

Kazimierz MIŚKIEWICZ, Antoni WOJACZEK
Politechnika Śląska, Gliwice

WŁAŚCIWOŚCI TRANSMISYJNE ZESPOŁU SEPARACJI ISKROBEZPIECZNEJ TBI 2

Streszczenie. Istotnym elementem iskrobezpiecznych systemów łączności telefonicznej ogólnozakładowej jest zespół separacji iskrobezpiecznej. W systemie łączności telefonicznej i alarmowej typu HETMAN zastosowano zespół separacji iskrobezpiecznej TBI 2. W referacie przedstawiono budowę zespołu TBI 2 (teletransmisyjna bariera iskrobezpieczna) oraz wyniki pomiarów jego parametrów transmisyjnych.

TRANSMISSION PROPERTIES OF INTRINSICALLY SAFE BARRIER TBI 2

Summary. Telephone communication systems in methane mines requires to use intrinsically safe barriers. In the telephone and alarm-dispatch-broadcast communication system HETMAN intrinsically safe barrier of TBI 2 type is used. The paper presents a computer measuring method of transmission parameter of TBI 2 barrier as well as some results of measurements.

1. Wstęp

W kopalniach metanowych ze względu na zagrożenie wybuchem metanu niezbędne jest stosowanie iskrobezpiecznych systemów łączności telefonicznej i alarmowo-rozgłoszeniowej. Istotnym elementem takich systemów jest zespół separacji iskrobezpiecznej (bariera). Zespół ten spełnia następujące funkcje:

- zasila dołowy iskrobezpieczny telefon lub telefon sygnalizator z zachowaniem separacji galwanicznej oraz innych warunków iskrobezpieczeństwa,
- transmituje sygnał rozmowy telefonicznej w obie strony z zachowaniem separacji iskrobezpiecznej,
- pośredniczy w wymianie sygnalizacji pomiędzy telefonem i centralą telefoniczną.

Obecnie istnieją trzy zasadnicze rozwiązania zespołów separacji iskrobezpiecznej w układach łączności fonicznej:

- zespół ZSD-4 i jego odmiany (np. zespoły ZSB, LPI) – rozwiązanie firmy TELVIS [4, 7],
- zespół AUI – rozwiązanie firmy TELKOM-TELOS [6],
- zespół TBI 2 – rozwiązanie firmy COMONET [14, 15].

W rozwiązaniu firmy TELVIS sygnał rozmówny jest transmitowany w obie strony poprzez przetwornicę zasilającą, a tłumienie (wnoszone głównie przez tę przetwornicę) jest kompensowane przez wzmacniak zawierający 2 wzmacniacze i 2 układy rozgałęźne. Dla separacji sygnałów sterujących zastosowano transoptory. W rozwiązaniu firmy TELKOM-TELOS dla kompensacji tłumienia zastosowano odłumik (element o ujemnej rezystancji).

W rozwiązaniu firmy COMONET (teletransmisyjna bariera iskrobezpieczna TBI 2) dla separacji sygnałów rozmównych oraz sygnalizacji zastosowano sprzężenie pojemnościowe. Dla pomiarów parametrów transmisyjnych zespołów separacji iskrobezpiecznej TBI 2 wykorzystano zmodyfikowany tester (opracowany wspólnie z firmą TELVIS [8]), którym badano poprzednie bariery.

2. Budowa i zasada działania bariery TBI 2

Bariera TBI 2 jest zasilana napięciem stałym 48V ($\pm 20\%$) i posiada 2 przyłącza telefoniczne:

- centralowe (nieiskrobezpieczne) podłączane do serwera dyspozytorsko-alarmowego SDA HETMAN (centrali telefonicznej),
- abonenckie (iskrobezpieczne) przewidziane do połączenia telefonu sygnalizatora JANTAR 2 za pośrednictwem pary w iskrobezpiecznej telekomunikacyjnej sieci kablowej.

