

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW  
MERA-PIAP  
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

074 Ośrodek Badań Niezawodności i Jakości  
Centralna Stacja Prób

A

Główny wykonawca

Wykonawcy mgr inż. K.Majdan

Konsultant

Nr zlecenia

107/11.03.03

Automatyzacja badań efektywności  
wymiany informacji i współpracy  
urządzeń w ZMSAK.

Etap 1.2

Modele stochastyczne urządzeń mikro-  
procesorowych powiązanych magistralą  
PROWAY.

Zleceniodawca problem węzłowy 06.1.

Pracę rozpoczęto dnia 1.09.80

Kierownik CSP

mgr inż. E.Trepczyński

Z-ca Dyrektora  
d/s Automatyki

doc.dr inż. A.Kaczmarczyk

zakończono dnia 31.01.81

Kierownik OBN

dr inż. St.Budzyński

Praca zawiera:

stron 18

rysunków 9

fotografii

tabel

tablic 3

załączników

Rozdzielnik - ilość egz:

Egz. 1 BOINTE

Egz. 2 OAK

Egz. 3 OAE

Egz. 4 OBN

Egz. 5

Egz. 6

Nr rejestr. 4551

A

## Analiza deskrytorowa

SYSTEMY AUTOMATYKI KOMPLEKSOWEJ + SYSTEM MIR-PROWAY + BADANIA

## Analiza dokumentacyjna

Sprawozdanie zawiera:

- zasady współpracy stacji systemu MIR-PROWAY
- przegląd metod modelowania statystycznego kanałów transmisji w systemie MIR-PROWAY.

## Tytuły poprzednich sprawozdań

1. Automatyzacja badań efektywności wymiany informacji i współpracy urządzeń w ZMSAK.

Etap 1.1. Wstępna analiza systemu PROWAY z uwzględnieniem wymagań na jakość kanałów transmisji.

- nr rej. 2929.

681.5 Technika sterowania automatycznego

## S P I S   T R E Ś C I

1. WPROWADZENIE
2. MODEL FIZYCZNY /OPISOWY/ URZĄDZEŃ TRANSMISYJNYCH MIR-PROWAY
  - 2.1. Charakterystyka linii transmisji
  - 2.2. Interfejs komunikacyjny
  - 2.3. Zasady wykorzystania obwodów stykowych JK
3. MODEL FUNKCJONALNY WSPÓŁPRACY STACJI MIR-PROWAY
  - 3.1. Reguła sterowania dostępem do WMD
  - 3.2. Procedura centralnego obiegu stacji
  - 3.3. Procedura zdecentralizowanego obiegu stacji
4. MODELE STOCHASTYCZNE KANAŁU TRANSMISJI NA WMD
  - 4.1. Podstawowe definicje i określenia
  - 4.2. Model KBS
  - 4.3. Model Gilberta
  - 4.4. Model Purtowa
5. LITERATURA.

## 1. WPROWADZENIE

W niniejszym opracowaniu sformułowano zasady współpracy stacji MIR PROWAY za pośrednictwem wielodostępnej szeregowej magistrali danych /punkty 2 i 3/ oraz podano na podstawie literatury wybrane metody matematycznego opisu kanału transmisji /punkt 3/.

Istotnym czynnikiem, charakterystycznym dla zdecentralizowanego sterowania procesem technologicznym jest losowość i zmienność w czasie zjawisk fizycznych wywołanych:

- a/ uwarunkowaną czasowo przez szybkozmienny, dyskretny proces technologiczny pracą zainstalowanych na obiekcie urządzeń automatyki i pomiarów,
- b/ różnorodnym formatem i strukturą wymienianych informacji między stacjami systemu,
- c/ dynamicznymi zmianami funkcji poszczególnych stacji oraz odległości między stacją źródłową a korespondentem,
- d/ oddziaływaniem losowych zakłóceń na przesyłany magistralą sygnał liniowy.

Wszystkie w/w czynniki mają wpływ na poprawną pracę systemu lecz ich precyzyjny opis statystyczny na obecnym etapie rozwoju systemu nie jest możliwy. Można sądzić, że najbardziej istotnym uwarunkowaniem prawidłowego funkcjonowania systemu jest wierność przesyłania informacji przez szeregową magistralę danych. Miarą wierności transmisji jest tzw. wynikowa stopa błędów, która zgodnie z wymaganiami IEC [1] powinna być nie większa od  $3 \cdot 10^{-15}$  przy elementowej stopie błędów kanału mniejszej od  $10^{-6}$  oraz przy maksymalnej prędkości transmisji 100 kb/s.

Dokonanie statystycznej oceny wynikowej wierności transmisji w systemie MIR PROWAY będzie możliwe w wyniku przeprowadzenia badań jakości kanału, tj. po określeniu parametrów modelu empirycznego i przeprowadzenia weryfikacji na zgodność z parametrami określonego modelu matematycznego. Na podstawie modelu matematycznego kanału oraz przy uwzględnieniu zastosowanej metody wykrywania i poprawiania błędów zostanie dokonana ocena parametrów wynikowych. Prace te przewidziane są w dalszych etapach niniejszego tematu.

Przedstawiony w pkt 3 algorytm współpracy stacji należy traktować jako wstępny projekt, który w szczególności może ulec zmianie w miarę pojawiania się dokumentów normalizacyjnych IEC oraz w wyniku prac systemowych prowadzonych w MERA PIAP.

## 2. MODEL FIZYCZNY /OPISOWY/ URZĄDZEŃ TRANSMISYJNYCH MIR-PROWAY

### 2.1. Charakterystyka linii transmisji

Zgodnie z założeniami [1], [7] przyjmuje się transmisję informacji między stacjami systemu po jednej linii utworzonej na torze koncentrycznym W.Cz. Urządzenia stacyjne wymieniają ze sobą informacje na zasadzie podziału czasu, w trybie dwukierunkowym, naprzemiennym - z decyzyjnym sprzężeniem zwrotnym. Przyłączenie stacji do linii realizowane jest przy zastosowaniu wysokoomowych transformatorów liniowych, dopasowanych falowo do linii. Elastyczność konfiguracji sprzętowej systemu jest zapewniona przez zastosowanie metody dołączania i odłączania stacji od linii nie naruszającej łączności pomiędzy pozostałymi stacjami. Maksymalna długość linii transmisyjnej wynosi 2000 m. Dopasowanie falowe w każdym punkcie dołączenia stacji jest uzyskiwane przez zakończenie linii na obydwu końcach rezystorami o oporności  $75\Omega$ . Zakłada się, że tłumienność falowa linii koncentrycznej o długości 2000 m i przy częstotliwości 100 kHz nie przekroczy 12 dB. Tłumiennosc wtrąceniowa w punkcie dołączenia stacji nie może przekroczyć wartości 0,1 dB. Przy założeniu, że ilość punktów stykowych nie przekroczy 100 - sumaryczna tłumienność wtrąceniowa będzie nie większa od 10 dB. Przy powyższych parametrach przenoszenia graniczna wartość tłumienności wynikowej wyniesie 22 dB i powinna być uwzględniona przy formułowaniu założeń na czułość odbiornika informacji w układzie sterownika linii. W warunkach granicznych propagacji, tj. przy poziomie sygnału obniżonym o 22 dB i przy maksymalnym poziomie zakłóceń powinna być zapewniona odpowiednia jakość odbioru. Zgodnie z wymaganiami IEC [1] jakość transmisji jest określona elementową stopą błędów, która nie powinna przekroczyć wartości  $10^{-6}$ . Dopuszcza się możliwość dołączenia w jednym punkcie stykowym większej ilości stacji adresowanych, ale pod warunkiem, że tłumienność wtrąceniowa w tym punkcie nie przekroczy wartości 0,1 dB. Ogólną strukturę podsystemu urządzeń komunikacyjnych MIR-PROWAY przedstawiono na rys.1.

Elementami podsystemu komunikacyjnego MIR-PROWAY są:

- wielodostępna magistrala danych /linia transmisji/,
- sterowniki linii,
- mikrokomputery komunikacyjne,
- oprogramowanie dla protokołów transmisji,
- interfejsy pośredniczące we współpracy urządzeń.

Każda stacja systemu MIR PROWAY posiada standardowy sprzętowo mikrokomputer komunikacyjny oraz standardowy sterownik linii. W/w jednostki współpracują za pośrednictwem wewnętrznego interfejsu komunikacyjnego.

## 2.2. Interfejs komunikacyjny

Przewiduje się wykorzystanie następujących standardowych linii interfejsu V24 wg standaryzacji CCITT [2]:

### Przewód 101. Ziemia ochronna

Przewód ten powinien być dołączony do obudowy obydwu jednostek. Może on ponadto być połączony z uziemieniem, zgodnie z obowiązującymi przepisami.

