cynku + 0,75% wapnia oraz o składzie: aluminium + 7,48% wapnia [14]. Według *Zurakowskiego* i *Francewicza* [12, 13] protektory ze stopów typu Al + Zn + Ca są polecane do ochrony przed korozją morską jako najbardziej efektywne, ekonomiczne i trwałe.

Badania *Raclota* [16] wykazały, że w warunkach korozji morskiej duże znaczenie mogą mieć stopy aluminium z cynkiem z dodatkiem małych ilości miedzi i rtęci. Dodatek rtęci aktywuje powierzchnię stopu. W warunkach morskich stopy te wykazały bardzo dobrą wydajność prądową, wysoki ujemny potencjał, współczynnik sprawności w granicach 60—95% w zależności od warunków pracy protektora; (wymienione protektory stosowano także do ochrony zbiorników solankowych i wyparek celulozowych). Badano dwa rodzaje stopów aluminium aktywowanych rtęcią:

- a) stopy, w których głównym dodatkiem jest cynk w ilości 3—6%;
- b) stopy, w których głównym dodatkiem jest magnez.

Dodatek metali wzmagających pasywność aluminium (np. Cu) ma na celu ograniczenie działania katalitycznego rtęci na aluminium. Wprowadzenia rtęci dokonano za pomocą tzw. stopu — matki o składzie Zn—Hg lub Mg—Zn—Hg.

Stwierdzono, że działanie katalityczne rtęci zależy w dużym stopniu od obecności innych dodatków (Mg, Zn). Jeśli głównym dodatkiem był cynk, to przesunięcie potencjału stopu w kierunku ujemnym nie przekraczało 150 mV. W przypadku magnezu wzrost elektronegatywności przekraczało 300 mV, osiągając nawet 600 mV. Opracowano stopy pod nazwą Mercatal 616, których współczynnik sprawności w wodzie morskiej wynosi 85—95%.

Stopy aluminium z cynkiem i rtęcią (np. 0,45% Zn i 0,045% Hg) stosują ostatnio z dobrymi wynikami w warunkach morskich w Stanach Zjednoczonych [17].

Prowadzono również badania nad przygotowaniem stopów aluminium, zawierających jako dodatki stopowe metale o charakterze elektrododatnim. Na uwagę zasługują tu stopy z cyną, z indem, z żelazem, a także sto-

py z bizmutem i galem. Wysoki ujemny potencjał (około $-1,3V$) wykazywał np. stop z cyną, przy czym stwierdzono, że w tym wypadku nie tylko zawartość cyny ma duże znaczenie, ale także struktura stopu decyduje o jego użyteczności do celów protektorowych [6]. Zastosowane w warunkach morskich stopy aluminium z dodatkiem 0,5% cyny wykazywały jednak mały współczynnik sprawności, mianowicie 30—33% [16]. Lepsze pod tym względem były stopy potrójne z cyną i cynkiem (np. Al + Zn 4% + Sn 0,2%), które w tych samych warunkach pracy wykazywały współczynnik sprawności rzędu 70% [22].

W ciągu ostatnich kilku lat poświęcono więcej uwagi stopom protektorowym potrójnym nie tylko z cynkiem i cyną, ale też z cynkiem i indem oraz z cynkiem i żelazem [18, 19, 20, 21]. Najczęściej proponowany jest dodatek cynku w ilości 6—8%. Dodatek indu w ilości 0,008—0,05% ma na celu utrzymanie stabilnej wydajności prądowej w czasie eksploatacji anody. W tym samym celu dodają niektórzy oprócz indu jeszcze 0,05—0,2% cyny, a także poddają stopy specjalnej obróbce cieplnej. W tablicy 1 po-

Tablica 1

Parametry elektrochemiczne stopów protektorowych

| Skład stopu | Zużycie metalu w czasie elektrolizy % | Wydajność prądowa Ah/kG | Natężenie prądu mA | | Uwagi |
|--------------------------|--|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------|
| | | | początkowe | po 13 dniach elektrolizy | |
| Al+Zn 7% + + Sn 0,12% | 67 | 1411-1499 | 184 | 61 | nie przesycany*) |
| Al+Zn 7% + + Sn 0,12% | 17 | 1213-2580 | 182 | 149 | przesycany |
| Al+Zn 7% + + In 0,01% | 55 | 1433 | 150 | 67 | nie przesycany |
| Al+Zn 7% + + In 0,01% | 16 | 2425 | 153 | 128 | przesycany |

*) Przesycanie polega na nagraniu stopu do temperatury, w której składniki stopu przechodzą do roztworu stałego, jednak bez przemiany alotropowej, wygrzaniu w tej temperaturze i następnym szybkim chłodzeniu. Tego rodzaju chłodzenie ma na celu zatrzymanie rozpuszczonych składników w stałym roztworze i przesyconym.

dano parametry elektrochemiczne niektórych potrójnych stopów protektorowych [19, 20]. Są to wyniki badań laboratoryjnych, w których jako elektrolit stosowano 3,5% roztwór chlorku sodu.

Wzmianki na temat trójskładnikowych stopów protektorowych z indem, cyną i cynkiem podają również prace japońskie [14, 15], przy czym

w warunkach wody morskiej stopy zawierające 0,01—0,02% indu i 0,5—5% cynku miały następujące charakterystyki:

- potencjał anody względem nasyconej elektrody kalomelowej — 1,10 V
- współczynnik sprawności przy gęstości prądu $J > 1$ mA/cm² powyżej 80%

Anody te odznaczały się wysoką wydajnością prądową.

Na ogół przyjmuje się, że domieszka żelaza w stopie protektorowym jest niekorzystna, niemniej w jednym z patentów amerykańskich zaleca się stop potrójny typu Al-Zn-Fe, w którym zawartość żelaza wynosi ok. 1% [21]. Autor patentu twierdzi, że żelazo oraz inne metale, jak chrom, nikiel, magnez, które tworzą z aluminium związki międzymetaliczne typu CrAl₂, NiAl₂ itp., polepszają własności protektorowe stopów aluminium, przy tym na szczególną uwagę zasługuje stop o składzie 5% cynku i 1% żelaza. Współczynnik sprawności anody wykonanej z powyższego stopu wynosił 62% (w środowisku imitującym wodę morską). Odpowiada to wydajności prądowej 1873 Ah/kg. Opatentowane stopy anodowe, według zdania autora, mogą być również wykorzystywane do ochrony katodowej metalowych konstrukcji podziemnych.

2.2. Wpływ domieszek zawartych w stopie na własności protektora

Przy produkcji aluminiowych stopów protektorowych duże znaczenie ma zawartość domieszek zarówno w samym aluminium, jak i w metalach stanowiących dodatki stopowe. W technicznych stopach aluminium najczęściej występują domieszki: Cu, Mg, Mn, Si, Zn, rzadziej Ni, Fe, Cr, Ti, Co, V, Pb, Sn, większość domieszek ma niekorzystny wpływ na własności galwaniczne stopu i obniżają one współczynnik sprawności, wydajność prądową oraz powodują, że potencjał anody staje się bardziej elektrododatni. Badania British Aluminium Co wykazały, że współczynnik sprawności protektora w bardzo dużym stopniu zależy od czystości aluminium [23].

Kierując się założeniem, że najbardziej odpowiedni na anody reakcyjne jest ten materiał, który równomiernie koroduje na całej swojej powierzchni, można przypuszczać, że domieszki mające wpływ na rozdrobnienie ziarna stopu lub polepszenie jego jednorodności powinny działać korzystnie. Niekorzystne wydają się domieszki tworzące związki międzymetaliczne, które wydzielają się na granicy ziaren i mogą wywołać korozję międzykrystaliczną.

Przyjmuje się, że zawartość tego typu domieszek w stopach protektorowych nie powinna przekraczać 0,50%, w tym żelaza nie więcej niż

0,17%, krzemu do 0,20%, miedzi do 0,02% [6], [19]. Opracowane w ZSRR stopy podwójne i wieloskładnikowe z magnezem, cynkiem i kadmem, zawierające w małych ilościach dodatki metali alkalicznych (Ca, Ba, Sr, Li) były przygotowane z aluminium o wysokiej czystości, w którym zawartość żelaza nie przekraczała 0,002% [11].

Według danych japońskich [14, 15] niewielkie ilości żelaza i krzemu zawarte w aluminium o czystości 99,85% nie tylko polepszają warunki pracy anod, ale także trochę zwiększają współczynnik sprawności anody, natomiast zawartość miedzi rzędu 0,01% znacznie pogarsza warunki pracy anod. Obecność niewielkich ilości miedzi może być niekiedy korzystna, np. w stopach aluminium z rtęcią, gdzie miedź daje efekt pasywujący, osłabia tym samym działanie katalityczne rtęci w reakcji z aluminium, zapobiegając tworzeniu się pyłu.

Niewielkie ilości manganu w aluminium są korzystne, ponieważ pierwiastek ten niweluje szkodliwy wpływ żelaza w stopie.

2.3. Wpływ obróbki cieplnej

Szereg pierwiastków tworzy z aluminium roztwory stałe, przy czym rozpuszczalność ich w metalu podstawowym wzrasta ze wzrostem temperatury, co stwarza możliwości wykorzystania obróbki cieplnej w celu nadania stopom odpowiedniej struktury krystalicznej, a tym samym zwiększenia odporności stopu na „autokorozję” (samorozpuszczanie metalu).

Obróbka cieplna jest konieczna szczególnie w przypadku stopów z magnezem. Proces ten ma na celu zapobieganie intensywnej korozji międzykrystalicznej. Aby zapobiec temu zjawisku, należy tak prowadzić obróbkę cieplną, aby nie dopuścić do wydzielenia związków międzymetalicznych wzdłuż granicy ziaren. Odnosi się to do stopów typu Al-Mg i Al-Zn-Mg, w których zawartość magnezu przekracza 3%. Przez wygrzewanie tych stopów w temperaturze powyżej 450° otrzymuje się budowę całkowicie jednorodną [24].