Głównymi elementami bariery TBI 2 są:

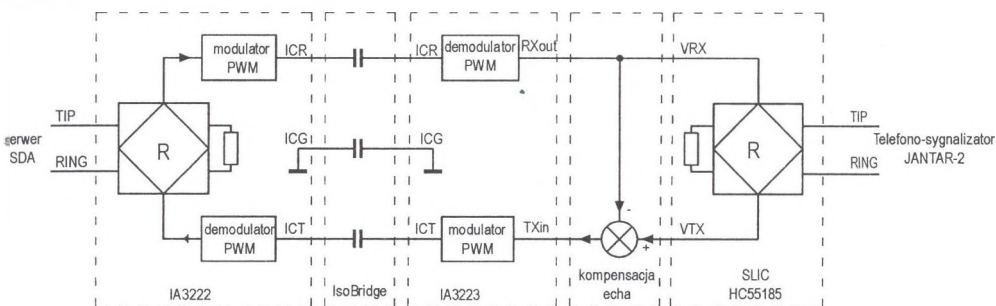
- interfejs liniowy SLIC (Subscriber Line Interface Circuit – HC55185) [1],
- chipset DAA (Direct Access Arrangement) zawierający parę układów scalonych IA3131 oraz IA322 [2],
- mikrokontroler,
- układ ochronny zapewniający iskrobezpieczeństwo przyłącza telefonicznego bariery,

- przetwornice z separacją galwaniczną wytwarzające odpowiednie napięcia zasilające dla układów elektroniki bariery.

W barierze TBI 2 od strony przyłącza centralowego zastosowano sprzężenie pojemnościowe, wykorzystując parę specjalizowanych układów scalonych IA3222 oraz IA3223 firmy INTEGRATION. Układy IA3222 oraz IA3223 są sprzężone trzema kondensatorami (o pojemności około 0,7 pF) wykonanymi na płycie drukowanej w postaci dysków o średnicy około 3 – 5 mm.

Układ scalony IA3222 jest umieszczony po stronie przyłącza centralowego (od strony serwera SDA HETMAN) i nie wymaga odrębnego zasilania. Zawiera układ rozgałęźny. Impedancja odniesienia układu rozgałęźnego (równoważnik) jest ustawiana programowo [2].

Przekazywanie sygnałów przez kondensatory sprzęgające zależy od stanu pracy przyłącza centralowego [13]. W stanie spoczynkowym telefonu sygnalizatora JANTAR (on hook) sygnały przekazywane są jako częstotliwość z zastosowaniem przetworników U/f oraz f/U. W stanie rozmowy (off hook) sygnały akustyczne w obie strony są przekazywane z wykorzystaniem modulacji szerokości impulsów (PWM). Sygnał analogowy z przyłącza centralowego po przetworzeniu na sygnał PWM jest transmitowany przez pojemności sprzęgające do układu scalonego IA3223, gdzie podlega przetworzeniu na sygnał analogowy i jest podawany na wyjście RXout. Sygnał analogowy z wejścia TXin układu IA3223 po przetworzeniu (do postaci PWM) przez pojemności sprzęgające jest przekazywany do układu scalonego IA3222, gdzie podlega przetworzeniu na sygnał analogowy i jest podawany do przyłącza centralowego bariery.



Rys. 1. Schemat blokowy bariery TBI 2 dla transmisji sygnałów akustycznych

Fig. 1. Block diagram of the TBI 2 barrier for transmission of acoustic signal

Od strony przyłącza abonenckiego zastosowano abonencki interfejs liniowy SLIC HC55185. Interfejs liniowy SLIC umożliwia realizację układu rozgałęźnego. Wejście VRX układu SLIC jest połączone z wyjściem RXout układu IA3223, a wejście VTX z wyjściem TXin układu IA3223. Między układem SLIC a IA3223 realizowana jest dodatkowa korekcja