### Przewód 102. Ziemia sygnałowa lub wspólny przewód powrotny

Przewód ten ustala wspólny potencjał odniesienia dla niesymetrycznych przewodów stykowych. Przewód ten wewnątrz sterownika linii powinien być doprowadzony do jednego punktu. Należy umożliwić łączenie tego punktu z przewodem 101 wewnątrz SL za pomocą zwieracza. Zwieracz ten można zakładać lub usuwać w czasie instalacji dla zminimalizowania przenikania zakłóceń do układów elektronicznych.

### Obwód 103. Dane nadawane

Kierunek - do SL

Przez ten obwód przekazywane są sygnały danych wytwarzane w MK i przeznaczone do nadania za pośrednictwem SL i WMD do jednej lub wielu odległych stacji.

### Obwód 104. Dane odbierane

Kierunek - do MK

Przez ten obwód przekazywane są do MK sygnały danych uformowane w SL, a odpowiadające sygnałom odebranych za pośrednictwem WMD ze stacji odległej.

### Obwód 105. Żądanie nadawania

Kierunek - do SL

Sygnały przekazywane przez ten obwód sterują przełączaniem SL w stan nadawania w kanale utworzonym na MWD. Stan TAK powoduje przełączenie się SL w stan nadawania na magistrali. Stan NIE powoduje, że SL wyjdzie ze stanu nadawania danych gdy dane przekazane przez obwód 103 zostaną nadane. Ponowne ustawienie przewodu 105 w stan TAK jest możliwe tylko wtedy, gdy przewód 106 przejdzie w stan NIE.

Obwód 106. Gotowość do nadawania

Kierunek - do MK

Sygnały przekazywane przez ten obwód wskazują czy SL jest gotowy do nadawania danych w kanale transmisyjnym. Stan TAK oznacza, że SL jest gotowy do nadawania danych na WMD. Stan NIE oznacza, że SL nie jest gotowy do nadawania danych. Sygnały obwodu 106 są odpowiedzią na stany TAK/NIE w obwodzie 105.

Obwód 107. Gotowość SL

Kierunek - do MK

Sygnały przekazywane przez ten obwód wskazują, czy SL jest gotowy do pracy. Stan TAK oznacza, że SL jest przyłączony do WMD i, że SL jest gotowy do wymiany z MK innych sygnałów sterujących w celu spowodowania wymiany danych. Stan NIE oznacza, że SL jest nie gotowy do pracy. SL ustawia obwód 107 w stan TAK tylko wtedy gdy obwód 108 jest w stanie TAK.

Obwód 108. Gotowość MK

Kierunek - do SL

Sygnały przekazywane przez ten obwód wskazują czy MK jest w stanie działania. Stan binarny TAK wskazuje na gotowość, a stan NIE na brak gotowości. Jeżeli obwód 108 przeszedł w stan NIE, to nie może on przejść z powrotem w stan TAK zanim obwód 107 nie zostanie przez SL przełączony w stan NIE.

Obwód 109. Detektor poziomu odbieranego sygnału liniowego

Kierunek - do MK

Sygnały przekazywane przez ten obwód wskazują czy poziom sygnału odbieranego z WMD znajduje się w granicach gwarantujących poprawny odbiór. Stan binarny TAK wskazuje, że poziom odbieranego sygnału jest właściwy, a stan binarny NIE wskazuje, że poziom tego sygnału jest niewłaściwy.

Obwód 114. Podstawa czasu dla elementów nadawanych

Kierunek - do MK

Sygnal w tym obwodzie dostarcza do MK rozkład w czasie sygnału pierwotnego nadawanego w obwodzie 103. Stany binarne w obwodzie 114 powinny być ciągiem elementów binarnych TAK i NIE o nominalnie jednakowych długościach czasu. MK wystawia element sygnału na przewodzie 103 w momencie przejścia sygnału na przewodzie 114 ze stanu NIE do stanu TAK. Sygnal zegarowy powinien być podawany przewodem 114 przez cały czas trwania stanu binarnego TAK na przewodzie kontrolnym 107.

W tych przedziałach czasu, gdy podstawa czasu do MK nie jest podawana przewód 114 powinien być w stanie NIE.

Obwód 115. Podstawa czasu dla elementów odbieranych  
Kierunek - do MK

Sygnał w tym obwodzie dostarcza do MK rozkład w czasie sygnału pierwotnego odbieranego w obwodzie 104. Sygnały binarne w obwodzie 115 powinny być ciągiem elementów binarnych TAK i NIE o nominalnie jednakowych długościach w czasie, a momenty przejścia ze stanu TAK do stanu NIE określają nominalne położenia środków elementów odbieranego sygnału pierwotnego. Sygnał taktowy powinien być podawany przez cały czas utrzymywania stanu binarnego TAK na przewodzie kontrolnym 109. W tych przedziałach czasu, gdy podstawa czasu nie jest podawana, przewód 115 powinien być w stanie NIE.

Obwody niestandardowe

a/ TxE - koniec nadawania ciągu informacyjnego ramki.

kierunek - do SL

Stan TAK w tym obwodzie oznacza, że MK przekazał już do SL ostatni bajt danych przeznaczonych do nadawania. W następnej kolejności przekazywane będą z MK do SL po linii 103 dwa bajty kontrolne nadmiaru kodowego. Sygnał TxE jest znaczący tylko wtedy gdy obwód 105 jest w stanie TAK;

b/ SYNDET - detektor synchronizacji ramki.

kierunek - do MK

Stan TAK w tym przewodzie oznacza, że SL odebrał sekwencję synchronizacyjną przekazaną przez stację współpracującą /nadającą/. Przejście ze stanu NIE do stanu TAK powinno nastąpić w nominalnym środku ostatniego bitu odbieranej sekwencji synchronizacyjnej, natomiast powrót do stanu NIE może nastąpić po co najmniej jednym okresie zegara w obwodzie 115, a najpóźniej po 8 okresach tego zegara;

c/ CCK - zegar podstawowy komunikacyjny.

kierunek - do SL

Sygnał fali prostokątnej o częstotliwości będącej wielokrotnością częstotliwości zegarów nadawczej i odbiorczej elementowej skali czasu. Sygnał ten może być opcjonalnie wykorzystany do wytworzenia w/w sygnałów.

d/ Obwody zasilania sterownika linii.



### 2.3. Zasady wykorzystania obwodów stykowych IK

Odpowiednie stany przewodów kontrolnych interfejsu komunikacyjnego warunkują zarówno możliwość przesyłania danych w linii jak i dają gwarancję poprawnego ich przekazywania. Dlatego niezbędne jest zachowanie kolejności ich włączania /stan binarny TAK/ i wyłączania /w stan binarny NIE/ oraz zależności w czasie między stanami poszczególnych obwodów.

Obowiązują następujące zasady:

- a/ MK nie może wysyłać danych w obwodzie 103, gdy nie we wszystkich następujących obwodach stykowych panuje stan TAK: 105, 106, 107 i 108;
- b/ SL powinien zablokować obwód 104 /tj. sprowadzić do stanu NIE/, jeśli obwód 109 jest w stanie NIE;
- c/ SL powinien zablokować obwody 104 i 109, jeśli obwód 105 jest w stanie TAK, a także przez krótki okres czasu /określony w danych technicznych na SL/ następujący po zmianie stanu TAK na NIE w obwodzie 105.

Rys. 2 obrazuje sygnały na przewodach interfejsu komunikacyjnego przy naprzemiennym przekazywaniu danych między stacją inicjującą i stacją odbierającą. Wymianę danych rozpoczyna MK stacji sterującej przez ustawienie w stan TAK obwodu 108. SL tej stacji, jeśli jest gotowy do pracy ustawia obwód 107 w stan TAK, co oznacza pozwolenie dla MK na kontynuację dalszych czynności. Następnie MK ustawia w stan TAK przewód 105, który odblokowuje nadajnik SL. Nadawanie danych w obwodzie 103 może jednak nastąpić dopiero wówczas, gdy SL ustawi w stan TAK obwód 106. Przedział czasu  $t_g$  między żądaniem nadawania /obwód 105/ a gotowością do nadawania /obwód 106/ jest niezbędny dla ustalenia synchronizmu między sygnałami nadawanym i odbieranym.

Odbierany po stronie stacji przeciwległej sygnał zostanie zgłoszony przez ustawienie w stan TAK obwodu SYNDET. Od tego momentu stają znaczące stany logiczne oraz zależności fazowe sygnałów w obwodach 115, 108, 107, 109 i 104.

Linia SYNDET jest dla MK wyróżnikiem rodzaju odbieranej informacji oraz wykorzystana jest tam dla wytworzenia bajtowej skali czasu odbiornika informacji szeregowej. MK kontroluje stan obwodów 107 i SYNDET i ewentualnie przekazany obwodem 104 bajt informacji w koincydencji ze stanem TAK w obwodzie SYNDET lub stanem NIE

w obwodzie 107 powinien być odrzucony.

