

Jerzy SOBSTEL, Andrzej WRZESIŃSKI

Instytut Automatyki
Politechniki Śląskiej

POMIARY ELEMENTOWEJ I BLOKOWEJ STOPY BŁĘDÓW W ŁĄCZACH KOMUTOWANYCH

Streszczenie. W artykule przedstawione zostały wyniki pomiarów elementowej i blokowej stopy błędów wykonanych w celu określenia przydatności komutowanych łączy telefonicznych do transmisji sygnałów telemetrycznych. Wyznaczona została dystrybuanta elementowej stopy błędów. Wyniki badań porównano z wynikami uzyskanymi w innych krajach.

Sprawne działanie systemów sterowania i zarządzania wymaga zbierania informacji pomiarowych oraz wymiany danych pomiędzy ośrodkami komputerowymi.

Do tworzenia wydzielonych sieci teleinformatyki najchętniej wykorzystywane są dzierżawione łączy telefoniczne. Opóźnienie w rozwoju sieci telekomunikacyjnej powoduje, że w wielu przypadkach nie ma technicznych możliwości dzierżawienia łączy. Coraz częściej wykorzystywane są łączy komutowane, które umożliwiają zestawienie połączeń pomiędzy dowolnymi punktami w obszarze aglomeracji, a także automatyczne nawiązywanie połączeń międzymiastowych i międzynarodowych, co umożliwia tworzenie systemów o dużym zasięgu i dużej liczbie stacji zdalnych (terminali). Przy małych ilościach przekazywanej informacji oraz rzadko nawiązywanych połączeniach zastosowanie łączy komutowanych zapewnia najniższe koszty eksploatacji.

Do wad łączy komutowanych należy długi czas nawiązywania połączenia, straty wywołań spowodowane zajętością łączy oraz większe niż w łącach trwałych zakłócenia powodujące powstawanie błędów transmisji.

Do podstawowych parametrów charakteryzujących jakość pracy systemów telemetrii, telemechaniki i transmisji danych należy wierność transmisji. Zależy ona od strumienia błędów w kanale dyskretnym oraz od metody zabezpieczenia przed błędami.

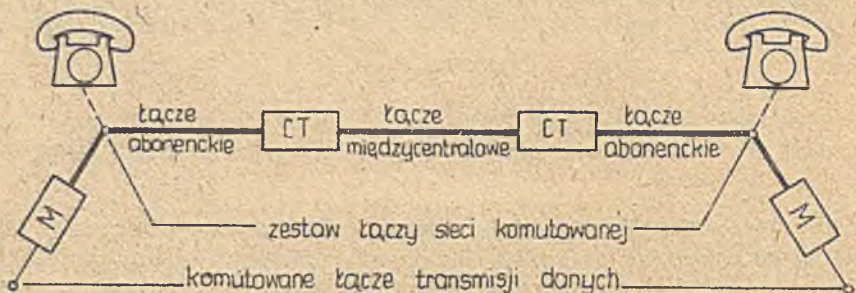
W systemie telemetryczno-alarmowym STA [10] wyniki pomiarów przesyłane są przez komutowane automatycznie łączy telefoniczne z szybkością 200 bit/s przy zastosowaniu typowych modemów transmisji danych [9].

W artykule przedstawione zostaną wyniki pomiarów elementowej stopy

błędów charakteryzujące jakość transmisji w łączach komutowanych sieci telefonicznej, która będzie wykorzystywana do przesyłania informacji w systemie STA.

Badania przydatności łączy komutowanych do transmisji danych

W sieci komutowanej sygnały elektryczne pomiędzy dwoma aparatami telefonicznymi przesyłane są poprzez zestaw łączy złożony z kilku łączy międzycentralowych i dwu łączy abonenckich, a także przez urządzenia komutujące w centralach telefonicznych (rys.1).



Rys.1. Struktura łącza transmisji danych w sieci komutowanej
M - modem, CT - centrala telefoniczna

Zastępując aparaty telefoniczne modemami transmisji danych otrzymujemy łącza dyskretne, które mogą bezpośrednio współpracować z urządzeniami końcowymi transmisji danych.