Proces obróbki cieplnej proponowano ponadto do stopów o składzie: Al + Zn 7% + Sn 0,12% i Al + Zn 7% + In 0,01%. [19, 20]. Anody wykonane z wymienionych stopów poddaje się wygrzewaniu w temperaturze 427—495°, przy czym oziębia w wodzie o temperaturze 80—100°. Wpływ obróbki cieplnej takich stopów widoczny jest w tabl. 1.

W odniesieniu do stopów z cyną zwraca się uwagę [22], że struktura stopu powinna być taka, aby cyna była rozproszona równomiernie w postaci bardzo drobnych ziaren w całej masie stopu. Pożądaną strukturę stopu można osiągnąć bądź w procesie odlewania przez szybkie oziębianie stopionego metalu, bądź przez wygrzewanie do temperatury 500° i następnie chłodzenie wodą [22].

2.4. Aktywatory

Przy anodowym rozpuszczaniu stopów w środowiskach zawierających chlorki zachodzi intensywne wydzielanie wodoru z równoczesnym powstawaniem chorku glinu. Związek ten hydrolizuje bardzo łatwo z utworzeniem tlenku glinu i kwasu solnego. Zdolności protektorów aluminiowych do tworzenia kwasu solnego wokół anody są specyficzne dla warunków glebowych, w których jest utrudniona dyfuzja kwasu solnego.

Aby zmniejszyć nieproduktywne rozpuszczanie protektora w takich warunkach, a co za tym idzie osiągnąć wyższy współczynnik sprawności protektora, stosuje się aktywatory alkaliczne lub aktywatory zawierające w swoim składzie inhibitory korozji w kwasie [1]. Prace hinduskie wskazują [26], że wysoki ujemny potencjał anod aluminiowych stosowanych do ochrony stalowych konstrukcji podziemnych można osiągnąć tylko w środowiskach pH powyżej 11. Dla zapewnienia takiego odczynu autorzy proponują stosowanie wodorotlenku sodu lub wapnia, z których ten ostatni jest ekonomiczniejszy. Stosowanie aktywatorów nie ogranicza się do środowisk zawierających chlorki, gdyż zadaniem aktywatora jest, jak wyżej wspomniano, przeciwdziałanie powstawaniu warstwy ochronnej złożonej z produktów korozji, a tym samym podtrzymanie niezmiennego w czasie potencjału protektora oraz zmniejszenie oporności przejścia anoda — ziemia.

Z tego względu dobór aktywatora powinien być dostosowany nie tylko do materiału elektrod, ale także do charakteru środowiska, w którym elektroda będzie pracowała. Przy wyborze aktywatorów należy uwzględnić przewodność elektryczną ziemi. Gdy opór właściwy gruntu jest niewielki (1—3 Ω m), stosowanie soli do aktywatorów może być ograniczone. W suchych gruntach o dużym oporze właściwym ilość soli należy zwiększać [11].

Do najczęściej stosowanych składników mieszanin aktywujących, oprócz różnych rodzajów glin o niskim współczynniku filtracji (gliny te przeciwdziałają wymywaniu rozpuszczalnych składników aktywatora), należą: wapno, gips, sól kuchenna, sole metali ciężkich (szczególnie kalomel), tlenek i chlorek magnezu [4 + 6], [11], [25].

Dodatek chlorków w środowisku przyanodowym obniża opór elektryczny aktywatora, a także zwiększa przewodność elektryczną produktów korozji przylegających do powierzchni anody.

Z wodorotlenku wapnia, wchodzącego w skład aktywatora wapniowego pod działaniem chlorowodoru, tworzy się higroskopijny chlorek wapnia, który także obniża opór elektryczny środowiska przyanodowego, a jednocześnie neutralizuje szkodliwe działanie kwasu solnego na aluminium.

Przy preparowaniu mieszanek aktywatora wykorzystuje się niekiedy

fakt aktywowania powierzchni anody solami metali ciężkich [4]. Najczęściej wykorzystuje się do tego celu kalomel (Hg_2Cl_2), przy czym dodatek jego w aktywatorach alkalicznych wynosi 0,5 do 1% [1], [11].

We wcześniejszych pracach Instytutu Łączności [1, 2], w których badano aktywatory wapniowe w zastosowaniu do protektorów aluminiowych, najbardziej ujemny potencjał protektora uzyskiwano przy zastosowaniu aktywatora o następującym składzie:

| | |
|---------------------|-----|
| wapno hydratyzowane | 30% |
| bentonit | 50% |
| sól kuchenna | 19% |
| kalomel | 1% |

Wśród chlorkowych aktywatorów alkalicznych jest zalecany do protektorów aluminiowych, oprócz wyżej wymienionych, cement Sorela [4]. Jest to mieszanina tlenku i chlorku magnezu.

Działanie cementu Sorela na powierzchnię aluminium zależy od składu mieszaniny. Przy stosunku $MgCl_2$ do MgO 1 : 1 mieszanina ma odczyn obojętny i nie działa na aluminium. Zwiększenie udziału tlenku magnezu powoduje podwyższenie pH i tym samym przyspieszenie korozji aluminium. W cemencie używanym jako aktywator protektorów aluminiowych stosunek tlenku magnezu do chlorku wynosi 2 : 1.

W zależności od sposobu przygotowywania rozróżnia się aktywatory mokre i suche [4]. Pierwsze w postaci papki umieszcza się w dole wykopanym pod anody, drugie w postaci proszku pakuje się w worki wraz z anodą.

3. BADANIA PRZEPROWADZANE W INSTYTUCIE ŁĄCZNOŚCI

3.1. Wybór stopu protektorowego

Wpływ dodatków stopowych i domieszek na korozję aluminium w różnych środowiskach był wielokrotnie badany w wielu krajach. Opierając się na danych z literatury wytypowano do badań laboratoryjnych następujące rodzaje stopów aluminium, mogące znaleźć zastosowanie jako materiał anodowy do ochrony ołowianych powłok kabli umieszczonych w ziemi:

1. Stop aluminium z dodatkiem 15% magnezu i 10% cynku (Al Mg 15 Zn 10).
2. Stop aluminium z dodatkiem 4% cynku i 0,2% cyny (Al Zn 4 Sn 0,2).
3. Stop aluminium z dodatkiem 5% cynku i 1% żelaza (Al Zn 5 Fe 1).

4. Stop aluminium z dodatkiem 8% cynku i 0,6% wapnia (Al Zn 8 Ca 0,6).

5. Stop aluminium z dodatkiem 0,2% cyny (Al Sn 0,2).

6. Stop aluminium z dodatkiem 8% cynku i 0,05% indu (Al Zn 8 In 0,05)

7. Stop aluminium z dodatkiem 8,43% cynku i 1,57% magnezu (Al Zn 8,5 Mg 1,57).

Oprócz wyżej wymienionych stopów próbowano także sporządzić stopy aluminium z magnezem i rtęcią (Al Mg 7 Hg 0,06), gdyż dla warunków glebowych wskazane byłoby określenie optymalnej zawartości rtęci w stopie. Istotą działania tego dodatku w obecności elektrolitu polega na tworzeniu się ogniwa lub też na tworzeniu amalgamatu (Al-Hg). Robiono także próby sporządzenia stopu z większą ilością wapnia (Al Ca 7,5). Ze względu jednak na duże trudności technologiczne w obu wypadkach prób zaniechano.

Przy wyborze stopów do badań brano przede wszystkim pod uwagę własności elektrochemiczne, a w szczególności wartość potencjału, jaki daje dany stop w elektrolitach, stabilność potencjału w funkcji czasu, wydajność prądową i współczynnik sprawności. Ponadto ważne było znalezienie takiego materiału, który nie ulegałby pasywacji na skutek osadzania się twardej zwartej masy produktów korozji na jego powierzchni i który miałby strukturę jednorodną, sprzyjającą równomiernej korozji protektora.

Spośród stopów z dodatkiem magnezu wybrano dwa rodzaje z różną zawartością tego pierwiastka w poszczególnych stopach. Stop nr 1 z dodatkiem 15% magnezu i 10% cynku stanowi roztwór stały z eutektyką o temperaturze topnienia 475°; stop nr 7 o zawartości 1,57% magnezu i 8,43% cynku stanowi roztwór stały związku międzymetalicznego Mg Zn₂ w aluminium. Stop ten nie był dotychczas stosowany na protektory. Stopy aluminium z magnezem i cynkiem poddano obróbce cieplnej. Obróbkę cieplną zastosowano również do stopów z cyną, z cynkiem i cyną oraz z cynkiem i indem.

Z wytypowanych stopów przygotowano odlewy elektrod, w których zawartość składników stopowych (po przeprowadzeniu analizy ilościowej) przedstawia się następująco;

1. 15,9% magnezu; 9,6% cynku reszta aluminium
(Al Mg 15 Zn 10)

2. 3,84% cynku 0,18% cyny " "
(Al Zn 4 Sn 0,2)

3. 4,99% cynku 1,32% żelaza " "
(Al Zn 5 Fe 1)

4. 7,48% cynku 0,3% wapnia reszta aluminium
(Al Zn 8 Ca 0,3)
5. 0,16% cyny „ „
(Al Sn 0,2)
6. 7,7% cynku 0,01% indu „ „
(Al Zn 8 In 0,01)
7. 7,3% cynku 0,03% indu „ „
(Al Zn 8 In 0,03)
8. 7,9% cynku 1,8% magnezu „ „
(Al Zn 8 Mg 1,8).

Wykonanie stopów powierzono Pracowni Odlewnictwa w Instytucie Mechaniki Precyzyjnej. Do wykonania stopów użyto surowce o wysokiej czystości, mianowicie aluminium rafinowane 99,99%, cynk elektrolityczny w gatunku NO 99,998% i magnez 99,9%.