Przedział czasu  $t_m$  od momentu przełączenia w stan TAK obwodu 105 przez stację nadawczą do momentu ustawienia obwodu 109 stacji odbiorczej w stan TAK wynika z opóźnień wnoszonych przez układy reaktancyjne nadajnika i odbiornika SL i reaktancje toru koncentrycznego. Czas  $t_m$  musi być uwzględniony w odbiorze sygnału z linii 104 w ten sposób aby odbierany z linii sygnał mógł być wyróżniony spośród impulsów zakłócających. Z tego względu oraz dla przeprowadzenia automatycznej korekcji fazy sygnału zegarowego 115 i skutecznego dokonania procesu synchronizacji ramkowej przewiduje się wysyłanie 3 bajtów synchronizacyjnych poprzedzających właściwy sygnał danych. W ten sposób czas  $t_s$  jest ustalony na odpowiadający transmisji 3 bajtów informacji. Zgłoszenie odbioru w obwodzie SYNDET powinno zainicjować kolejne ustawienie w stan TAK obwodów 108 i 107 /jeżeli MK i SL stacji odbiorczej są zdolne do odbioru dalszej, napływającej z WMD informacji/. Logiczne rozłączenie następuje z inicjatywy MK stacji nadawczej. Po wysłaniu wszystkich bajtów danych oraz 2 bajtów kontrolnych nadmiarą kodowego następuje ustawienie w stan TAK obwodu TxE. Dla SL oznacza to, że bezpośrednio po przekazaniu ostatniego bitu ciągu kontrolnego K powinien on wysyłać na WMD bajty synchronizacyjne w całkowitej ilości, wyznaczonej momentem powrotu obwodu TxE w stan NIE. SL wysyła wówczas bajt "jedynekowy" końca transmisji, w trakcie którego MK sprowadza obwód 105 w stan NIE. Po zakończeniu transmisji na WMD - SL wyłącza obwód 106, czego konsekwencją jest przejście kolejno obwodów 108 i 107 w stan NIE.

Na stacji odbiorczej zakończenie transmisji kontrolowane jest podwójnie, tzn. przez MK, który po przyjęciu ostatniego bajtu  $K_2$  wyłącza obwód 108 oraz przez SL, który wyłącza obwód 107 po przyjęciu co najmniej 1-go bajtu synchronizacji /przy stanie NIE obwodu 108/ oraz bajtu "jedynekowego" końca transmisji.

Obwód 109 przechodzi w stan NIE automatycznie po czasie  $t_0$  od wystąpienia zaniku sygnału liniowego.

Czas  $t_0$  powinien być tak dobrany, aby ewentualne, krótkotrwałe przerwy w transmisji na WMD nie powodowały wyłączenia wymiany danych między korespondującymi ze sobą stacjami. Rozpoczęcie procesu nadawania odpowiedzi zwrotnej przez stację odbierającą jest uzależnione od sprawdzenia, czy obwody SYNDET, 109 i 107 są w stanie NIE.

### 3. MODEL FUNKCJONALNY WSPÓŁPRACY STACJI MIR-PROWAY

#### 3.1. Reguła sterowania dostępem do WMD

Jak wynika z założeń [1], [7] każda stacja dołączona do WMD posiada określony poziom hierarchii, ze względu na potencjalne możliwości sterowania współpracą stacji. Stacje typu "supervisor" mają możliwość organizowania i koordynacji wymiany danych przez WMD i z tego względu są reprezentatywne dla ustalenia optymalnych metod sterowania dostępem do WMD. W celu zapewnienia różnorodnych możliwości współpracy stacji stosowane będą 2 standardowe formaty ramki sygnałowej:

- format I - o stałej długości ramki, bez pola danych,
- format II - o zmiennej długości ramki, z polem danych.

Format I stosowany będzie dla wykonywania funkcji sterowniczych, natomiast format II dla przekazywania danych między stacjami. Struktura ramki sygnałowej dla obydwu w/w formatów przedstawiona jest na rys. 3.

W zależności od typu współpracujących stacji przewiduje się stosowanie odpowiednich, spośród przedstawionych w tablicach 1 i 2 funkcji wywołania i odpowiedzi.

Obowiązuje zasada, że stacja o najwyższym poziomie hierarchii kontroluje aktualny stan współpracy bądź przez wymuszanie odpowiedzi zwrotnej, bądź na drodze "obserwacji" ruchu pomiędzy innymi stacjami. W tablicy 3 przedstawiono ogólną zasadę stosowania funkcji wywoływania i odpowiedzi. Szczegółowe programy sterowania przydziałem dostępu do WMD oraz sterowanie wymianą informacji powinny zawierać procedury funkcyjne zgodnie z podanymi w tablicy 3.

Sterowanie dostępem do WMD polega na przekazywaniu funkcji sterowniczej do stacji sterującej niższego poziomu hierarchii oraz jej zwracania po zakończeniu wszystkich wymaganych przez tę stację ruchów danych. Jeżeli wyznaczona do przyjęcia funkcji sterowniczej stacja akceptuje to wywołanie, to może ona zrealizować zadaną lub dowolną ilość cykli wymiany informacji /zapis, odczyt itp./ z innymi stacjami, po czym zwrócić funkcję sterowniczą do stacji "supervisor". W przypadku jeśli wywołana stacja sterująca nie akceptuje tego wywołania /nie ma zapotrzebowania na sterowanie dostępem do WMD/, to bezpośrednio po wywołaniu zwraca funkcję sterowniczą do wywołującej ją stacji "supervisor". Na rys. 5 pokazano przykładowy cykl sterowania przydziałem dostępu do WMD.

11

### 3.2. Procedura centralnego obiegu stacji

Jest to procedura polegająca na cyklicznym /sekwencyjnym/ odczytywaniu stanu kolejno wybieranych stacji. Każda wywołana stacja przekazuje do stacji centralnej /supervisor/ odpowiedź, w której mogą być zawarte dane pojawiające się sporadycznie, np. stany awaryjne, żądanie przejęcia funkcji sterowniczej, potwierdzenia przyjęcia danych /rozkazów/ przesłanych wcześniej przez centralę na adres grupowy itp. Funkcję sterowniczą dostępną do WMD dla procedury centralnego obiegu stacji posiada zawsze stacja centralna /supervisor/. Na rys. 6 pokazano przykładowy cykl realizacji procedury centralnego obiegu stacji.

### 3.3. Procedura zdecentralizowanego obiegu stacji

Procedura ta ma zastosowanie dla przeprowadzenia szybkiego przeglądu stacji i jest inicjowana ze stacji centralnej typu "supervisor". Każda wywołana stacja, po przyjęciu wywołania skierowuje wywołanie do kolejnej stacji bez zwracania sterowania do stacji centralnej. Stacja centralna odbiera wszystkie wywołania i w ten sposób "obserwuje" obieg funkcji wywołania z zapamiętywaniem stanu analogicznie jak przy procedurze centralnego obiegu stacji. Na rys. 7 przedstawiono przykładowy cykl realizacji w/w procedury.

## 4. MODELE STOCHASTYCZNE KANAŁU TRANSMISJI NA WMD

### 4.1. Podstawowe definicje i określenia

Ogólna struktura kanału transmisyjnego zrealizowanego w określonym przedziale czasu dla komunikacji między dwiema wybranymi stacjami systemu za pośrednictwem WMD jest przedstawiona na rys. 8.

W przedstawionym na rys. 8 modelu kanału transmisji szeregowej MIR PROWAY można wyróżnić:

- a/ kanał podkładowy, zawarty pomiędzy liniowymi złączami stykowymi WMD
- b/ kanał pierwotny, zawarty pomiędzy złączami interfejsu komunikacyjnego współpracujących stacji,
- c/ kanał zabezpieczony, zawarty pomiędzy wewnętrznymi magistralami procesorów w MK obydwu współpracujących stacji

Ponieważ wymienione sygnały przez wszystkie spośród w/w kanałów mają postać binarną, kanały te będą traktowane jako dyskretne kanały binarne. Jednostka sprzęgająca SJ wyposażona jest w układy zabezpieczenia i kontroli cyklicznej ciągów binarnych, natomiast sterownik linii SL wyposażony jest w układy kształtowania oraz odwzorowania sygnału liniowego.

Jakość transmisji na WMD będzie więc można ocenić przez porównanie parametrów:

- kanału pierwotnego w stosunku do kanału podkładowego,
- kanału zabezpieczonego w stosunku do kanału pierwotnego,

Pod wpływem czynników, których źródłem są warunki propagacji sygnału w kanale podkładowym powstają błędy w kanale pierwotnym. Pod pojęciem błędu rozumie się niezgodność stanu znamionnego elementu sygnału odebranego w stosunku do stanu znamionnego odpowiadającego mu elementu sygnału nadanego. W przypadku, gdy nie stosuje się żadnych metod zabezpieczenia przed błędami każdy błąd sygnału pociąga za sobą błąd w odebranej informacji. Dla ilościowego określenia tego zjawiska stosuje się pojęcie stopy błędów, przy czym dla systemu MIR PROWAY można wyróżnić trzy rodzaje stopy błędów, a mianowicie: elementową /bitową/, bajtową i blokową /ramkową/. Praktycznie pod pojęciem stopy błędów rozumie się średnie prawdopodobieństwo wystąpienia błędnego elementu, bajtu lub bloku podczas transmisji w kanale pierwotnym.