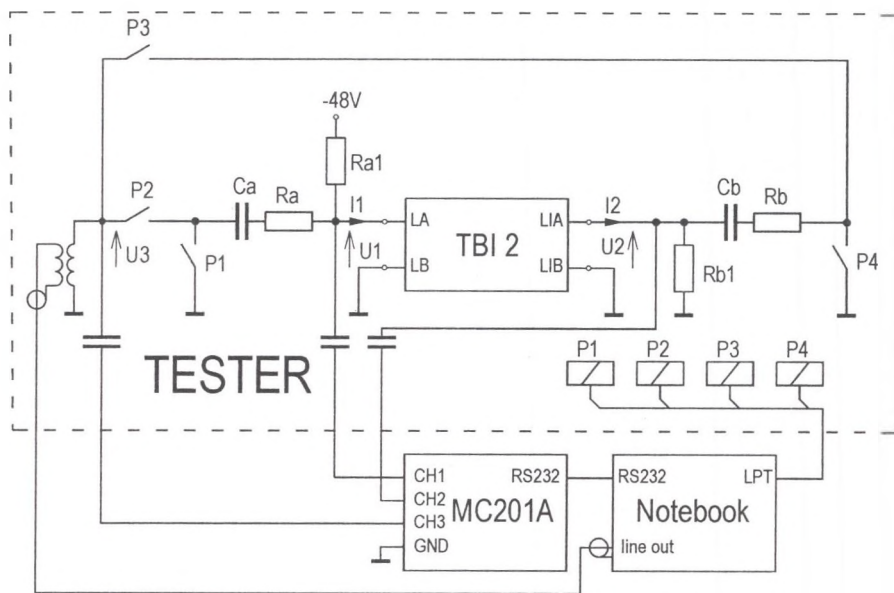
echa wynikająca z niedopasowania układu SLIC (wraz z układem ochronnym) do impedancji wejściowej pary w kablu telekomunikacyjnym [12].

Schemat blokowy bariery TBI 2 dla sygnałów rozmownych pokazano na rys. 2.

3. Zasada pomiaru charakterystyk transmisyjnych bariery TBI 2

Bariera TBI 2 została potraktowana jako czwórnik z dwoma parami zacisków: przyłącze centralowe oraz przyłącze telefoniczne. Schemat układu do pomiaru parametrów transmisyjnych bariery pokazano na rys. 2.

Źródłem sygnału testowego była karta dźwiękowa komputera. Mierzono napięcia U_1 , U_2 , U_3 za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego MC201A. Konfiguracja układu pomiarowego była ustawiana stykami przełączników P1, P2, P3, P4. Przełączniki były sterowane z portu równoległego (LPT) komputera.



Rys. 2. Schemat blokowy testera do badania parametrów transmisyjnych bariery TBI 2

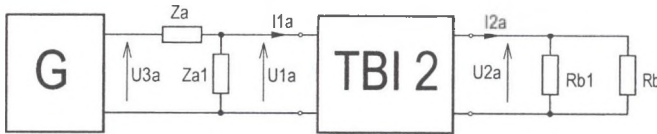
Fig. 2. Block diagram of tester for measurements of the TBI 2 barrier transmission parameters

Napięcia i prądy (jako spadki napięć na odpowiednich impedancjach) mierzono dla dwóch kierunków transmisji sygnału testowego:

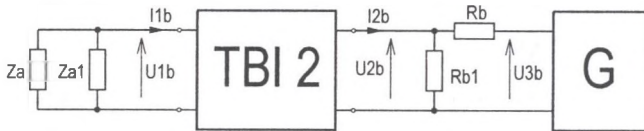
- od strony nieiskrobezpiecznej do iskrobezpiecznej – konfiguracja „a” (zamknięte styki przełączników P2, P4); kierunek umownie nazwany „centrala-telefon”,

- od strony iskrobezpiecznej do nieiskrobezpiecznej – konfiguracja „b” (zamknięte styki przekaźników P1, P3); kierunek umownie nazwany „telefon - centrala”.

Rezystor Ra1 przyłączony do napięcia –48V otwiera napięcie stałe obecne w obwodzie abonenckim centrali i realizuje zasilanie układu scalonego IA3222, natomiast rezystor Rb1 jest niezbędny do obciążenia wyjścia iskrobezpiecznego bariery prądem stałym. Na rys. 3 i 4 przedstawiono schematy zastępcze układu pomiarowego dla obu kierunków transmisji.