Zanieczyszczenie stopów oznaczono metodą analizy spektralnej. Obecność śladowych zanieczyszczeń w poszczególnych stopach podaje tabl. 2

Tablica 2

Zawartość zanieczyszczeń śladowych w przeznaczonych do badań stopach aluminium

| Nr stopu | Ca % | Fe % | Cu % | Si % |
|----------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 10^{-4} | $5 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-3} | $5 \cdot 10^{-2}$ |
| 2 | 10^{-4} | 10^{-3} | 10^{-4} | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| 3 | 10^{-4} | — | $5 \cdot 10^{-4}$ | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| 4 | — | $5 \cdot 10^{-3}$ | $5 \cdot 10^{-4}$ | 10^{-2} |
| 5 | 10^{-4} | 10^{-3} | 10^{-4} | 10^{-2} |
| 6 | 10^{-4} | $5 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-4} | 10^{-2} |
| 8 | 10^{-4} | 10^{-3} | $5 \cdot 10^{-4}$ | 10^{-2} |

Uwaga. Zanieczyszczenie stopu nr 7 nie było badane.

3.2. Wybór aktywatora

Spośród wielu rodzajów aktywatorów wytypowano do badań aktywator wapniowy i cement Sorela.

Ustalono następujący skład aktywatora wapniowego:

| | |
|---------------------|-----|
| wapno hydratyzowane | 30% |
| bentonit | 50% |
| sól kuchenna | 19% |
| kalomel | 1% |

Na cement Sorela składały się:

2 części wagowe tlenku magnezowego

1 część wagowa bezwodnego chlorku magnezowego.

Do cementu Sorela dodawano, podobnie jak w przypadku aktywatora wapniowego, kalomel w ilości 1⁰/₀.

Aktywator wapniowy przygotowywano na sucho, mieszając poszczególne składniki ze sobą i umieszczając je w worku razem z anodą.

Cement Sorela przygotowywano na mokro w postaci papki stopniowo twardniejącej.

3.3. Przygotowanie anod przed włożeniem do elektrolitu

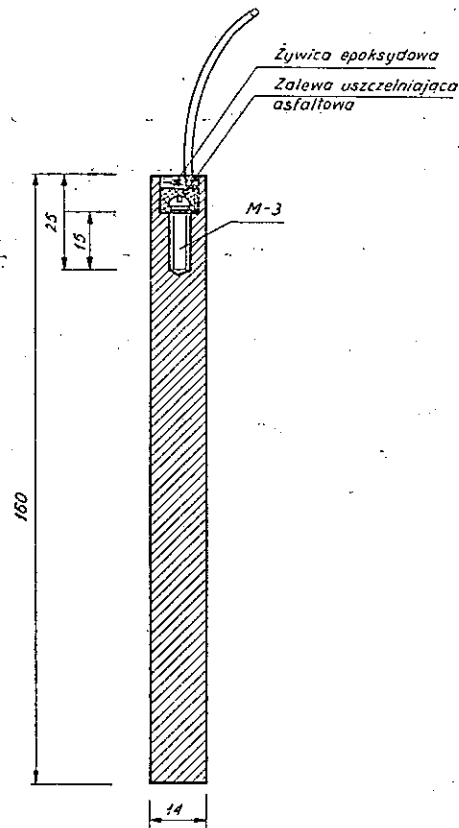
Odlewy protektorowe wykonano w formie prętów o średnicy 14 mm i długości ~160 mm. Bezpośrednio przed umieszczeniem w elektrolicie większość odlewów poddano obróbce cieplnej. Stop nr 1 (Al Mg 15 Zn 10) wygrzewano przez 2 godziny w temperaturze 420° i przesycono w wodzie o temperaturze pokojowej. Podobnie postępowano ze stopem nr 8 (Al Zn 8,5 Mg 1,57), poddając go dodatkowo procesowi starzenia w temp. 175° w ciągu 12 godzin. Stopy nr 2 (Al Zn 4 Sn 0,2), nr 5 (Al Sn 0,2), nr 6 (Al Zn 8 In 0,05) i nr 7 (Al Zn 8 In 0,03) wygrzewano w ciągu 2 godzin w temperaturze 510° i przesycono w wodzie o temperaturze pokojowej, a następnie poddawano procesowi starzenia w temperaturze 165° w ciągu 12 godzin. Dodatkowo jedną próbkę stopu z cyną (stop nr 5) poddano opisanej obróbce cieplnej z wyeliminowaniem procesu starzenia.

Wygrzewanie stopów prowadzono w piecu oporowym, wyposażonym w termoregulator zapewniający dokładność regulacji temperatury $\pm 10^\circ$. Proces starzenia stopów przeprowadzono w suszarce elektrycznej z automatyczną regulacją temperatury, działającą z dokładnością $\pm 0,5^\circ$.

Tak przygotowane odlewy zaopatrzone w przewody wyprowadzające. Miejsce dołączenia przewodu izolowano asfaltem i żywicą epoksydową. Schemat anody podano na rys. 1. Gotową anodę ważono, mierzono i odłuszczano przed umieszczeniem jej w aktywatorze.

Przygotowanie aktywatora wapniowego polegało na odważeniu odpowiednich ilości składników (wapna hydratyzowanego, bentonitu, soli kuchennej i kalomelu), dokładnym ich wymieszaniu i napełnieniu tą mieszaniną płóciennych woreczków o wymiarach 200×60 dostosowanych do wymiarów anod. Aktywator otaczał elektrodę ze wszystkich stron równomierną warstwą o grubości ok. 1,5 cm.

Cement Sorela przygotowywano przez zmieszanie odpowiednich ilości wyprażonego tlenku magnezu i kalomelu z nasyconym roztworem chlorku magnezu. Otrzymaną mieszaninę wlewano do form tekturowych w formie walców o średnicy około 60 mm i długości ok. 200 mm, w których umie-



Rys. 1. Schemat anody

szczano centrycznie elektrodę aluminiową na uprzednio przygotowanym dnie z cementu Sorela. Masa po kilku minutach stawała się twarda. Wtedy zdejmowano formę tekturową i umieszczano tak przygotowaną elektrodę w naczyniu przeznaczonym do badań.

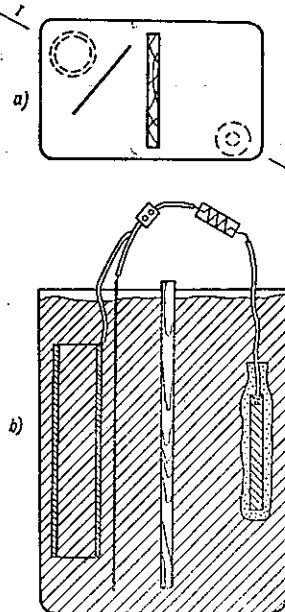
3.4. Opis badań

Badania własności protektorowych stopów przeprowadzono w naczyniach szklanych o wymiarach $210 \times 310 \times 460$ mm wypełnionych ziemią, spełniającą rolę elektrolitu. Gleba piaszczysto-gliniasta użyta do tego celu miała następujące charakterystyki:

| | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| zawartość chlorków | — 0,0062% |
| zawartość azotanów | — 0,0017% |
| utleniałość | — 12,42% |
| kwasowość hydrolityczna | — 72,375 ml 0,1n NaOH/100 g gleby |
| opór właściwy | — 8,4 Ω m. |

Gleba taka na podstawie „Instrukcji badania i oceny agresywności gruntów i wód” [27] określona jest jako agresywna.

Katody wykonano z odcinków rur ołowianych o wymiarach: wysokość 400 mm, średnica wewnętrzna 69 mm, średnica zewnętrzna 76 mm, połączonych z płytkami stalowymi o wymiarach 450×170 mm. Układ taki modelował kabel w opancerzeniu stalowym. Strefę anodową i katodową oddzielono za pomocą deski drewnianej. Sposób rozmieszczenia elektrod podano na rys. 2. Badano równolegle po 2 próbki wykonane z tego sa-



Rys. 2. Sposób rozmieszczenia elektrod w ogniwie a) widok z góry, b) przekrój podłużny

mego stopu w każdym z dwu rodzajów aktywatorów. Ogółem było więc 31 ogniw galwanicznych, w których protektory oznaczono kolejno numerami stopów (rozd. 3.1) i dodatkowo literami w celu odróżnienia prób prowadzonych w różnych aktywatorach i ewentualnie zaznaczenia stopów poddanych różnej obróbce cieplnej. Sposób przygotowania poszczególnych protektorów przedstawia się jak podano w tabl. 3.

Anody (protektory) i katody były połączone ze sobą przewodem izolowanym poprzez oporniki o oporze 5Ω .