Głównym źródłem zakłóceń w łączach tego typu są urządzenia komutujące central telefonicznych [1]. Jakość transmisji zależy także od struktury i zasięgu sieci telefonicznej, rodzaju łączy i typu central telefonicznych, ich stanu technicznego itp., a więc od indywidualnych cech poszczególnych sieci. Uniemożliwia to generalną ocenę przydatności łączy komutowanych do transmisji danych, a tym samym i bezpośrednie wykorzystanie publikowanych, np. w materiałach CCITT [6], [11] rezultatów badań wykonanych w innych krajach.

Jakość transmisji w poszczególnych łączach tej samej sieci jest bardzo zróżnicowana, często różnice te są większe niż pomiędzy wartościami średnimi dla poszczególnych sieci [3].

W przypadku stosowania łączy komutowanych połączenie między dwoma

punktami jest każdorazowo wybierane z pewnego zbioru dróg połączeniowych, różniących się parametrami teletransmisyjnymi.

Metodyce badań łączy telefonicznych wykorzystywanych do transmisji danych poświęcono wiele publikacji [2],[3],[11], jednakże dotychczas nie udało się wypracować odpowiednich aktów normalizacyjnych w tym zakresie. Zalecenie CCITT formułują tylko niektóre wymagania stawiane aparaturze pomiarowej [9] oraz określają wartości dopuszczalne elementowej stopy błędów. Powoduje to dużą różnorodność programów i sposobów przeprowadzania badań, które można podzielić na:

- badania przydatności sieci do transmisji danych [4],[6],
- pomiary eksploatacyjne [3],[9],
- badania nad modelami kanałów dyskretnych [5],[7],[8],[12].

Badania przydatności są przeprowadzane przez administracje sieci i mają na celu nie tylko ocenę jakości, lecz także diagnostykę stanu sieci. Obejmują one pomiary łączy analogowych (charakterystyki amplitudowe i fazowe, szumy, krótkie przerwy i zakłócenia impulsowe) oraz pomiary łączy dyskretnych (zniekształcenia czasowe, elementową i blokową stopę błędów). Pomiary wykonywane są przy różnych szybkościach transmisji w reprezentatywnej grupie łączy danej sieci. Badania takie są bardzo kosztowne, lecz umożliwiają pełną ocenę stanu sieci i zachodzących w niej zmian.

Pomiary eksploatacyjne wykonywane są w konkretnej relacji przed oddaniem łącza do użytku lub w przypadku wykrycia uszkodzenia i obejmują zarówno parametry łącza analogowego jak i dyskretnego.

Badania nad modelami kanałów dyskretnych mają na celu znalezienie matematycznego opisu procesu powstawania błędów transmisji sygnałów dyskretnych. Prowadzone są na jednym lub na wybranej grupie łączy. W komutowanej automatycznie sieci telefonicznej, która będzie wykorzystywana przez system telemetryczno-alarmowy STA nie przeprowadzono dotychczas pełnych badań jakości transmisji. Z tego względu przyjęto, że ocena możliwości wykorzystania łączy tej sieci zostanie dokonana w dwu etapach.

W pierwszym etapie, którego rezultaty opisane zostały w dalszej części artykułu, dokonano oceny jakości transmisji w wybranej grupie łączy i przy zastosowaniu aparatury, która będzie stosowana w systemie STA.

Etap drugi, aktualnie realizowany, obejmuje prace nad modelem matematycznym kanału dyskretnego i ocenę wierności transmisji w systemie telemetrycznym.

Program badań i uzyskane rezultaty

Pomiary zostały wykonane pomiędzy punktem centralnym a dziesięcioma punktami zdalnymi. Lokalizacja punktu centralnego i punktów zdalnych odpowiadała przyszłemu rozmieszczeniu stacji systemu telemetrycznego. Dla określenia praktycznego zasięgu systemu spośród wszystkich możliwych punktów zdalnych do pomiarów wybrane zostały punkty położone w średniej i największej odległości od punktu centralnego. Informacje o przebadanych relacjach zostały umieszczone w tabeli 1.

W sieci komutowanej każde połączenie pomiędzy dwoma abonentami może być zestawione na innej drodze. Z tego względu dla każdej relacji przeprowadzono od kilkunastu do kilkudziesięciu seansów pomiarowych, co umożliwiło ocenę średnich parametrów łącza oraz rozrzutu tych parametrów.