Rys. 3. Schemat zastępczy układu do pomiaru parametrów bariery dla kierunku centrala – telefon
 Fig. 3. Equivalent diagram of measurements systems for transmission from PABX to telephone



Rys. 4. Schemat zastępczy układu do pomiaru parametrów bariery dla kierunku telefon – centrala
 Fig. 4. Equivalent diagram of measurements systems for transmission from telephone to PABX

Dla obu konfiguracji pomiarowych równania łańcuchowe czwórnika mają postać:

$$\begin{bmatrix} U1a \\ I1a \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} U2a \\ I2a \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} U1b \\ I1b \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} U2b \\ I2b \end{bmatrix} \qquad (1)$$

Dzieląc zależności (1) odpowiednio przez U1a oraz U1b, otrzymamy:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{I1a} \\ \frac{1}{U1a} \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} \frac{U2a}{I2a} \\ \frac{U1a}{U1a} \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} \frac{1}{I1b} \\ \frac{1}{U1b} \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} \frac{U2b}{I2b} \\ \frac{U1b}{U1b} \end{bmatrix} \qquad (2)$$

Zależności (2) można napisać wspólnie w postaci:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{I1a} & \frac{1}{I1b} \\ \frac{1}{U1a} & \frac{1}{U1b} \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} \frac{U2a}{I2a} & \frac{U2b}{I2b} \\ \frac{U1a}{U1a} & \frac{U1b}{U1b} \end{bmatrix} \qquad (3)$$

Zależność (3) pozwala obliczyć macierz łańcuchową A czwórnika w następujący sposób:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{1}{I1a} & \frac{1}{I1b} \\ \frac{1}{U1a} & \frac{1}{U1b} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{U2a}{I2a} & \frac{U2b}{I2b} \\ \frac{U1a}{U1a} & \frac{U1b}{U1b} \end{bmatrix}^{-1} \qquad (4)$$

Prądy I1 i I2 w obu konfiguracjach pomiarowych (rys. 3 i 4) można obliczyć z zależności:

$$I_{1a} = \frac{U_{3a} - U_{1a}}{Z_a} - \frac{U_{1a}}{Z_{a1}} \quad I_{1b} = -\frac{U_{1b}}{Z_a} - \frac{U_{1b}}{Z_{a1}} \quad I_{2a} = \frac{U_{1a}}{R_b} + \frac{U_{1a}}{R_{b1}} \quad I_{2b} = +\frac{U_{2b}}{R_{b1}} + \frac{U_{2b} - U_{3b}}{R_b} \quad (5)$$

Wprowadźmy następujące oznaczenia odpowiednich stosunków napięć:

$$M_{12a} = \frac{U_{2a}}{U_{1a}} \quad M_{13a} = \frac{U_{3a}}{U_{1a}} \quad M_{12b} = \frac{U_{2b}}{U_{1b}} \quad M_{13b} = \frac{U_{3b}}{U_{1b}} \quad (6)$$

Podstawiając (5) i (6) do (4), otrzymamy zależność pozwalającą na obliczenie macierzy łańcuchowej:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ M_{13a} - 1 & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M_{12a} & & & \\ M_{12a} + M_{12a} & & & \\ & M_{12b} - M_{13b} & & \\ & & M_{12b} & \end{bmatrix}^{-1} \quad (7)$$

Karta dźwiękowa komputera przesyła do testera sygnały sinusoidalne o różnych częstotliwościach. Napięcia U_1 , U_2 , U_3 były rejestrowane za pośrednictwem przetwornika analogowo-cyfrowego MC201A. Zarejestrowane napięcia były poddawane szybkiej transformacji Fouriera, co pozwoliło na obliczenie amplitudy i fazy napięć U_1 , U_2 , U_3 .

Moduły i fazy napięć U_1 , U_2 , U_3 dla różnych częstotliwości pozwoliły na obliczenie charakterystyk częstotliwościowych macierzy łańcuchowej bariery wg zależności (7). Charakterystyki częstotliwościowe macierzy łańcuchowej A umożliwiły obliczenie różnego rodzaju wzmocnień w dowolnych konfiguracjach pracy.

Obliczono następujące rodzaje wzmocnień (jako tłumienności ze znakiem przeciwnym [11]):

- ♦ wzmocnienie skuteczne Wsk oraz napięciowe wzmocnienie skuteczne $Wsku$ dla kierunku transmisji centrala – telefon,
- ♦ wzmocnienie skuteczne $Wskr$ oraz napięciowe wzmocnienie skuteczne $Wskru$ dla kierunku transmisji telefon – centrala.