Wstępnie przed połączeniem elektrod w ogniwa zmierzono potencjał protektora w środowisku przeznaczonym do badań oraz potencjał katody

Tablica 3

Sposób przygotowania próbek odlewów protektorowych do badań

| Oznaczenie próbek | Symbol stopu | Rodzaj aktywatora, w którym umieszczono odlew | Obróbka cieplna odlewu |
|-------------------|-----------------|---|--|
| 1a, 1b | Al Mg 15 Zn 10 | wapniowy | wygrzewanie przy 420°, przesykanie w wodzie |
| 1c, 1d | „ | cement Sorela | |
| 2a | Al Zn 4 Sn 0,2 | wapniowy | wygrzewanie przy 510°, przesykanie w wodzie, starzenie przy 165° |
| 2b, 2c | „ | cement Sorela | |
| 3a, 3b | Al Zn 5 Fe 1 | wapniowy | bez obróbki cieplnej |
| 3c, 3d | „ | cement Sorela | |
| 4a, 4b | Al Zn 8 Ca 0,2 | wapniowy | bez obróbki cieplnej |
| 4c, 4d | „ | cement Sorela | |
| 5a, 5b | Al Sn 0,2 | wapniowy | wygrzewanie przy 510° przesykanie w wodzie, starzenie przy 165° |
| 5c, 5d | „ | cement Sorela | |
| 5e | „ | wapniowy | wygrzewanie przy 510°, przesykanie w wodzie |
| 6a, 6b | Al Zn 8 In 0,01 | wapniowy | wygrzewanie przy 510°, przesykanie w wodzie |
| 6c, 6d | „ | cement Sorela | „ |
| 7a | Al Zn 8 In 0,03 | cement Sorela | „ |
| 7b, 7c | Al Zn 8 In 0,03 | wapniowy | „ |
| 8a, 8b | Al Zn 8 Mg 1,8 | wapniowy | wygrzewanie przy 420°, przesykanie w wodzie, starzenie przy 175° |
| 8c, 8d | „ | cement Sorela | „ |

ołowiano-stalowej. Po połączeniu elektrod zmierzono w równych odstępach czasu:

- natężenie prądu w obwodzie ochrony,
- opór elektryczny obwodu ochrony,
- potencjał spolaryzowanej anody.

Po zakończeniu badań mierzono powtórnie potencjały elektrod, oznaczono wartość pH najbliższego otoczenia katody i anody oraz analizowano skład produktów korozji protektora.

Badania były prowadzone w ciągu 3.500 do 6.000 godzin. Pomiar potencjałów wykonywano względem siarczano-miedziowej elektrody odniesienia woltomierzem lampowym o oporze wewnętrznym $950.000\Omega/V$. Natężenie prądu w obwodzie ochrony mierzono miliamperomierzem typu B603095 (Elektro-Apparate-Werke, Berlin-Trepton), a opór obwodu — induktorowym miernikiem uziemień typu IMU.

3.5. Wyniki badań

Wartości potencjałów anod i katod w wybranym do badań środowisku glebowym przedstawiono w tabl. 4. Zestawiono tam potencjały początkowe przed połączeniem elektrod w ogniwo, potencjały elektrod spolaryzowanych oraz potencjały elektrod po przerwaniu obwodu polaryzującego.

Charakterystykę najbliższego otoczenia anod po zakończeniu badań podano w tabl. 5, a w tabl. 6 zestawiono wydajności prądowe anod ze stopów aluminium użytych do badań.

Na wykresach (rys. 3÷10) przedstawiono charakterystyki prądowo-napięciowe anod aluminiowych, a na rys. 11÷25 zilustrowano korozję poszczególnych stopów, w zależności od aktywatorów użytych do badań.

3.6. Ocena pracy protektorów i aktywatorów

Stwierdzono, że w warunkach, w jakich przeprowadzono badania wszystkie zastosowane stopy spełniły zadanie ochrony przed korozją próbek imitujących kabel w ziemi. Na żadnej z chronionych katod nie obserwowano wyraźnych śladów korozji, powierzchnia rur ołowianych była gładka, błyszcząca, niekiedy lekko pokryta osadem katodowym przeważnie o wyglądzie zacieków. Blachy stalowe imitujące opancerzenie kabla były również gładkie, niekiedy pokryte większą lub mniejszą ilością mocno przylegającego osadu. Powierzchnie blach wystające ponad ziemię wykazywały znaczną korozję. We wszystkich próbkach, z wyjątkiem stopu nr 3, potencjały układów spolaryzowanych mierzone przed zakończeniem badań, miały wartości bardziej ujemne niż wartość minimalnego potencjału ochrony — 0,85 V (tabl. 4).

Tablica 4

Wartości potencjałów elektrod w poszczególnych ogniwach

| Nr próbki | Czas trwania badań (dni) | Potencjał katody przed polaryzacją (-V) | Potencjał anody przed polaryzacją (-V) | Potencjał anody spolaryzowanej na początku badań (-V) | Potencjał anody spolaryzowanej przed końcem badań (-V) | Potencjał anody po zakończeniu badań (-V) |
|-----------|--------------------------|---|--|---|--|---|
| 1a | 248 | 0,62 | 1,43 | 1,22 | 0,92 | 1,08 |
| 1b | „ | 0,60 | 1,36 | 1,22 | 0,94 | 1,08 |
| 1c | „ | 0,68 | 1,15 | 1,05 | 0,94 | 1,08 |
| 1d | „ | 0,68 | 1,15 | 1,02 | 0,90 | 1,08 |
| 2a | 146 | 0,62 | 1,42 | 1,15 | 0,93 | 1,02 |
| 2b | „ | 0,65 | 1,30 | 1,36 | 1,04 | 1,07 |
| 2c | „ | 0,67 | 1,15 | 1,40 | 1,05 | 1,07 |
| 3a | 248 | 0,75 | 1,15 | 0,98 | 0,85 | 0,97 |
| 3b | „ | 0,75 | 1,13 | 0,97 | 0,87 | 0,97 |
| 3c | „ | 0,70 | 1,00 | 0,94 | 0,85 | 0,95 |
| 3d | „ | 0,68 | 1,07 | 0,94 | 0,85 | 0,95 |
| 4a | 248 | 0,65 | 1,55 | 1,24 | 0,95 | 1,10 |
| 4b | „ | 0,60 | 1,55 | 1,22 | 0,92 | 1,10 |
| 4c | „ | 0,70 | 1,26 | 1,20 | 1,02 | 1,15 |
| 4d | „ | 0,70 | 1,25 | 1,25 | 1,03 | 1,12 |
| 5a | 248 | 0,73 | 1,85 | 1,75 | 1,05 | 1,25 |
| 5b | „ | 0,63 | 1,70 | 1,59 | 0,90 | 1,14 |
| 5c | 212 | 0,64 | 1,69 | 1,60 | 0,86 | 1,17 |
| 5d | 248 | 0,68 | 1,46 | 1,27 | 0,96 | 1,18 |
| 5e | „ | 0,68 | 1,58 | 1,25 | 0,95 | 1,20 |
| 6a | 248 | 0,71 | 1,55 | 1,23 | 1,03 | 1,07 |
| 6b | „ | 0,72 | 1,55 | 1,15 | 1,00 | 1,07 |
| 6c | „ | 0,68 | 1,20 | 1,13 | 1,05 | 1,40 |
| 6d | „ | 0,66 | 1,25 | 1,13 | 1,08 | 1,22 |
| 7a | 146 | 0,65 | 1,31 | 1,40 | 1,08 | 1,15 |
| 7b | „ | 0,70 | 1,51 | 1,46 | 1,05 | 1,05 |
| 7c | „ | 0,58 | 1,42 | 1,25 | 1,07 | 1,07 |
| 8a | 248 | 0,58 | 1,50 | 1,16 | 0,92 | 1,02 |
| 8b | „ | 0,60 | 1,45 | 1,19 | 1,02 | 1,04 |
| 8c | „ | 0,70 | 1,20 | 1,15 | 1,02 | 1,10 |
| 8d | „ | 0,66 | 1,25 | 1,15 | 1,04 | 1,07 |

Tablica 5

Wartości pH najbliższego otoczenia elektrod po zakończeniu badań oraz skład produktów korozji protektora

| Nr próbki | Wartość pH | | | Skład produktów korozji protektora % | | |
|-----------|------------|--------------|---------------|--------------------------------------|--------------|------|
| | aktywatora | gruntu | | chlorki | wodorotlenki | inne |
| | | przy anodzie | przy katodzie | | | |
| 1a | 11,1 | 6,8 | 7,6 | 10,21 | 87,08 | 2,71 |
| 1b | 11,5 | 7,1 | 7,1 | 6,22 | 92,15 | 1,63 |
| 1c | 9,1 | 6,4 | 6,7 | 5,08 | 94,42 | 0,50 |
| 1d | 9,4 | 6,8 | 6,8 | 6,39 | 92,45 | 1,16 |
| 2a | 11,1 | 7,0 | 6,8 | 6,64 | 91,66 | 1,70 |
| 2b | 9,0 | 6,0 | 6,2 | 4,98 | 87,05 | 7,97 |
| 2c | 8,9 | 6,4 | 6,5 | 5,76 | 93,35 | 0,98 |
| 3a | 9,1 | 6,7 | 7,0 | 6,31 | 91,75 | 1,94 |
| 3b | 7,8 | 5,3 | 6,8 | 6,41 | 91,90 | 1,69 |
| 3c | 8,1 | 6,5 | 6,6 | 6,40 | 91,83 | 1,77 |
| 3d | 9,0 | 6,5 | 6,7 | 6,01 | 92,05 | 1,94 |
| 4a | 10,5 | 6,7 | 7,0 | 8,26 | 87,49 | 4,25 |
| 4b | 10,6 | 6,1 | 6,7 | 8,86 | 87,02 | 4,12 |
| 4c | 8,4 | 4,6 | 6,8 | 3,25 | 94,60 | 2,15 |
| 4d | 8,5 | 6,3 | 6,8 | 3,95 | 94,15 | 1,90 |
| 5a | 10,7 | 6,4 | 6,6 | 6,63 | 91,65 | 1,72 |
| 5b | 11,1 | 6,6 | 7,4 | 3,64 | 94,02 | 2,34 |
| 5c | 7,6 | 6,0 | 6,9 | 2,74 | 96,70 | 0,56 |
| 5d | 8,0 | 6,8 | 6,9 | 2,41 | 95,91 | 1,68 |
| 5e | 10,9 | — | 7,4 | 1,70 | 95,91 | 1,68 |
| 6a | 11,1 | 7,3 | 7,4 | 3,82 | 94,38 | 1,80 |
| 6b | 11,4 | 7,3 | 7,3 | 4,21 | 95,79 | 0,46 |
| 6c | 9,4 | 6,7 | 7,1 | 3,24 | 94,25 | 0,51 |
| 6d | 8,6 | 6,4 | 7,0 | 4,17 | 92,27 | 3,56 |
| 7a | 8,8 | 6,5 | 6,8 | 4,83 | 92,51 | 2,66 |
| 7b | 11,0 | 6,5 | 6,9 | 3,03 | 95,96 | 1,01 |
| 7c | 9,6 | 7,1 | 7,1 | — | — | — |
| 8a | 11,0 | 7,1 | 7,2 | 4,36 | 95,00 | 0,64 |
| 8b | 11,1 | — | 7,3 | 5,11 | 92,87 | 2,02 |
| 8c | 9,3 | 5,7 | 6,5 | 3,80 | 94,66 | 1,54 |
| 8d | 7,1 | 6,7 | 7,0 | 5,02 | 91,94 | 3,04 |