W seansie pomiarowym były wykonywane pomiary charakterystyki tłumieniowej łącza oraz elementowej i blokowej stopy błędów. Ogółem przeprowadzono 260 seansów łączności przesyłając $7 \cdot 10^7$ bitów informacji. Badania w każdym punkcie były prowadzone przez dwa kolejne dni tygodnia pomiędzy godz. 8⁰⁰ a 20⁰⁰. Wszystkie pomiary zostały wykonane w lipcu 1977 r.

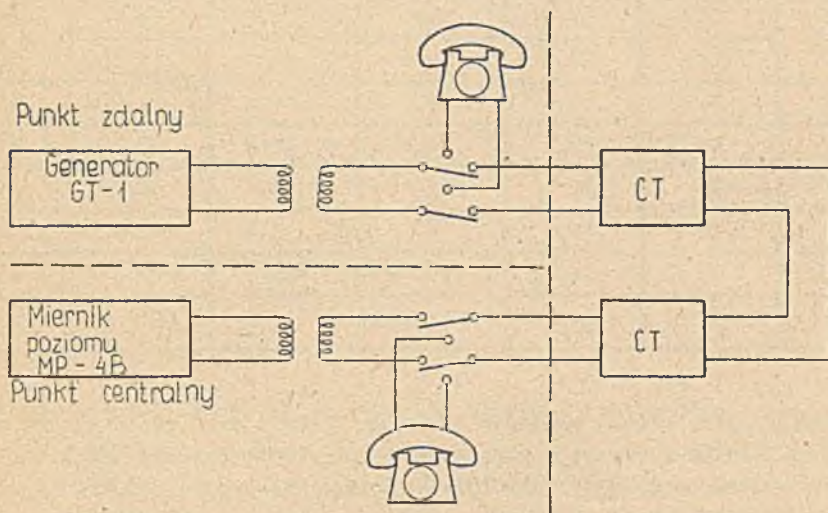
Tabela 1

Relacja	Odległość	Liczba central zestawiających połączenie	Uwagi
A	3,7 km	2	
B	7,0	2	
C	11,9	2	
D	13,0	2	
E	13,8	2	
F	29,3	3	Połączenie typu miasto-miasto
G	34,3	3	
H	37,7	2	
J	40,0	3	
K	53,6	3	Połączenie typu miasto-miasto

Pomiary tłumienności

Pomiary tłumienności wykonane zostały przy pomocy generatora trasowego GT-1 oraz miernika poziomu MP-4B. Schemat układu pomiarowego przedsta-

wiony został na rys.2. Poziom nadawczy dla wszystkich badanych częstotliwości wynosił 0 dBm. Dla poszczególnych relacji wykonanych zostało od 15 do 40 serii pomiarowych. Zaobserwowano stosunkowo duży rozrzut tłumienności w różnych połączeniach dla tej samej relacji. Odchylenie średniokwadratowe od wartości średniej wahało się w granicach od 10% do 15% wartości średniej.



Rys.2. Zestaw aparatury do pomiarów tłumienności łączy

W tabeli 2 zestawiono wartości średnie tłumienności dla poszczególnych relacji. Przy częstotliwości 2000 Hz sygnały tłumione są nie więcej niż 34 dB. W systemie telemetrycznym do przesyłania wyników pomiarów wykorzystywany jest kanał II modemu 200 bodowego, dla którego częstotliwościami znamionymi są 1650 i 1850 Hz.

Minimalny poziom odbiorczy tego modemu wynosi - 43 dBm. Można więc powiedzieć, że dla wszystkich przebadanych relacji istnieje możliwość przeprowadzenia transmisji.

Pomiary elementowej stopy błędów

Pomiary stopy błędów w kanale dyskretnym wykonane zostały zgodnie z zaleceniami CCITT [9] i przy zastosowaniu typowej aparatury. W punktach zdalnych instalowany był generator ciągu pseudoprzypadkowego typu TDMG-2A firmy TREND, natomiast w punkcie centralnym Test Set 1-4 tej samej firmy, który porównuje ciąg odbierany z linii telefonicznej z cią-