Dla kierunku centrala – telefon wzmocnienia obliczono z zależności:

$$Wsku = 20 \lg \left| \frac{U_2}{0.5E} \right| = -20 \lg \left[0.5 \cdot \left(A_{11} + \frac{A_{12}}{Z_b} + A_{21} \cdot Z_a + A_{22} \frac{Z_a}{Z_b} \right) \right] \quad (8)$$

$$Wsk = Wsku - 10 \lg \left(\frac{Z_b}{Z_a} \right) \quad (9)$$

gdzie: Z_a , Z_b impedancje wg rys. 5a.

Dla kierunku *centrala – telefon* wzmocnienia obliczono z zależności:

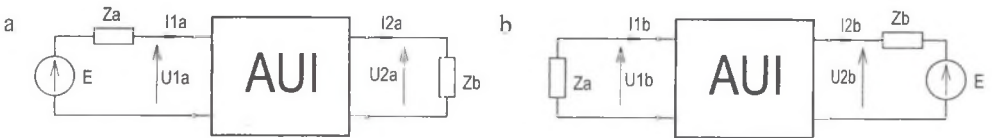
$$Wskru = 20 \lg \left| \frac{U_{1b}}{0.5E} \right| = -20 \lg \left[0.5 \cdot \left(A_{11r} - \frac{A_{12r}}{Z_a} - A_{21r} \cdot Z_b + A_{22r} \frac{Z_b}{Z_a} \right) \right] \quad (10)$$

$$Wskr = Wskru - 10 \lg \left(\frac{Za}{Zb} \right) \tag{11}$$

gdzie:

Za, Zb – impedancje wg rys. 5b,

$[Ar] = [A]^{-1}$ macierz łańcuchowa bariery dla przeciwnego kierunku transmisji.



Rys. 5. Schemat blokowy dla obliczenia tłumienności skutecznej: a – dla transmisji *centrala – telefon*, b – dla transmisji *telefon – centrala*

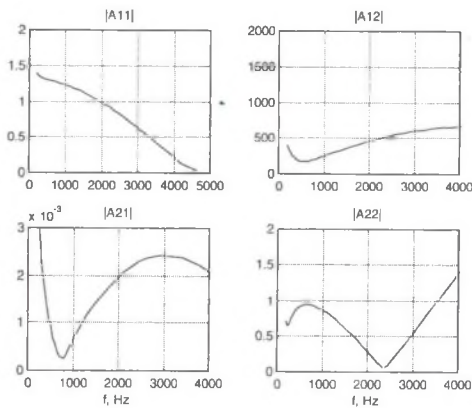
Fig. 5. Block diagram for effective attenuation calculation: a – for transmission from PABX to telephone, b – from telephone to PABX

Istotnym parametrem bariery jest przekładnia energetyczna pe obliczana z zależności:

$$pe = \det(A) \tag{12}$$

Dla czwórników biernych $pe=1$ i wtedy czwórnik posiada jednakowe zdolności do przekazywania sygnału w obu kierunkach. W przypadku $pe \neq 1$ jeden z kierunków transmisji jest bardziej uprzywilejowany i posiada większą zdolność przekazywania sygnału.

4. Wyniki pomiarów



Rys. 6. Charakterystyki częstotliwościowe modułów elementów macierzy łańcuchowej
Fig. 6. Frequency characteristics of chain matrix elements

Na rys. 6 pokazano obliczone charakterystyki częstotliwościowe modułu elementów macierzy łańcuchowej bariery TBI 2. Następnie dokonano identyfikacji elementów macierzy łańcuchowej w postaci transmitancji (funkcji wymiernej zmiennej zespolonej s). Identyfikację

przeprowadzono metodą częstotliwościową, wykorzystując procedurę ELIS dla zadanego stopnia licznika i mianownika transmitancji [3]. Otrzymane transmitancje (pokazane w tabeli 1) są niestabilne (bieguny w prawej półpłaszczyźnie płaszczyzny Gaussa). Elementy macierzy łańcuchowej można traktować jako transmitancje bariery w pewnych szczególnych warunkach pracy (stan zwarcia lub rozwarcia), które nie występują w warunkach roboczych (przy podłączeniu centrali telefonicznej i telefonu sygnalizatora JANTAR 2). Znajomość transmitancji elementów macierzy łańcuchowej pozwala na obliczenie dowolnych parametrów transmisyjnych bariery w dowolnych warunkach pracy.