Tablica 6

Praktyczna wydajność prądowa anod ze stopów aluminium

| Nr próbki | Wydajność prądowa (A godz kG) | Współczynnik sprawności % | Rodzaj aktywatora przy anodzie |
|-----------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 1a | 1878 | 63 | wapniowy |
| 1b | 1814 | 61 | „ |
| 1c | 2268 | 76 | cement Sorela |
| 1d | 2262 | 76 | „ „ |
| 2a | 1605 | 54 | wapniowy |
| 2b | 1128 | 38 | cement Sorela |
| 2c | 1202 | 40 | „ „ |
| 3a | 910 | 31 | wapniowy |
| 3b | 893 | 30 | „ |
| 3c | 927 | 31 | cement Sorela |
| 3d | 931 | 31 | „ „ |
| 4a | 1791 | 60 | wapniowy |
| 4b | 2132 | 71 | „ |
| 4c | 1950 | 66 | cement Sorela |
| 4d | 1812 | 60 | „ „ |
| 5a | 1547 | 52 | wapniowy |
| 5b | 1466 | 49 | „ |
| 5c | 1294 | 43 | cement Sorela |
| 5d | 1136 | 38 | „ „ |
| 5e | 1664 | 56 | wapniowy |
| 6a | 997 | 33 | wapniowy |
| 6b | 872 | 29 | „ |
| 6c | 895 | 30 | cement Sorela |
| 6d | 781 | 26 | „ „ |
| 7a | 1019 | 34 | cement Sorela |
| 7b | 634 | 21 | wapniowy |
| 7c | 791 | 27 | „ |
| 7d | | | |
| 8a | 1870 | 63 | wapniowy |
| 8b | 2152 | 72 | „ |
| 8c | 1693 | 57 | cement Sorela |
| 8d | 1581 | 53 | „ „ |

Wartość potencjału układów spolaryzowanych w większym stopniu zależała od składu stopów użytych do badań, niż od rodzaju aktywatora (rys. 3÷10). Najbardziej ujemne wartości obserwowano w stopie nr 5 o składzie Al Sn 0,2 (rys. 7), pracującym w aktywatorze wapniowym. Jednak wysoki ujemny potencjał ($-1,7$ V) mierzony na początku badań obniżał się w czasie pracy anody i osiągał pod koniec badań wartość około $-0,95$ V. Podobne zmiany potencjału polaryzacji występowały w mniejszym lub większym stopniu we wszystkich badanych stopach. Najbardziej stabilne w czasie były potencjały stopu nr 3 o składzie Al Zn 5 Fe 1 (rys. 5). Stop ten jednak w stosunku do pozostałych polaryzował katodę najslabiej. Dużą stabilność wartości potencjału w czasie i stosunkowo wysoki ujemny potencjał po 248 dniach badań wykazywały następujące stopy:

| | | | |
|----|----------------------------|----------|--------------------------------|
| 6c | o składzie Al Zn 8 In 0,01 | — 1,05 V | względem Cu/Cu SO ₄ |
| 6d | „ „ | — 1,08 V | „ „ |
| 8c | „ Al Zn 8 Mg 1,8 | — 1,02 V | „ „ |
| 8d | „ „ | — 1,04 V | „ „ |
| 4c | „ Al Zn 8 Ca 0,3 | — 1,02 V | „ „ |
| 4d | „ „ | — 1,03 V | „ „ |
| 1c | „ Al Mg 15 Zn 10 | — 0,94 V | „ „ |
| 1d | „ „ | — 0,90 V | „ „ |

Do wymienionych tu stopów stosowany był jako aktywator cement Sorela (tabl. 3).

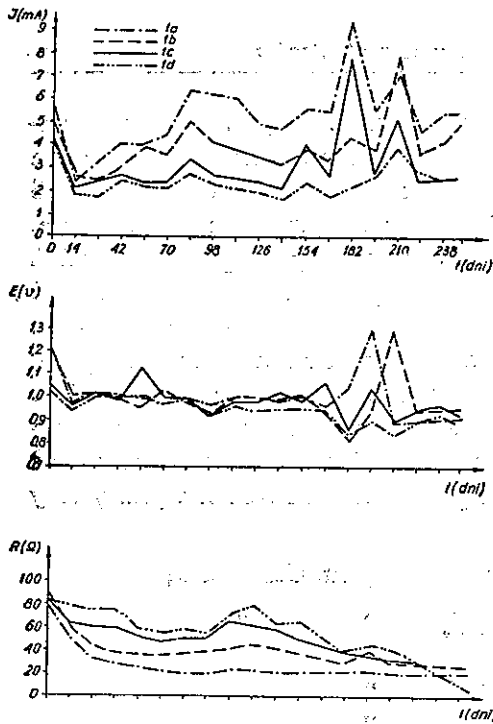
Analizując próbki (rys. 11÷25) można zauważyć wyraźną zależność stopnia skorodowania zarówno od rodzaju stopu, jak też od rodzaju aktywatora, w którym stop „pracował”. Na ogół wszystkie stopy korodowały w większym stopniu w aktywatorach wapniowych. Korozja miała w tych przypadkach charakter selektywny, jak to widać na próbkach 2g, 4c, 5a, 5b, 5c, 6a, 6b, 7c, 8a, 8b.

Przy zastosowaniu jako aktywatora cementu Sorela z dodatkiem kalomelu powierzchnia stopu niszczyła się bardziej równomiernie, ubytek wagi materiału anody po zakończeniu badań był mniejszy.

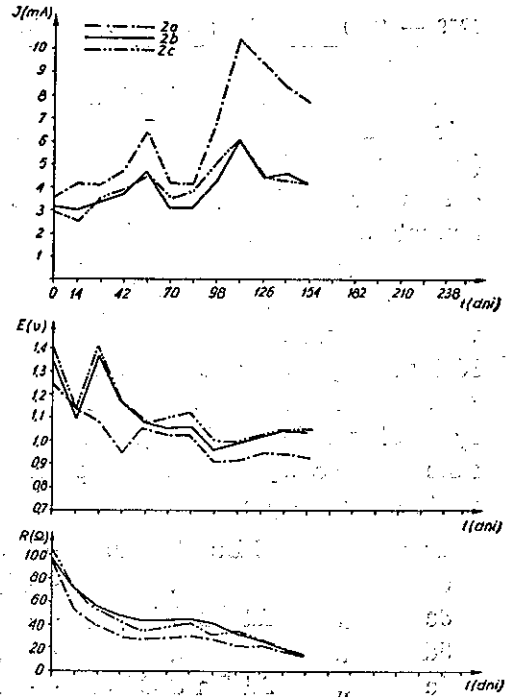
Na specjalną uwagę zasługuje tu stop nr 3 (Al Zn 5 Fe 1). Korozja była tu równomierna zarówno w aktywatorze wapniowym, jak też w cementie Sorela. Powierzchnia stopu po zakończeniu badań była spulchniona i odwarstwiała się od twardego rdzenia.

Fotografie skorodowanych anod wskazują że w przypadku próbek 5a, 5b, 5e, i 6a, 6b, 7a, 7b, 7c, mimo stosowanej obróbki cieplnej, obserwuje się bardzo intensywną, selektywną korozję.

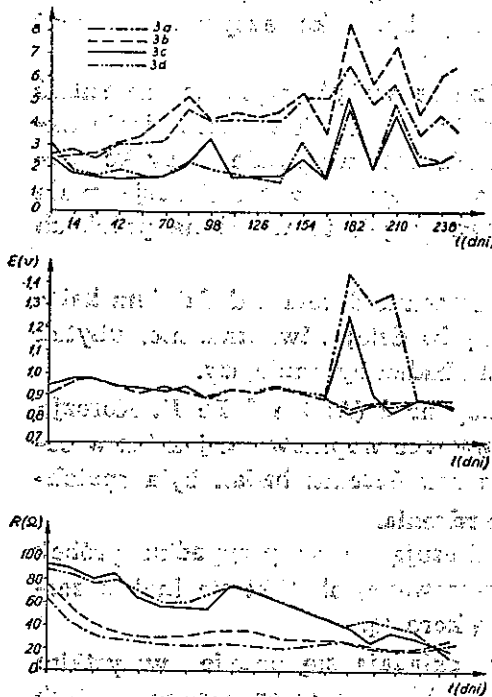
Produkty korozji badanych stopów składają się przede wszystkim z chlorków i wodorotlenku, przy czym chlorki występujące w ilościach