Dla dokonania oceny zastosowanej metody protekcji /zabezpieczenia przed błędami/ lub w celu wyboru optymalnej metody tego zabezpieczenia, tj. dla porównania parametrów kanału zabezpieczonego z parametrami kanału pierwotnego znajomość tylko stopy błędów jest dalece niewystarczająca. Dlatego też stopie błędów powinien towarzyszyć matematyczny model ciągu błędów, określający prawo ich rozkładu w odpowiednio długim ciągu elementów, tj. w dostatecznie długim czasie transmisji. Będzie to więc model stochastyczny źródła błędów z zastosowaniem aproksymacji rzeczywiście występującego zjawiska do pewnych typowych przypadków dających się opisać funkcją matematyczną. Poniżej podane zostaną reprezentatywne przykłady przyczynowych modeli binarnych kanałów dyskretnych, które jak można sądzić będą w przyszłości przydatne dla dokonania oceny jakości transmisji w systemie MIR PROWAY na podstawie przeprowadzonych badań.

#### 4.2. Model KBS

Kanał binarny, bezpamięciowy, symetryczny i stacjonarny KBS jest najprostszym modelem kanału transmisji danych. Otrzymuje się go przy założeniu, że w kanale podkładowym występuje biały szum gaussowski [4]. W modelu tym przyjmuje się, że rozkład prawdopodobieństwa w danej pozycji sygnału odebranego zależy tylko od sygnału znajdującego się w tej samej pozycji nadanego ciągu kodowego, a zatem, że:

$$P(Y=y/S=s) = P(Y_1=y_{j_1}/S_1=s_{k_1}) \cdot P(Y_2=y_{j_2}/S_2=s_{k_2}) \cdot \dots \cdot P(Y_N=y_{j_N}/S_N=s_{k_N}) \quad /4.1/$$

gdzie:  $Y$  - oznacza ciąg losowy reprezentujący ciągi wyjściowe,  
 $S$  - ciąg losowy reprezentujący ciągi wejściowe,  
 $y, s$  - dwa ustalone ciągi sygnałów elementarnych,  
 $y_{j_1}, y_{j_2}, \dots, y_{j_N}$  - oznacza ciąg sygnałów elementarnych tworzących ciąg  $y$ ,  
 $s_{k_1}, s_{k_2}, \dots, s_{k_N}$  - oznacza ciąg sygnałów elementarnych tworzących ciąg  $s$ ,  
 $S_1, S_2, \dots, S_N$  i  $Y_1, Y_2, \dots, Y_N$  - oznaczają ciągi zmiennych losowych będących odpowiednio składowymi wielowymiarowymi zmiennymi  $S$  lub  $Y$ .

Kanał dyskretny, dla którego słuszny jest wzór /4.1/ nazwano kanałem bezpamięciowym. Jeżeli ponadto prawdopodobieństwa warunkowe  $P(Y_N = y_{j_n}/S_N = s_{k_n})$  nie zależą od numeru pozycji  $n$ , to jest to kanał stacjonarny. Gdy przesyłane przez kanał sygnały elementarne są binarne i mogą przyjmować postać  $s_1$  lub  $s_2$ , wtedy dla kanału bezpamięciowego, stacjonarnego są opisane prawdopodobieństwa:

$$P(1/0) \stackrel{\text{df}}{=} P(Y_n = s_2/S_n = s_1) \quad /4.2/$$

$$P(0/1) \stackrel{\text{df}}{=} P(Y_n = s_1/S_n = s_2)$$

Na ogół sposób nadawania i odbioru sygnałów elementarnych wybiera się tak, aby:

$$P(1/0) = P(0/1) \quad /4.3/$$

Kanał bezpamięciowy, stacjonarny, dla którego zachodzi równość /4.3/ nosi nazwę kanału symetrycznego.

W przypadku kanału KBS związek między ciągiem nadanym  $s=s_1, s_2, \dots, s_N$  a ciągiem odebrany  $y=y_1, y_2, \dots, y_N$  można zapisać w prosty sposób definiując pojęcie błędu elementarnego.

Błędem elementarnym, działającym na  $n$ -tej pozycji jest cyfra binarna  $z_n$ ;

$$z_n = \begin{cases} 0, & \text{dla } s_n = y_n - \text{brak błędu} \\ 1, & \text{dla } s_n \neq y_n - \text{wystąpił błąd} \end{cases} \quad /4.4/$$

Ciągiem błędów będzie więc ciąg  $z = z_1, z_2, \dots, z_N$  zaś  $y_n = s_n \oplus z_n$  gdzie  $\oplus$  oznacza sumowanie "modulo 2". A więc można zapisać:

$$y = s \oplus z \quad /4.5/$$

Z wzorów /4.4/ i /4.5/ wynika, że:

$$\begin{aligned} z &= y \oplus s \\ s &= y \oplus z \end{aligned} \quad /4.6/$$

Z zależności /4.6/ można wnioskować, że dla kanału KBS błąd daje się formalnie przedstawić jako dodający się ciąg, a więc jako szum addytywny. Prawdopodobieństwo, że w ciągu  $n$ -elementowym przesłanym przez KBS  $m$  elementów ulegnie przekłamaniu, dane jest wzorem opisującym rozkład dwumianowy:

$$P(m, n) = \binom{n}{m} p^m (1-p)^{n-m} \quad /4.7/$$

Model ten jest więc opisany tylko jednym parametrem  $p$  i z tego względu wygodny jest do praktycznego stosowania. Nie stawia on żadnych formalnych ograniczeń, co do wielkości  $p$  i  $n$ . Pewną niedogodnością przedstawionego modelu jest duża pracochłonność obliczeń dla dużych wartości  $m$  i  $n$ . Zasadniczą wadą tego modelu jest jednak fakt, że na skutek przyjętych założeń dotyczących sygnału zakłócającego, rozbieżność między modelem KBS a rzeczywistym kanałem pracującym w warunkach silnych zakłóceń impulsowych /przemysłowych/ dla systemu MIR PROWAY mogą być znaczne i wówczas model ten należy traktować jako najbardziej zgrubne przybliżenie do realnych kanałów.

### 4.3. Model Gilberta

Liczne badania własności statystycznych kanałów wykazały, że przyjęcie założenia o kanale bezpamięciowym nie znajduje praktycznego potwierdzenia. Model uwzględniający pamięć kanału rzędu 1 podał Gilbert [3]. W modelu tym przyjmuje się, że:

- a/ podczas przesyłania n-tego sygnału elementarnego kanał znajduje się w jednym z dwu stanów: "dobrym" - G lub "złym" B;
- b/ w każdym z tych stanów kanał zachowuje się jak KBS z prawdopodobieństwem błędu  $p_1$ ;
- c/ ciąg stanów kanału stanowi realizację stacjonarnego procesu Markowa, przedstawionego na rys. 9.

Stan G jest stanem bezbłędnym, zaś w stanie B mogą występować zarówno elementy błędne jak i bezbłędne, przy czym prawdopodobieństwo błędu jest równe  $1-h$ .

Dla stanu ustalonego prawdopodobieństwa stanów P/G/ i P/B/ można określić z łańcucha Markowa przedstawionego na rys. 9. Na podstawie twierdzenia ergodycznego uzyskuje się:

$$P/G/ = \frac{p_{21}}{p_{12} + p_{21}} ; \quad P/B/ = \frac{p_{12}}{p_{12} + p_{21}} \quad /4.8/$$

Z założenia błędy mogą występować tylko w stanie B, stąd prawdopodobieństwo błędu jest równe:

$$p = /1-h/ \frac{p_{12}}{p_{12} + p_{21}} \quad /4.9/$$

Dla tego modelu długości odcinków bezbłędnych i odcinków z błędami dla stanów G i B mają rozkład geometryczny, odpowiednio z wartościami średnimi  $1/p_{12}$  i  $1/p_{21}$ . Jest to równoważne temu, że w modelowanym kanale zakłócenia są statystycznie niezależne, czyli długości odstępów między błędami są niezależne.

Prawdopodobieństwo wystąpienia m błędów w bloku o długości n elementów wyraża się wzorem:

$$P(m, n) = p_{12} (1-h)^m \sum_{i=m}^n \binom{i}{m} h^{i-m} \cdot p_{22}^{i-1} [(n-i-1)p_{21} + 2]$$

$$\text{dla } 1 \leq m \leq n/2$$

/4.10/

$$P(m, n) = p_{21} (1-h)^{n-m} \sum_{i=n-m}^n \binom{i}{n-m} h^{i-n+m} \cdot p_{11}^{i-1} [(n-i-1)p_{12} + 2]$$

$$\text{dla } m > n/2$$



W celu praktycznego wykorzystania w/w charakterystyk należy na podstawie badań eksperymentalnych rzeczywistego kanału określić parametry modelu, tzn.:  $p_{12}, p_{21}, h$ .