Tabela 2

Relacja	Liczba serii pomiar.	Wartości średnie tężmienności dB				
		800 Hz	1000 Hz	1400 Hz	2000 Hz	2400 Hz
A	10	8,9	9,6	11	13,5	15
B	22	15,7	16,2	17,5	19,2	20,5
C	34	13	14,5	16,7	19,7	21,3
D	19	17,8	18,7	21,9	25	26,8
E	36	10,5	10,5	10,9	11,9	12,3
F	24	18,2	19,4	20,7	22,3	24,3
G	33	22	23	26,7	28,9	32
H	15	14,6	14,7	14,8	15,8	16,3
J	32	24,26	25,78	29	33,3	35,6
K	34	14,3	14,4	14,9	15,8	17

giem wzorcowym, zlicza elementy odebrane błędnie oraz ilość bloków odebranych. Dla jednoczesnego pomiaru blokowej i elementowej stopy błędów zastosowano dodatkowo licznik PFL-16, który był wykorzystywany do zliczenia bloków odebranych błędnie. Badane sygnały przesyłane były zawsze z punktu zdalnego do centralnego zgodnie ze sposobem pracy systemu teletyrycznego.

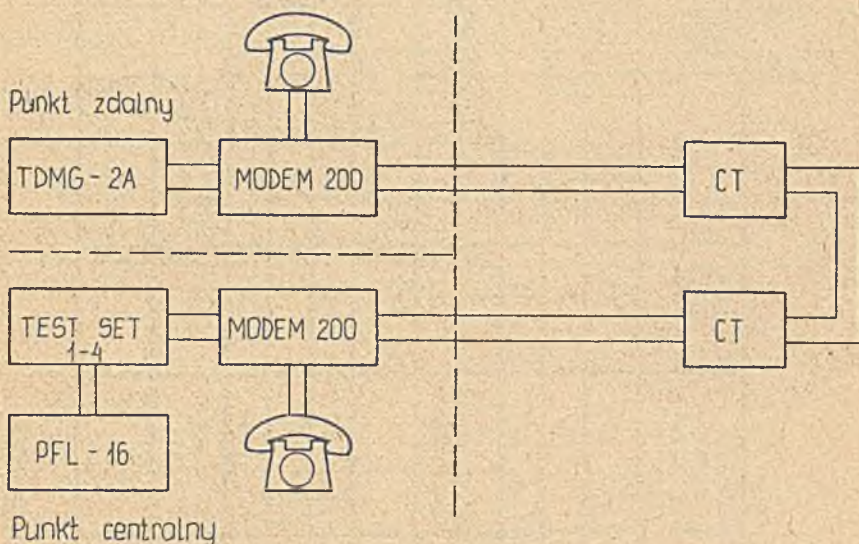
Jako urządzenia komunikacyjne transmisji danych zastosowano modemy 200-bodowe wykonane zgodnie z zaleceniem V21 CCITT [9], które będą także stosowane w systemie.

Przed przystąpieniem do badań łączy telefonicznych sprawdzono aparaturę pomiarową łącząc bezpośrednio ze sobą zestawy punktu zdalnego i centralnego, tzn. modem z modemem bez pośrednictwa linii telefonicznej. W czasie godzinnego seansu pomiarowego bezbłędnie przesłano $7,2 \cdot 10^5$ bitów informacji, co pozwala oczekiwać, że prawdopodobieństwo wprowadzenia błędu przez zestaw pomiarowy nie przekracza 10^{-5} , a więc jest o rząd mniejsze od oczekiwanego prawdopodobieństwa wystąpienia błędu w kanale.

Do badań elementowej i blokowej stopy błędów wykorzystany został 511 elementowy ciąg pseudoprzypadkowy zalecany przez CCITT. W czasie każdego seansu pomiarowego przesyłano 500 bloków tego ciągu (255500 elementów).

Elementowa stopa błędów dla każdego seansu wyznaczona została ze wzoru:

$$P_e = \frac{E_b}{B \cdot 511}$$



Rys.3. Zestaw aparatury do pomiarów blokowej i elementowej stopy błędów
 TDMG-2A - generator ciągu pseudolosowego, TEST SET 1-4 - de-
 tektor i licznik elementów błędnych, PFL-16 - licznik bloków
 błędnych

gdzie: B_p - liczba bloków odebranych z błędem.

W podobny sposób wyznaczone zostały średnie stopy błędów dla poszczególnych relacji. Wyniki pomiarów zostały umieszczone w tabeli 3. Na rys.4 przedstawiono wykres dystrybuanty elementowej stopy błędów dla wszystkich przeprowadzonych seansów łączności. Dla porównania wrysowano podobną krzywą wyznaczoną przy szybkości 200 bitów/s na podstawie pomiarów wykonanych w RFN [6].