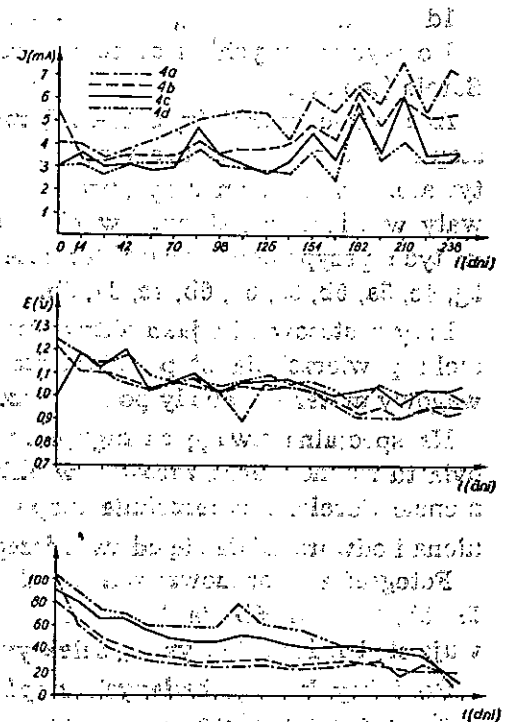
Rys. 3. Charakterystyki prądowo-napięciowe stopu nr 1 (Al Mg 15 Zn 10)



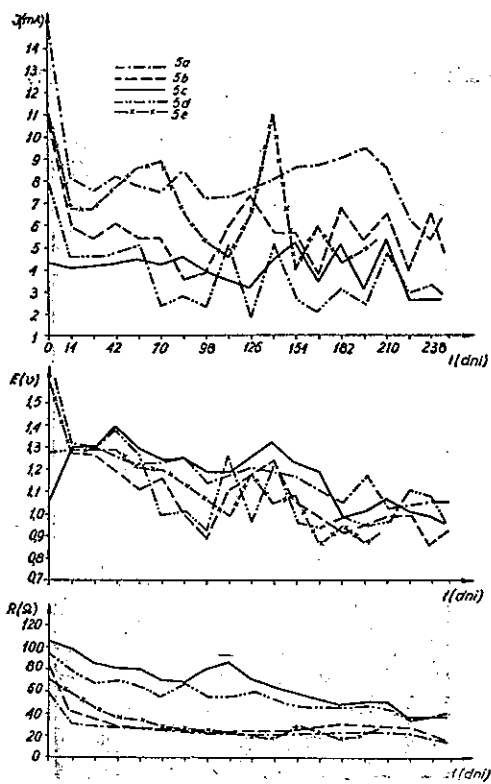
Rys. 4. Charakterystyki prądowo-napięciowe stopu nr 2 (Al Zn 4 Sn, 0,2)



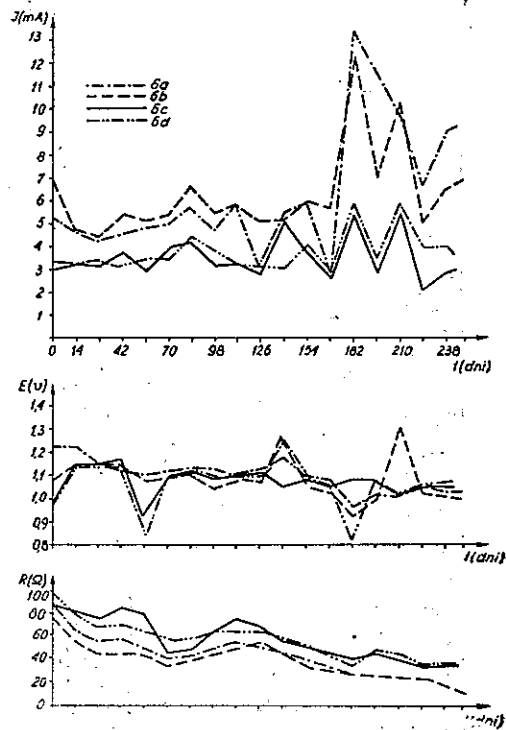
Rys. 5. Charakterystyki prądowo-napięciowe stopu nr 3 (Al Zn 5 Fe 1)



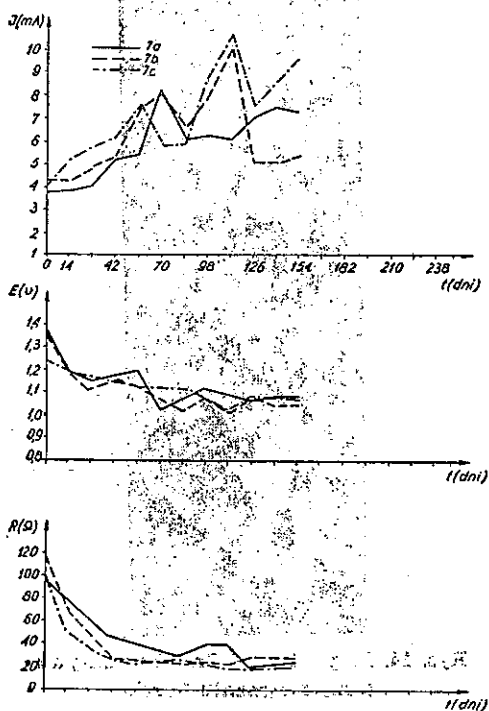
Rys. 6. Charakterystyki prądowo-napięciowe stopu nr 4 (Al Zn 8 Ca 0,3)



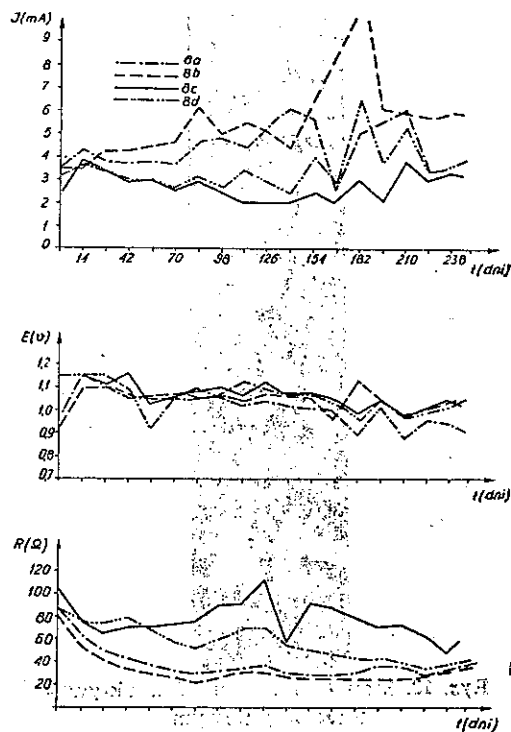
Rys. 7. Charakterystyki prądowo-napięciowe stopu nr 5 (Al Sn 0,2)



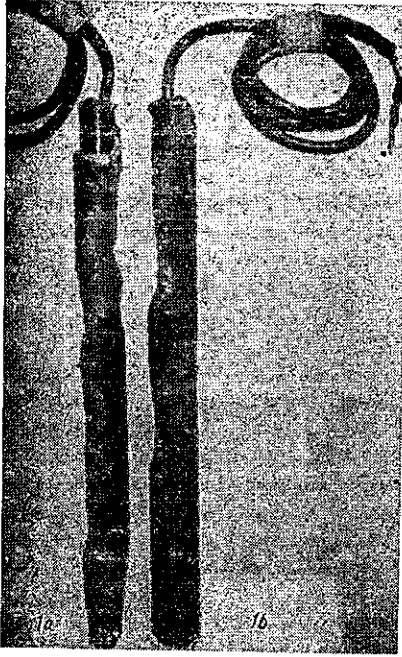
Rys. 8. Charakterystyki prądowo-napięciowe stopu nr 2 (Al Zn 4 Sn, 0,2)



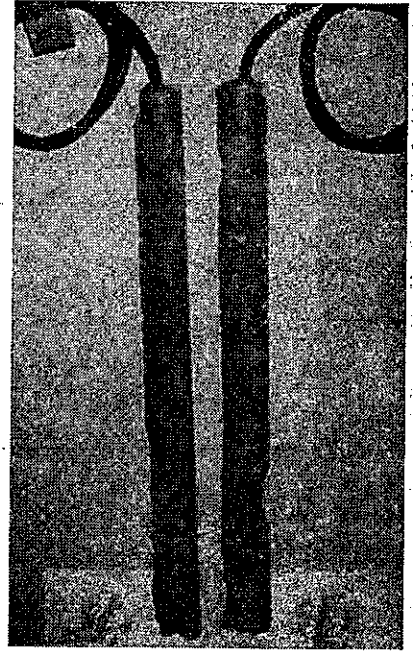
Rys. 9. Charakterystyki prądowo-napięciowe stopu nr 7 (Al Zn 8 In 0,03)



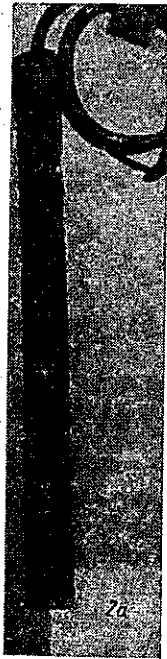
Rys. 10. Charakterystyki prądowo-napięciowe stopu nr 8 (Al Zn 8,5 Mg 1,6)



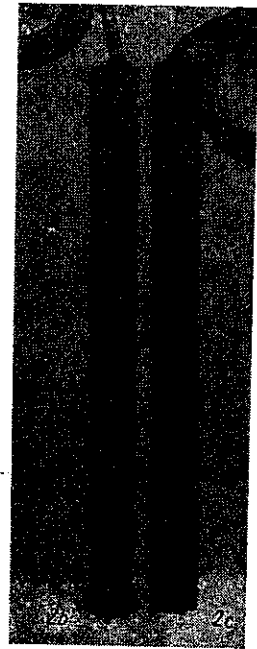
Rys. 11. Stop Al Mg 15 Zn 10 w aktywatorze wapniowym