Parametry te nie są bezpośrednio obserwowalne w ciągu błędów, więc określone zostaną przy pomocy innych, łatwych do zaobserwowania statystyk ciągu błędów, a mianowicie:

- prawdopodobieństwa wystąpienia błędu pojedynczego

$$a = P/1/ = (1-h) \frac{p_{12}}{p_{12}+p_{21}} \quad /4.11/$$

- warunkowego prawdopodobieństwa wystąpienia błędów podwójnych

$$b = P(1/1) = (1-h) p_{22} \quad /4.12/$$

- prawdopodobieństwa występowania trzelementowych serii błędów w stanie B

$$c = P/111/ = \frac{p_{12}}{p_{12} \cdot p_{21}} (1-h)^3 = a (1-h)^2 \quad /4.13/$$

Na podstawie zależności /4.11/, /4.12/ i /4.13/ wyznacza się parametry modelu:

$$\left. \begin{aligned} p_{21} &= 1 - \frac{b}{1-h} \\ h &= 1 - \sqrt{c/a} \\ p_{12} &= \frac{a \cdot p_{21}}{1-h-a} \end{aligned} \right\} \quad /4.14/$$

Statystyki:  $a, b, c$  można stosunkowo łatwo wyznaczyć przez analizę uzyskanego empirycznie ciągu błędów.

Przedstawiony powyżej model Gilberta jest pierwszą próbą odzwierciedlenia zjawiska grupowania się błędów, tzn. uwzględnienia pamięci kanału. Model ten opisuje grupowanie się błędów w serie, ale nie opisuje grupowania się tych serii w bardziej złożone struktury.

#### 4.4. Model Purtowa

W praktyce inżynierskiej, dla modelowania kanałów z silnym oddziaływaniem zakłóceń impulsowych, okazał się być przydatny model kanału wg [5].

Podstawowym pojęciem, na bazie którego zbudowano ten model, jest gęstość błędów rzędu  $m$  zdefiniowana jako:

$$V(m, n) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\sum_{j=m}^n j P(j, n)}{n \cdot P(\geq m, n)}$$

/4.15/

gdzie:  $n$  - długość bloku informacji

$P(j, n)$  - prawdopodobieństwo wystąpienia dokładnie  $j$  błędów w bloku  $n$ -elementowym

$P(\geq m, n)$  - prawdopodobieństwo wystąpienia co najmniej  $m$  błędów w bloku o długości  $n$  elementów.

Wielkość  $V(m, n)$  ma sens elementowej stopy błędów, określonej dla bloków przesłanych z co najmniej  $m$  błędami. Miarą grupowania się błędów w tym modelu jest tzw. współczynnik grupowania się błędów definiowany jako:

$$\alpha \stackrel{\text{def}}{=} 1 + \lim_{p \rightarrow 0} \frac{d[\ln V(1, n)]}{d[\ln n]}$$

/4.16/

Przy znanych statystykach  $V(i, n)$  dla  $i = 0, 1, \dots, n$  wartość  $P(\geq m, n)$  można dokładnie wyznaczyć z:

$$P(\geq m, n) = \prod_{i=1}^m \frac{V(i-1, n) - \frac{i-1}{n}}{V(i, n) - \frac{i-1}{n}}$$

/4.17/

Jeżeli spełnione są warunki:

$$\frac{m}{n} < 0,1 \quad \text{i} \quad \frac{m}{n} < 0,1p$$

/4.18/

oraz  $\alpha$  nie jest bliskie zeru lub jedności, to dla praktyki inżynierskiej wystarczającą dokładny jest wzór:

$$P(\geq m, n) \leq \left(\frac{n}{m}\right)^{1-\alpha} \cdot p$$

/4.19/

Powyżej przedstawiony model kanału określony jest tylko dwoma parametrami:  $p$  i  $\alpha$ . Eksperymentalne wyznaczenie ich nie przysparza większych trudności, stąd jego szerokie zastosowanie praktyczne.

## 6. WNIOSKI

Niniejsze opracowanie ma charakter analityczno-koncepcyjny i dotyczy badań efektywności wymiany danych pomiędzy stacjami systemu MIR-PROWAY. Za pośrednictwem wielodostępnej, szeregowej magistrali danych. Znajomość parametrów określających jakość kanałów transmisyjnych utworzonych na wielodostępnej magistrali pozwoli na określenie optymalnych warunków eksploatacji systemu. Umożliwi ponadto dokonanie wyboru optymalnych rozwiązań sprzętowych i programowych na etapie projektowania elementów systemu.

W etapie 1.1 zlecenia 11.03.03 przeprowadzono analizę wymagań IEC dotyczących jakości kanałów transmisyjnych, natomiast w niniejszym etapie 1.2. sformułowano zasady współpracy stacji systemu MIR PROWAY i dokonano przeglądu metod modelowania matematycznego kanałów transmisji. Zdefiniowane parametry protokołów komunikacyjnych oraz parametry modeli statystycznych są podstawą do opracowania metod diagnostyki kanałów oraz metod identyfikacji modelu kanału na podstawie przeprowadzonych w przyszłości badań empirycznych prototypowego systemu MIR PROWAY. Prace te przewidziane są w dalszych etapach niniejszego zlecenia.

5. LITERATURA

1. Dokument IEC TC65/Secr/18: Process data highway /proway/ for distributed process Control systems Part 2: Functional requiremen 1979 r.
2. Zalecenia CCITT - seria V. Księga Zielona: WKŁ W-wa, 1976 r.
3. E.Gilbert - Capacity of burst-noise channel. BSTJ.39, 1960 r.
4. J.Seidler - Systemy przesyłania informacji cyfrowych - WNT Warszawa, 1972 r.
5. Purtow - Elementy teorii pieredaczi dyskretnej informacji. Swiaz. Moskwa, 1972 r.
6. K.Majdan - Metoda oceny efektywności telementrycznego podsystemu koncentracji danych. Biuletyn MERA PIAP - 5/85, 1980 r.
7. T.Missala - Rodzina układów sterujących urządzeniami technologicznymi - projekt koncepcyjny. MERA PIAP - nr rej. 2930, 1980 r.

Tablica 1

## Kody funkcji wywołania

F1	Zapis danych w stacjach wybranych grupowo
F2	Zapis danych w zaadresowanej stacji
F3	Bezpośredni odczyt danych z zaadresowanej stacji
F4	Zapis danych i adresów danych przeznaczonych do odczytu
F5	Centralne wywołanie stacji
F6	Przekazanie funkcji sterowniczej dostępem do WMD
F7	Zwrot funkcji sterowniczej dostępem do WMD
F8	Jak F7 z potwierdzeniem przyjęcia funkcji F1
F9	Zdecentralizowany obieg /przeгляд/ stacji
F10	Jak F9 z potwierdzeniem przyjęcia funkcji F1
F11	Jak F9 z zapotrzebowaniem przyjęcia funkcji sterowniczej
F12	Jak F11 z potwierdzeniem przyjęcia funkcji F1
F13	rezerwa
F14	rezerwa
F15	rezerwa
F16	rezerwa