Jakość transmisji w sieci badanej jest gorsza niż w sieci porównawczej. Wynika to między innymi stąd, że w sieci porównawczej dominują łącza nośne o lepszych charakterystykach, natomiast w sieci badanej poza połączeniami typu miasto-miasto przy dużych nawet odległościach stosowane są łącza naturalne.

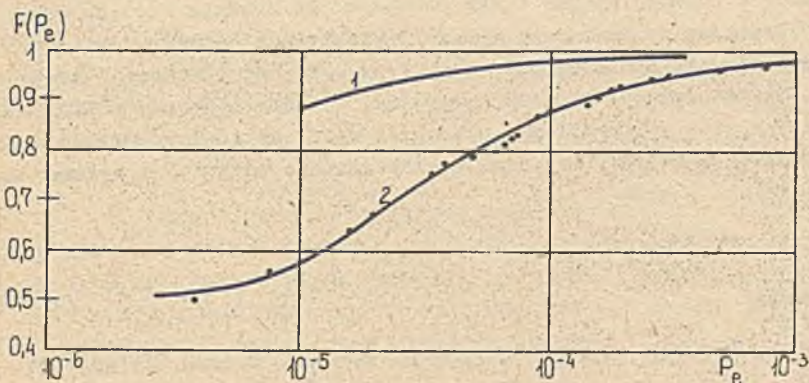
W tabeli 4 zestawione zostały wartości elementowej stopy błędów wyznaczone w ZSRR na komutowanej sieci miejskiej: [4]. Jak widać, w tym przypadku porównanie wypada na korzyść sieci badanej.

Tabela 4

Stacja zdalna	Liczba seansów łącznoś- ci	Elementowa stopa błędów	Blokowa stopa błędów	Liczba seansów bezbłęd- nych %	Liczba połączeń przerwa- nych	Uwagi	Procent połączeń $P_e < 10^{-4}$
A	10	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	60	1		100
B	22	$9,34 \cdot 10^{-6}$	$2,29 \cdot 10^{-3}$	63	1		95
C	34	$3,25 \cdot 10^{-5}$	$7,8 \cdot 10^{-3}$	35	1		91
D	19	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$3,56 \cdot 10^{-2}$	42	5		94
E	36	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$2,15 \cdot 10^{-3}$	69	2		97
F	24	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$6,83 \cdot 10^{-3}$	20	11	Łacze typu miasto-miasto	83
G	33	$1,55 \cdot 10^{-4}$	$1,42 \cdot 10^{-2}$	24	2		87
H	15	$1,12 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	33	4		66
J	32	$1,52 \cdot 10^{-4}$	$1,26 \cdot 10^{-2}$	34	5		65
K	34	$9,25 \cdot 10^{-5}$	$4,82 \cdot 10^{-3}$	73	13	Łacze typu miasto-miasto	94
Średnio		$6,7 \cdot 10^{-5}$					

Tabela 4

Długość łącza l [km]	Elementowa stopa błędów	
	wg [4]	w sieci badanej
$1 < l < 5$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
$5 < l < 10$	$5 \cdot 10^{-5}$	$9,4 \cdot 10^{-6}$
$10 < l < 20$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$



Rys.4. Dystrybuanty elementowej stopy błędów

1 - w sieci komutowanej RFT ; 2 - w sieci badanej

Wnioski

Zgodnie z zaleceniami CCITT komutowane łącza telefoniczne uważa się za przydatne do transmisji danych z szybkością 200 bitów/s, jeżeli elementarna stopa błędów w tych łączach jest nie większa niż 10^{-4} . Spośród przebadanych dziesięciu relacji jedynie w trzech najdłuższych wartość ta została nieznacznie przekroczona. Można więc stwierdzić, że transmisja danych pomiędzy abonentami badanej sieci jest możliwa, a tym samym możliwe jest przesyłanie informacji telemetrycznych.