Rys. 12. Stop Al Mg 15 Zn 10 w aktywatorze z cementu Sorela



Rys. 13. Stop Al Zn 4 Sn 0,2 w aktywatorze wapniowym



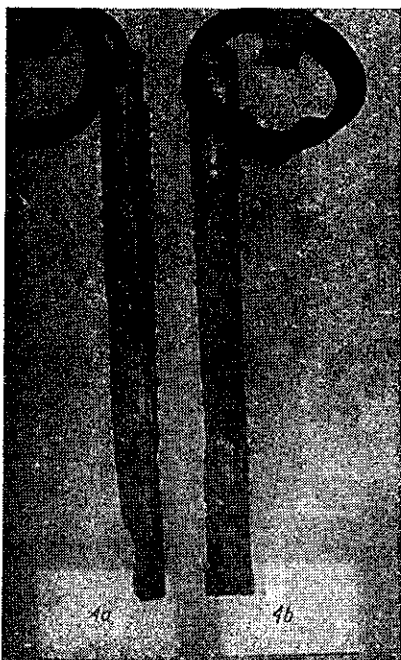
Rys. 14. Stop Al Zn 4 Sn 0,2 w aktywatorze z cementu Sorela



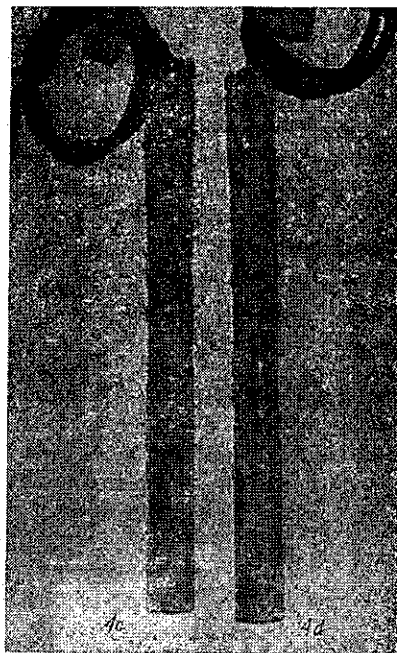
Rys. 15. Stop Al Zn 5 Fe 1 w aktywatorze wapniowym



Rys. 16. Stop Al Zn 5 Fe 1 w aktywatorze z cementu Sorela



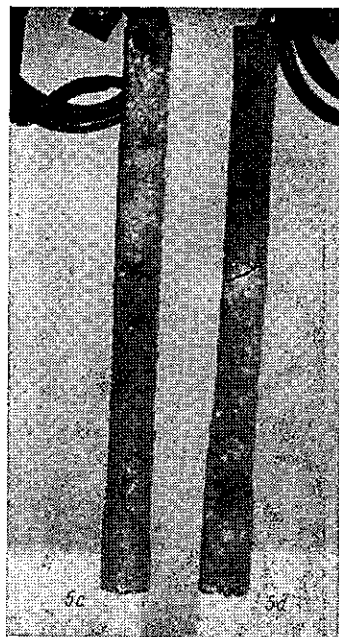
Rys. 17. Stop Al Zn 8 Ca 0,3 w aktywatorze wapniowym



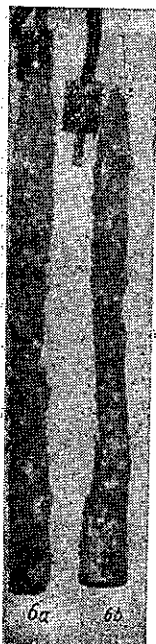
Rys. 18. Stop Al Zn 8 Ca 0,3 w aktywatorze z cementu Sorela



Rys. 19. Stop Al Sn 0,2 w aktywatorze wapniowym



Rys. 20. Stop Al Sn 0,2 w aktywatorze z cementu Sorela



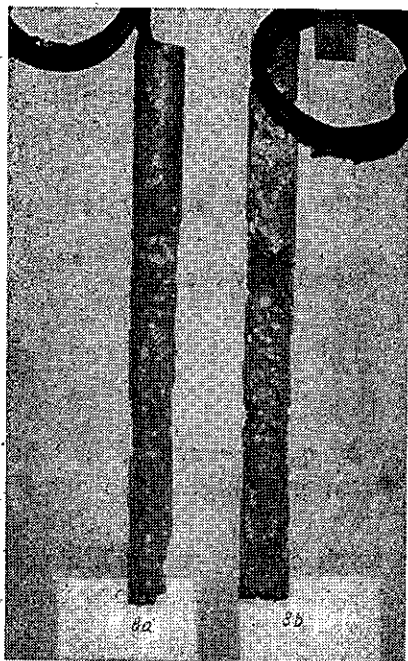
Rys. 21. Stop Al Zn 8 In 0,01 w aktywatorze wapniowym



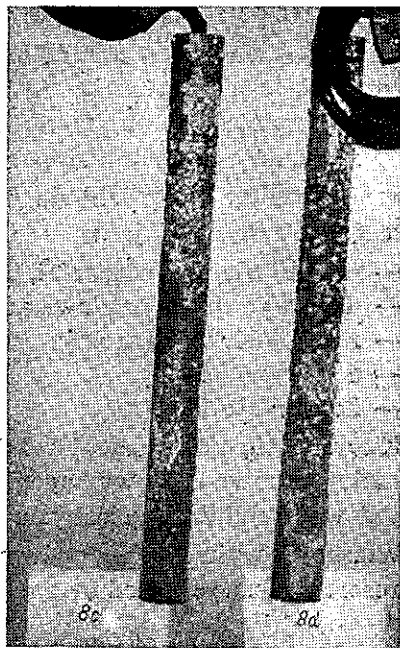
Rys. 22. Stop Al Zn 8 In 0,01 w aktywatorze z cementu Sorela



Rys. 23. Stop Al Zn 8 In 0,03. Próbką 7a w aktywatorze z cementu Sorela, 7b, 7c w aktywatorze wapniowym



Rys. 24. Stop Al Zn 8 Mg 1,8 w aktywatorze wapniowym



Rys. 25. Al Zn 8 Mg 1,8 w aktywatorze z cementu Sorela

3—8%, natomiast wodorotlenki 87—97% (patrz tabl. 5). Nie zaobserwowano wyraźnego wpływu aktywatora na skład produktów korozji.

Wpływ aktywatora uwydatnia się w niewielkim stopniu przy charakterystykach prądowo-napięciowych poszczególnych stopów, a jeśli jest widoczny, to najczęściej wyraża się mniejszym natężeniem prądu w obwodzie ochrony w tych przypadkach, gdy próbka otoczona jest cementem Sorela (rys. 3 — 10). Dodatek kalomelu w cemencie Sorela wydaje się nie mieć wpływu na polepszenie własności elektrochemicznych protektora.

Współczynnik sprawności anod ze stopów aluminium zależy przede wszystkim od rodzaju stopu (tabl. 6). Najniższe współczynniki sprawności wykazały stopy z grupy 6, 7 i 3, niezależnie od użytego aktywatora.

Podsumowując wyniki badań należy stwierdzić:

- skład stopu protektorowego wpływa w decydujący sposób na charakterystyki elektrochemiczne anody, mianowicie na jej potencjał elektrochemiczny, stabilność tego potencjału w czasie eksploatacji oraz wydajność prądową anody. Mniejsze znaczenie ma w tym przypadku rodzaj aktywatora użytego jako najbliższe otoczenie anody;
- skład aktywatora wpływa bardzo wyraźnie na charakter korozji anody w czasie jej eksploatacji. W silnie alkalicznym aktywatorze wap-

niowym obserwuje się selektywną korozję stopu, przy czym duże miejscowe ubytki stopu doprowadzają niekiedy do całkowitego przerwania ciągłości metalicznej. Bardzo aktywny proces korozyjny mający miejsce w aktywatorze wapniowym w niewielkim tylko stopniu zależy od składu stopu.

Przy wyborze materiału do badań eksploatacyjnych należy brać pod uwagę takie czynniki, jak:

- wysoki ujemny potencjał, dostatecznie stabilny w czasie;
- dużą wydajność prądową anody;
- równomierność korozji;
- czas życia anody;
- koszt materiału.

Kierując się powyższymi założeniami, stopy o numerach 1, 4, 8 najbardziej odpowiadają wymaganiom stawianym protektorom do ochrony katodowej kabli dalekosiężnych.

Własności wybranych stopów protektorowych oraz używanych obecnie w resorcie łączności anod magnezowych i cynkowych zestawiono w tabl. 7.

Tablica 7

Skład i własności stopów protektorowych

| Skład stopu | Zanieczyszczenia w % ogółem | Współczynnik sprawności % | Potencjał anody wzgl. Cu/CuSO ₄ (V) | Zużycie anody kG/A rok | Skład aktywatora |
|------------------|-----------------------------|---------------------------|--|------------------------|--|
| Al Mg 15 Zn 10 | 0,056 | 76 | -1,1*) | 3,9 | cement Sorela (MgO+MgCl ₂) |
| Al Zn 8 Ca 0,3 | 0,015 | 60 | -1,1*) | 4,7 | cement Sorela |
| Al Zn 8 Mg 1,8 | 0,012 | 55 | -1,1*) | 5,4 | cement Sorela |
| Typ Ł-AR | 0,06 | 50 | -1,6 | 5,7 | gips |
| Mg Al 6 Zn 3 | | | | | bentonit 1:1 |
| Typ Ł-AR | | | | | gips, bentonit |
| Zn Al 0,2 Cd 0,1 | 0,01 | 80 | -1,1 | 13,3 | siarczan sodu 1:2:1 |

*) Cyfry oznaczają wartość potencjału anody po ustabilizowaniu. Na początku potencjały anody aluminiowej są bardziej ujemne.