Tablica 2

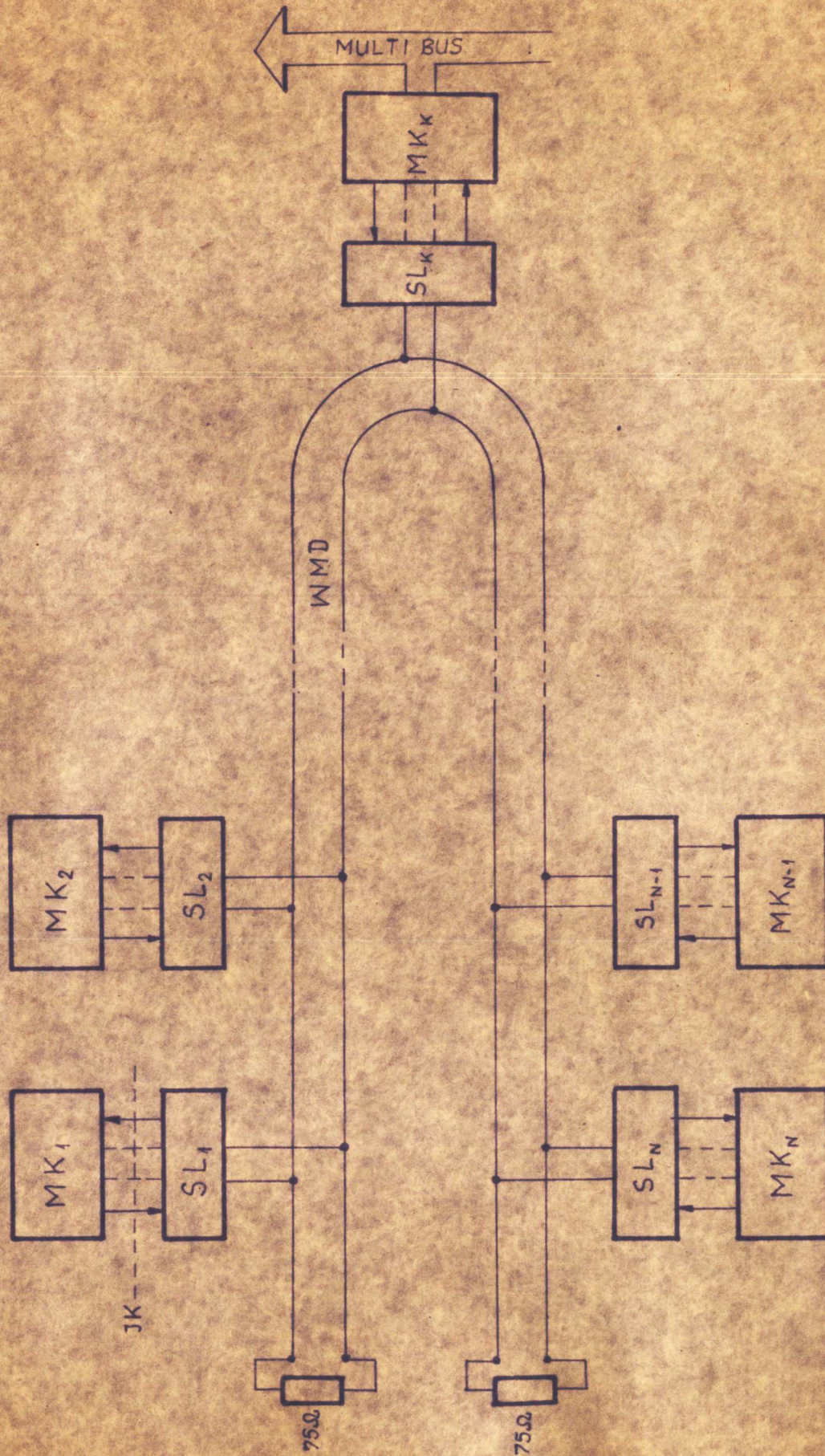
Kody funkcji odpowiedzi

F17	rezerwa
F18	potwierdzenie przyjęcia i zapisu danych
F19	odczyt danych z przekazaniem ich do stacji wywołującej
F20	zapis/odczyt z potwierdzeniem przyjęcia do zapisu i przekazaniem odczytanych danych
F21	odpowieź na wywołanie /akceptacja/
F22	jak F21 z potwierdzeniem przyjęcia funkcji F1-
F23	jak F21 z żądaniem przejęcia funkcji sterowniczej WMD
F24	F22 + F 23
F25	rezerwa
F26	rezerwa
F27	rezerwa
F28	rezerwa
F29	rezerwa
F30	rezerwa
F31	rezerwa
F32	rezerwa

Tablica 3

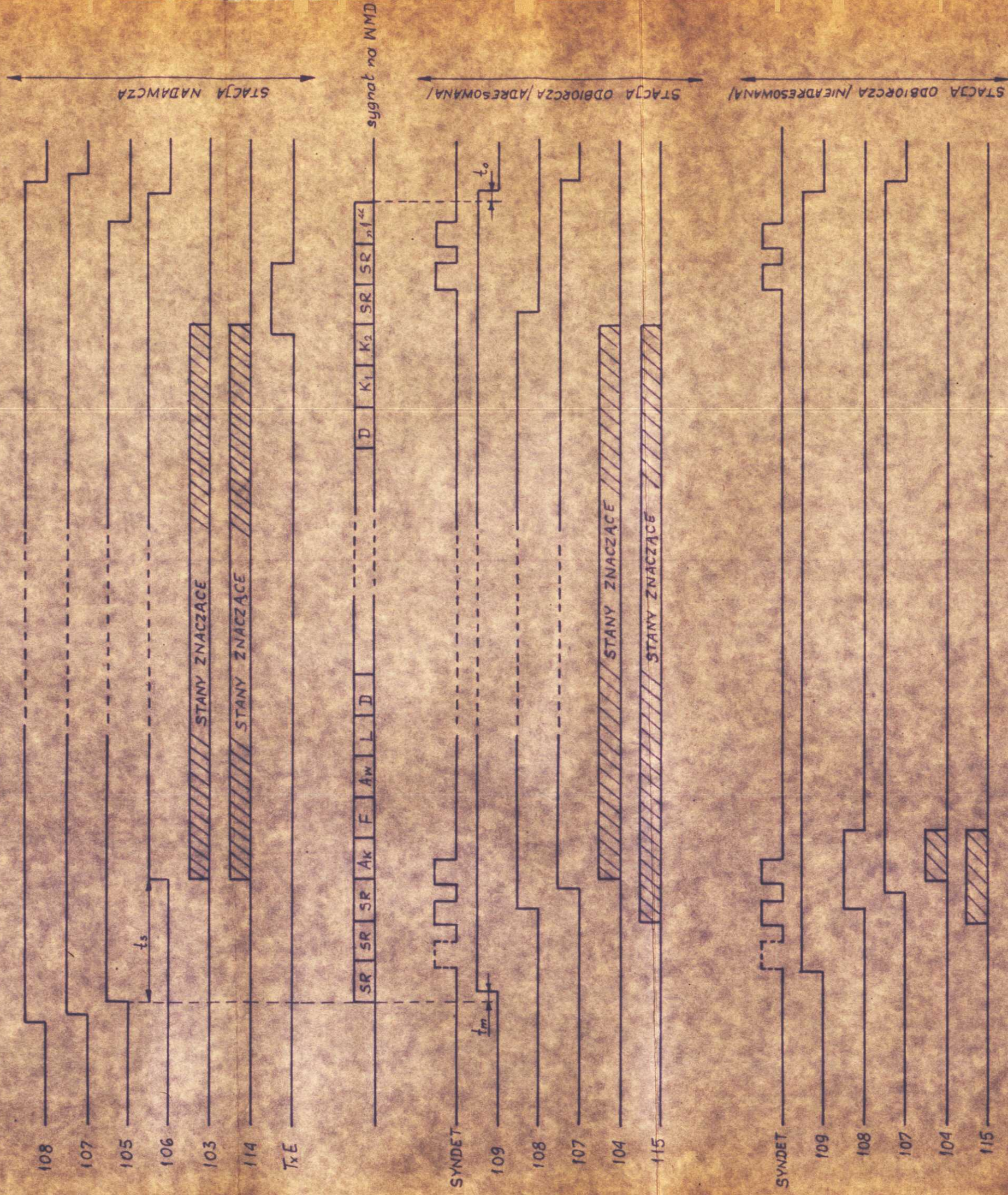
Procedury funkcyjne

Lp.	Nazwa procedury	Funkcja wywołania	Funkcja odpowiedzi
1	Grupowy zapis stacji	F1	-
2	Zapis indywidualny	F2	F18
3	Czytanie indywidualne	F3	F19
4	Zapis/odczyt	F4	F20
5	Centralny obieg stacji	F5	F21/F22/F23/F24
6	Sterowanie dostępem do WMD	F6/F7/F8	-
7	Zdecentralizowany obieg stacji	F9/F10/F11/F12	-

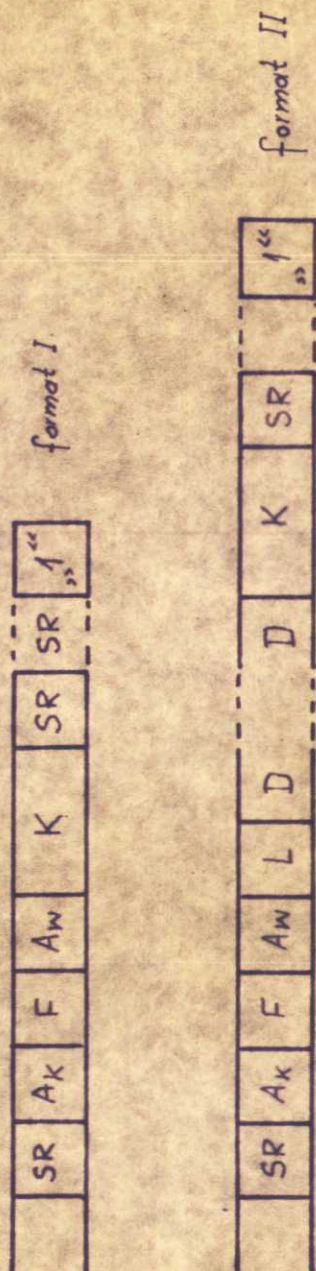


Rys. 1. Struktura podsystemu urządzeń komunikacyjnych MIR PROWAY  
/MK - mikrokomputer komunikacyjny, SL - sterownik linii, JK - interfejs komunikacyjny,  
WMD - wielodostępna magistrala danych/.