Średnia wartość elementowej stopy błędów we wszystkich przebadanych

relacjach zależy od długości łączy, co wskazuje na konieczność uzależnienia zasięgu systemu transmisji danych od wymaganej wiarygodności transmisji. Jeżeli za wartość dopuszczalną przyjmiemy $P_e = 10^{-4}$, to odległość pomiędzy abonentami węzła telekomunikacyjnego nie powinna przekraczać 30 km. Warunek ten nie obejmuje połączeń typu miasto-miasto.

Dla każdej relacji przeprowadzono szereg seansów pomiarowych, w których zaobserwowano znaczny rozrzut wartości elementowej stopy błędów. Jest to spowodowane grupowaniem się błędów transmisji w paczki i serie, a także różnicami pomiędzy jakością poszczególnych łączy w tej samej relacji. Na ogół wyższa stopa błędów towarzyszyła większej od średniej tłumienności łączy, co wskazuje na możliwość wykorzystania pomiarów tłumienności do prognozowania jakości zestawionego połączenia jeszcze przed rozpoczęciem transmisji.

Grupowanie się błędów transmisji w paczki, a także zróżnicowanie jakości łączy w badanej wiązce łączy powoduje, że średnia wartość stopy błędów wyznaczana na podstawie serii 15-minutowych seansów pomiarowych słabo charakteryzuje rzeczywisty stan łączy. Więcej informacji można uzyskać określając procent seansów łączności, w których zadany poziom stopy błędów nie został przekroczony, natomiast wybór optymalnej metody kodowania informacji jest możliwy jedynie na podstawie znajomości pełnego modelu występowania błędów.

Literatura

- [1] Szwareman B.O.: Kanały pieredaczi danych. Moskwa, Swiaz, 1970
- [2] Jackowski S., Rykaczewski R.: Modele binarnych kanałów transmisji danych. Biuletyn WAT, 1976, nr 2
- [3] Lubacz J.: Analiza ciągów błędów i zakłóceń transmisyjnych z punktu widzenia statystycznych metod oceny przydatności łączy do transmisji danych. Praca doktorska. Politechnika Warszawska. Warszawa 1976.
- [4] Borobieszow E.N., Jemielianow G.A.: Koczestwo pieredaczi dyskretnej informacji po liniach GTS. Elektroswiaz 1975, nr 1
- [5] Statistika oszibok pri pieredacze cifrowoj informaczi. Zbiór przekładów z języka angielskiego pod red.S.J.Samojlenko, Moskwa 1966
- [6] Badania powszechniej telefonicznej sieci komutacyjnej z uwagi na jej przydatność do transmisji danych. COITT. Księga Zielona, tom VIII, Supplement 1. WKiŁ, Warszawa 1973
- [7] Błoch H.J., Popow C.W., Turin W.J.: Modeli istocznika oszibok w kanałach pieredaczi cifrowoj informaczi. Swiaz, Moskwa 1971

- [8] Turin W. Ja : Pieriedacza informacji po kanałach s pamiatu. Swiaz, Moskwa 1977
- [9] Zalecenia CCITT. Księga Zielona. Tom VIII, Transmisja danych. WKiŁ, Warszawa 1973
- [10] Sobstel J.: System telemetryczny na komutowanych łączach telefonicznych. Zeszyty Naukowe Pol.Śl., Automatyka z.48, 1979.
- [11] Fijałkowski W.: Badania przydatności łącz telefonicznych do transmisji danych. Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw SWP. Teleinformatyka z.B. Warszawa 1975
- [12] Kanal L., Sastry A.: Models for channels with memory and their applications to error control. Proceedings of the IEEE, vol.66, No 7, 1978

ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ОШИБОК ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО КОММУТИРУЕМЫМ ЛИНИЯМ ТЕЛЕФОННЫХ СЕТЕЙ

Резюме

В статье описаны результаты измерений частоты ошибок передачи данных проведенных с целью определения пригодности коммутируемых телефонных линии к передаче телеметрических сигналов. Определена функция распределения ошибок передачи. Результаты измерений сравнено с результатами полученными в других странах.

THE MEASUREMENTS OF THE BIT ERROR RATE AND THE BLOCK ERROR RATE OF THE SWITCHED TELEPHONE NETWORK

Summary

The paper contains results of the measurements of the error rate and the block error rate perfamed in order to determining the capabilities of the switched telephone network for data transmission. Bit error rate distribution function has been determined. The results presented in the paper are discussed and aompared to the results obtained in the other countries.