Aluminium ma najniższy równoważnik elektrotechniczny, to znaczy najniższe zużycie metalu na jednostkę uzyskanego prądu. Z rozważań teoretycznych wynika, że na jedną część wagową zużywającego się w trakcie danej pracy elektrochemicznej aluminium zużywa się aż 3 części wa-

gowe cynku albo 1,3 części wagowe magnezu. Przeprowadzona w pracy IŁ [1] wstępna analiza kosztów materiału zużytego do wykonania tej samej pracy elektrochemicznej wskazuje, że koszt anod aluminiowych i cynkowych powinien kształtować się podobnie:

1 kg Al — 40 zł

3 kg Zn — 34 zł

1,3 kg Mg — 64 zł

Z powyższego wynika, że cynk jest nawet nieco tańszy od pozostałych metali, ale jak wskazuje praktyka, anody cynkowe muszą być wykonywane w postaci długich, cienkich prętów. Czas życia takich prętów jest niewielki i zachodzi konieczność częstej ich wymiany, co podraża całkowity koszt instalacji ochrony katodowej. W tym świetle anody aluminiowe są o wiele tańsze od cynkowych. Czas życia anod (przy założeniu 50% zużycia 10 kg masy anody) kształtuje się bowiem następująco:

anody ze stopów aluminiowych 65 lat

anody cynkowe 12 lat

anody magnezowe 15 lat

Do obliczeń przyjęto najniższą spotykaną w warunkach terenowych wartość natężenia prądu w obwodzie ochrony z anodami aluminiowymi, tzn. 17 mA [1]. W warunkach laboratoryjnych średnia dla trzech wytypowanych stopów aluminium wynosiła 3 mA.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

1. Dotychczasowe badania wykazały, że stopy aluminium mogą być w połączeniu z odpowiednim aktywatorem, ekonomiczne i efektywne w zastosowaniu na anody reakcyjne do ochrony katodowej metalowych urządzeń podziemnych.
2. Wydaje się celowe przygotowanie i zbadanie w warunkach eksploatacyjnych stopów o następującym składzie:
stop Al Mg 15 Zn 10
„ Al Zn 8 Ca 0,3
„ Al Zn 8 Mg 1,8
3. Jako masa aktywująca do wymienionych stopów najlepiej nadaje się cement Sorela.
4. Proponowane stopy, w celu określenia zakresu ich przydatności, powinny być przebadane przy ochronie katodowej ołowianych powłok kabli ułożonych w gruntach o różnym pH.

WYKAZ LITERATURY

1. *Skiba-Rogalska O., Pakoca K.*: Przeprowadzenie badań ochrony przed korozją ołowianych powłok kablowych za pomocą anod reakcyjnych. Cz. II. Anody aluminiowe i cynkowe. Praca IE nr D-500/84/965, 1963 r.
2. *Skiba-Rogalska O., Bralewski J.*: Przeprowadzenie badań ochrony przed korozją ołowianych powłok kablowych za pomocą anod reakcyjnych. Cz. III. Ocena pracy anod reakcyjnych. Praca IE nr 348/1005, 1964 r.
3. *Koszelew G. G.*: Protektornyje splawy i ich elektrochimizeskije charakteristiki. Ref. Żurn. Chimija 1959 poz. 46181; Trudy Wsiesojuznoj Sowieszczanja po borbie z morskaj korrozzej metałłow Baku Aznefteizdat 1958, s. 406—424.
4. *Hoxeng R. B., Verink E. D., Brown R. M.*: Galvanic Aluminium Anodes for Cathodic Protection. Corrosion 3, 1947 nr 6, s. 266—274.
5. *Trifel M. S., Mechmandarow S. A.*: Primienjenje aluminiewych protektorow dla zaszczyty podziemnych truboprowodow ot korrozji w sołonzakowych poczwach. Zaszczita truboprowodow ot korrozji. Gosinti. Wypusk I, Moskwa 1961, s. 48—59.
6. *Hine R. A., Wei M. W.*: Aluminium Anodes in sea water? Material Protection 3, 1964 nr 11, s. 49—55.
7. *Trifel M. S., Seifer A. L.*: Elektrochimizeskaja charakteristika aluminjewych protiektornych splawow. Izwestia AN. Azerbejdż. SSR. 1956 nr 5, s. 43—48.
8. *Gerasimow W. W., Rosenfeld I. L.*: Isledowanje efektiwnosti protiektorow iz splawow aluminja s cinkom. Izwestia AN SSRR. Otdiel Chimizeskich Nauk 1956 nr 9, s. 1050—1052.
9. Zaszczita podziemnych mietalliczeskich sooruzenii ot korrozji. Sprawocznik pod red. *N. J. Rjabcewa*. Izdatielstwo Ministerstwa Komunalnogo Chożiajstwa RSFSR. Moskwa 1959.
10. *Seifer A. L.*: Splawy — Aluminja — kak matieriał dla izgotowlenja protiektorow. Ref. Żurn. Chimija 1959 poz. 46179. Trudy Wsiesojuznoj Sowieszczanja po borbie s morskaj korrozzej mietałłow. Baku Aznefteizdat 1958, s. 446—461.
11. *Michajłow M. I., Akulenok W. N., Marczenko A. F.*: Ochrona międzymiastowych kabli telekomunikacyjnych przed korozją. Wyd. Komunikacyjne Warszawa 1956.
12. *Zurakowskij O. F.*: Protiektory splawi, szczo mistiat kalcja. Dopowidi AN USSR 1957, s. 569—573.
13. *Frančewicz J. M., Zurakowskij O. F., Pieczentkowskij E. L.*: Aliumokalcjowi i cinkokalcjowi protiektori. Dopowidi AN USSR 1957, s. 575—578.
14. *Sinitj T., Motochisa O., Szejti T.*: Katodnaja zaszczita anodami iz aluminiewych splawow. Ref. Żurn. Chimija 1965 6K120. Corros. Engng. 13, 1964 nr 5, s. 208—214.
15. *Takesi S., Kadzuo T.*: Anody dla katodnoj zaszczity iz splawa Al-Zn-In. Ref. Żurn. Chimija 1963 21K89. Boseku Gidziucu 11, 1962 nr. 11, s. 486—492.
16. *Raclot B.*: Les anodes reactives pour la protection cathodique les progres recents dans leur elaboration, Association Technique Maritime et Aeronautique. Session 1962, Paris.
17. *Schrieber C. F., Reding I. T.*: Field Testing a now aluminium anode Al-Hg-Zn galvanic anode for sea water applications. Materials Protections 6, 1967 nr 5, s. 33—36.
18. *Rutemiller H. C.*: Pat. franc 1322566 z 10. 5. 1962.

19. *Rutemiller H. C.*: Pat. franc. 1324024 z 4. 3. 1963.
20. *Rutemiller H. C.*: Pat. franc. 1324081 z 4. 3. 1963.
21. *Staley J.*: Pat. U.S.A. 2913384 z 17. 11. 1959.
22. *Hin R. A.*: Pat. ang. 944338 z 11. 12. 1963.
23. Cathodic protection. *Metal Ind.* 100, 1962 nr 17, s. 335.
24. *Orman M.*: Lekkie metale i ich stopy. T. I. Sp-nia Wydawnicza Pracowników Technicznych Szkół Akademickich w Krakowie, 1947.
25. *Pritula*: Zaszczita zawodskich podziemnych truboprowodow ot korozji. *Metallurgizdat* 1961, s. 316—319.
26. *Kapali V., Subramanyan N.*: Aluminium as sacrificial anode for cathodic protection. *Anti-corrosion* 9, 1966.
27. *Skiba-Rogalska O., Moniuszko J.*: Instrukcja badania i oceny agresywności gruntów i wód. *Praca IL*. 1965.

K. Рыневич

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СПЛАВОВ И АКТИВАТОРОВ
ДЛЯ ПРОТЕКТОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЕ
ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Резюме

Настоящая работа занимается катодной защитой подземных кабелей связи с помощью реактивных анодов, изготовленных из сплавов новых составов алюминия. Рассмотрен тоже вопрос подбора активирующих веществ для такого рода протекторов. На основании результатов лабораторных исследований приведены сплавы и активаторы, наиболее подходящие для испытаний в эксплуатационных условиях при катодной защите свинцовых кабельных оболочек.

K. Ryniewicz

RESEARCH ON PERFECTING THE ALLOYS AND ACTIVATORS USED FOR
CATHODIC PROTECTION OF UNDERGROUND LINE INSTALLATIONS (CABLES)

Summary

One deals with the question of cathodic protection against corrosion of telecommunication underground cables by applying the reactive anodes made of some new compositions of aluminium based alloys.

One deals also with the problem of selecting the activator materials for the protectors of such kind.

On the basis of effects of laboratory research some alloys and activators adequate for exploitation tests by the cathodic protection of leaden cable sheaths, have been chosen.

K. Ryniewicz

RECHERCHES SUR L'AMÉLIORATION DES ALLIAGES ET DES ACTIVATEURS
UTILISÉS POUR LA PROTECTION CATHODIQUE DES INSTALLATIONS
SOUTERRAINES DE LIGNES (CÂBLES)

Résumé

L'article concerne la question de protection des câbles téléphoniques souterrains par l'application des anodes réactives de nouveaux alliages d'aluminium.

On traite aussi le problème d'appropriation des matières activantes, destinées à ce genre de protecteurs.

Conformément aux résultats des recherches de laboratoire on a sélectionné les alliages et les activateurs convenables aux essais d'exploitation de la protection cathodique des enveloppes des câbles sous plomb.

K. Ryniewicz

FORSCHUNGEN ÜBER VERBESSERUNG DER LEGIERUNGEN UND AKTIVATOREN FÜR DIE BEIM KATHODENSCHUTZ DER LEITUNGSEINRICHTUNGEN ANGEWENDETEN PROTEKTOREN

Zusammenfassung

Die Arbeit betrifft das Problem des Kathodenschutzes der Fernmeldeerdkabel bei Anwendung des aus neuen Kompositionen der Aluminiumlegierungen ausgeführten Reaktionsanoden.

Es wird auch die Frage der Auswahl der Aktivierungsmassen für derartige Protektoren besprochen.

Auf Grund der Laborforschungsergebnissen hat man Legierungen und Aktivatoren ausgewählt, welche sich für die Betriebsprüfung des Kathodenschutzes der Kabelbleibeläge eignen.