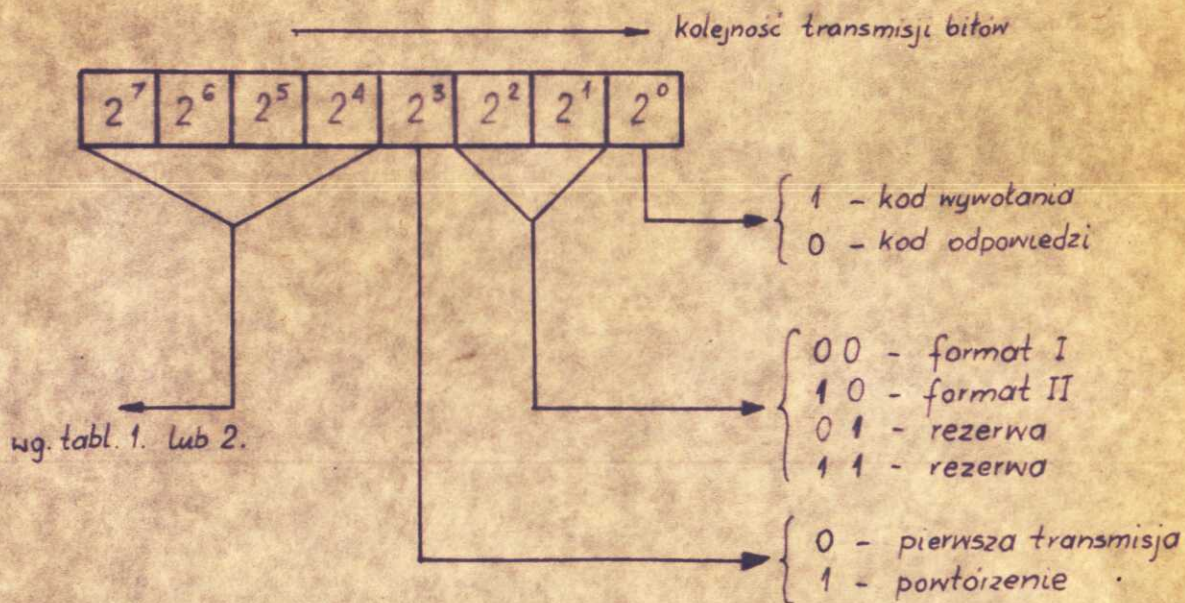


Rys.2. Zależności czasowe w otoczkach interfejsu komunikacyjnego

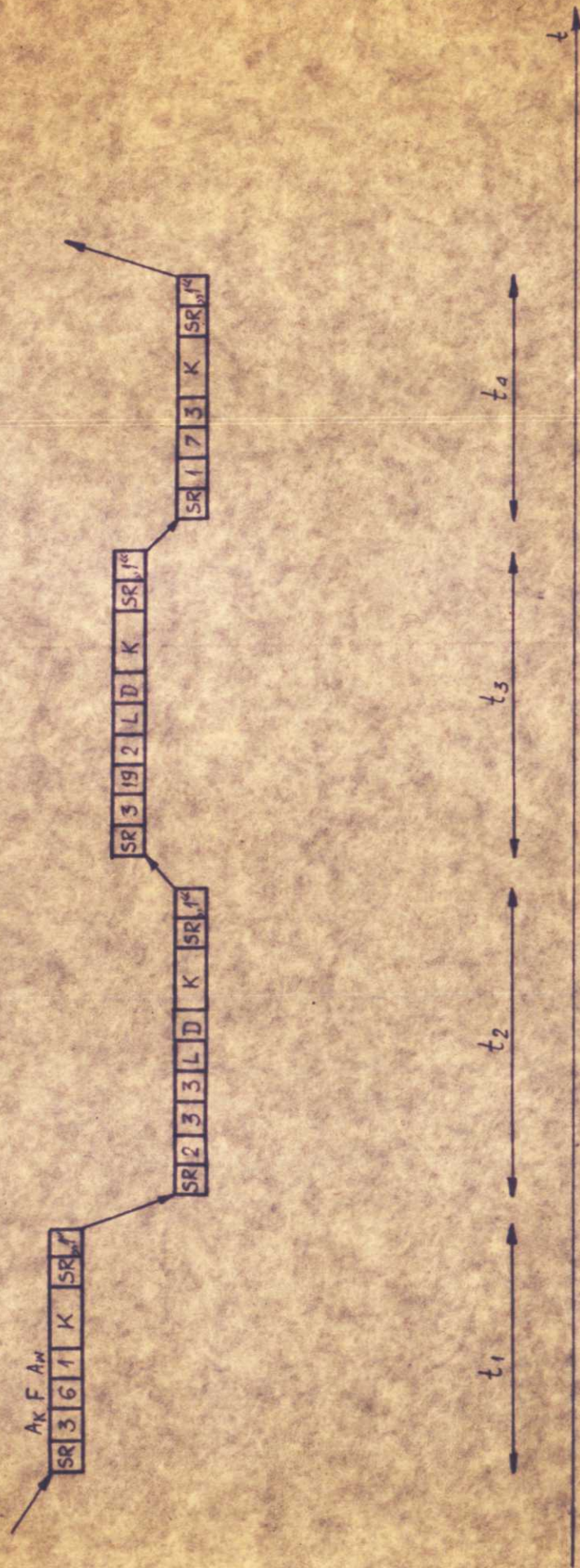


Rys.3. Format ramki sygnałowej

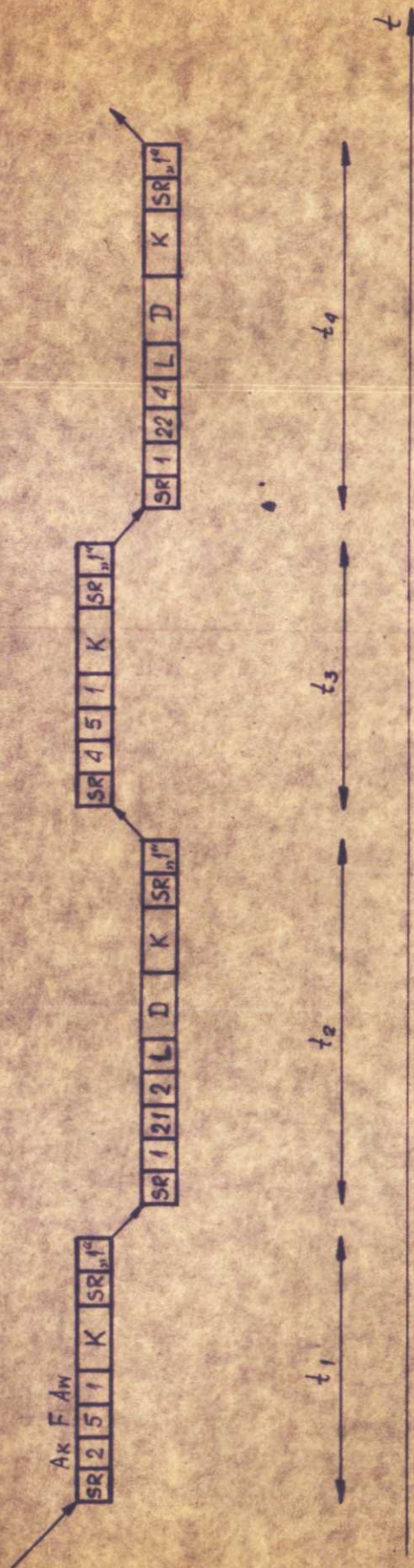
$n$  - ilość bajtów danych 1...1024, SR - sekwencja synchronizacyjna; kod 01111110,  
 $A_k$  - adres korespondenta; kod binarny,  $A_w$  - adres własny; kod binarny,  
 $F$  - bajt funkcji; kod wś rys. 4,  $K$  - dwubajtowy ciąg kontrolny kodu cyklicznego  
 $g/x/ = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ ,  $L$  - bajt długości pola danych; kod binarny,  
 $D$  - bajt danych; kod nie normalizowany, "1" - bajt "koniec transmisji";  
 kod 11111111/.



Rys.4. Struktura bajtu funkcji F.

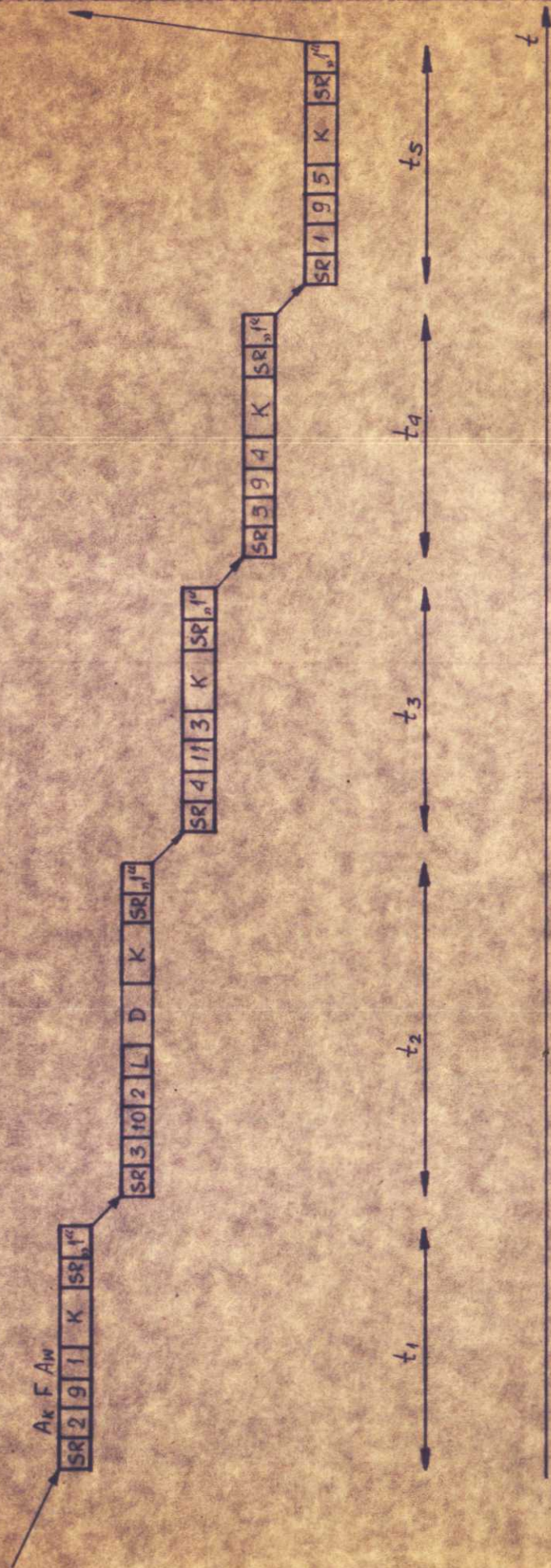


Rys. 5. Cykl sterowania dostępnym do WMD z wymianą danych  
 $t_1$  - przekazanie funkcji sterowniczej ze stacji 1 do stacji 3,  $t_2$  - wywołanie do odczytu danych stacji 2,  $t_3$  - odpowiedź stacji 2 z przekazaniem odczytanych danych,  $t_4$  - wywołanie stacji 1 przez stację 3 ze zwrotem funkcji sterowniczej/.

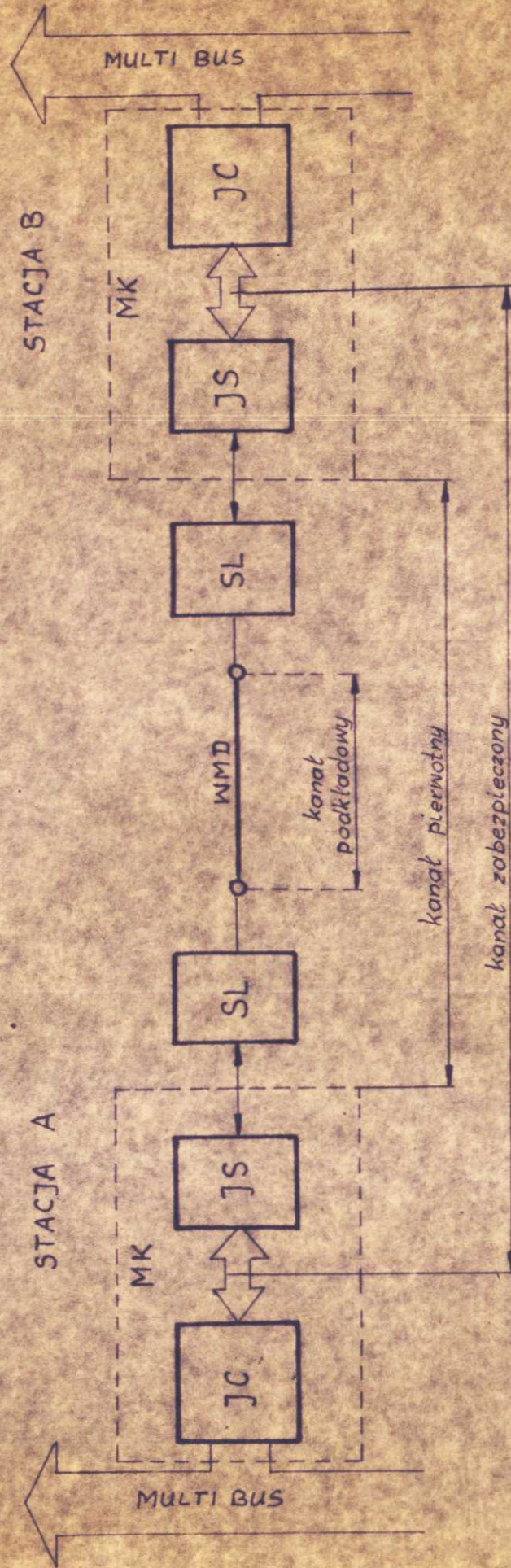


Rys.6. Cykl centralnego obiegu stacji /stacja 1 - supervisor/

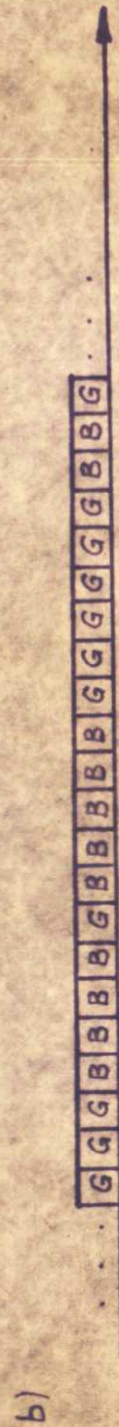
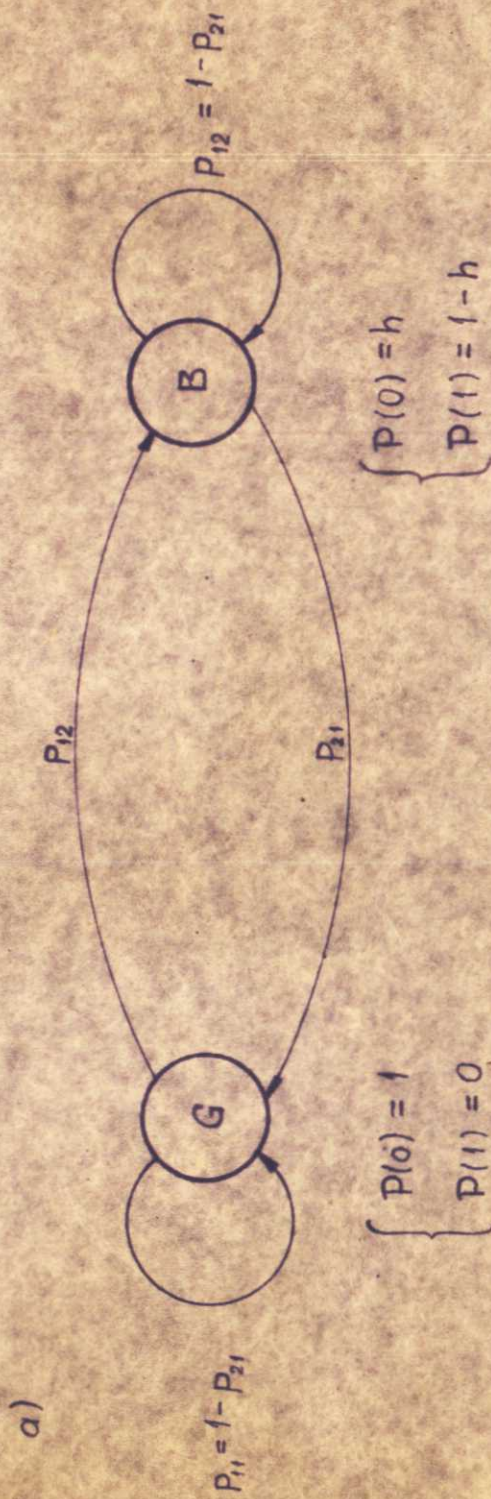
$t_1$  - wywołanie stacji 2 ze stacji 1,  $t_2$  - akceptacja wywołania przez stację 2,  
 $t_3$  - wywołanie stacji 4 ze stacji 1,  $t_4$  - akceptacja wywołania przez stację 4/.



Rys.7. Cykl zdecentralizowanego obiegu stacji /stacja 1 - supervisor/  
 $t_1$  - wywołanie stacji 2 przez stację 1,  $t_2$  - wywołanie stacji 3 przez stację 2,  
 $t_3$  - wywołanie stacji 4 przez stację 3,  $t_4$  - wywołanie stacji 5 przez stację 4,  
 $t_5$  - wywołanie powrotne stacji 1 przez stację 5.



Rys. 8. Struktura kanału transmisyjnego szeregowym MIR-PROWAY  
/MK - mikrokomputer komunikacyjny, JC - jednostka centralna MK, JS - jednostka sprzęgająca MK, JK - interfejs komunikacyjny, SL - sterownik linii, WMD - wieloosobowa magistrala danych/.



Rys. 9. Model Gilberta: a/ graf dwustanowego łańcucha Markowa,  
b/ przykład ciągu stanów.