Tabela 1

Transmitancje macierzy łańcuchowej bariery TBI 2

Elementy macierzy łańcuchowej bariery TBI 2	Zera (rad·Hz):	Bieguny(rad·Hz):
$A11(s) = \frac{2.26 \cdot 10^{-12} s^3 - 7.89 \cdot 10^{-11} s^2 + 1.81 \cdot 10^{-3} s + 1}{4.57 \cdot 10^{-13} s^3 - 2.26 \cdot 10^{-8} s^2 + 1.38 \cdot 10^{-3} s}$	+292+28300j +292-28300j -550	+0 +85200* -35600
$A12(s) = \frac{2.03 \cdot 10^{-12} s^3 - 4.85 \cdot 10^{-8} s^2 - 3.88 \cdot 10^{-4} s + 1}{5.13 \cdot 10^{-16} s^3 - 1.81 \cdot 10^{-10} s^2 - 2.23 \cdot 10^{-6} s}$	-46000 +2190+2430j +2190-2430j	+0 +248000* -17555
$A21(s) = \frac{3.31 \cdot 10^{-15} s^4 - 7.61 \cdot 10^{-13} s^3 + 4.72 \cdot 10^{-8} s^2 - 1.06 \cdot 10^{-4} s + 1}{-1.68 \cdot 10^{-14} s^4 + 1.88 \cdot 10^{-10} s^3 - 4.56 \cdot 10^{-6} s^2 - 1.98 \cdot 10^{-1} s}$	+10500+j35400 +10500-35400j +1000+4600j +1000-4600j	+0 +13800+23000j* +13800-23000j* -16300
$A22(s) = \frac{2.59 \cdot 10^{-13} s^4 - 3.97 \cdot 10^{-12} s^3 + 5.76 \cdot 10^{-7} s^2 - 4.72 \cdot 10^{-4} s + 1}{3.31 \cdot 10^{-16} s^4 - 1.16 \cdot 10^{-11} s^3 - 5.03 \cdot 10^{-7} s^2 + 1.44 \cdot 10^{-4} s}$	+354+14800j +354-14800j +411+1260j +411-1260j	0 +60200* -25400 +284*

* - niestabilny biegun transmitancji

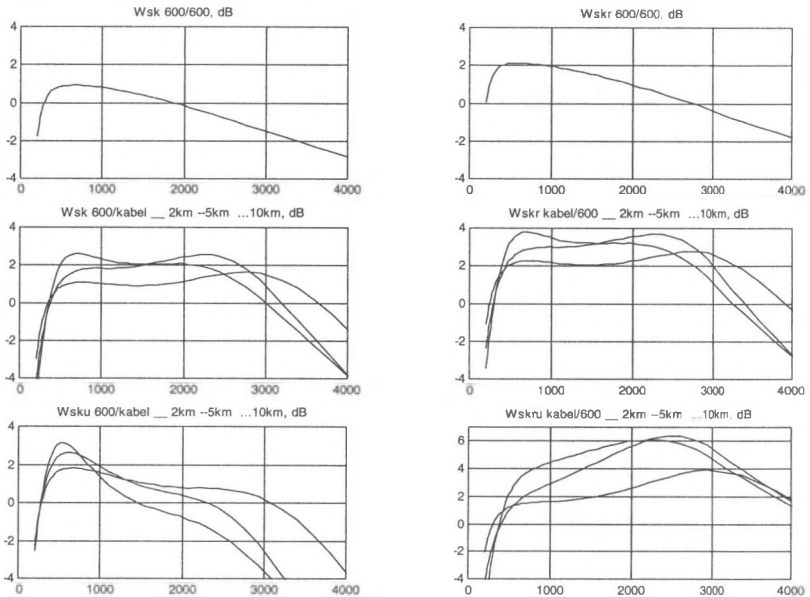
Obliczono wzmocnienie skuteczne oraz napięciowe wzmocnienie skuteczne w obu kierunkach w następujących warunkach pracy:

- ♦ obciążenie bariery rezystancją 600 Ω z obu stron,
- ♦ obciążenie bariery od strony centrali telefonicznej, a od strony telefonu impedancją wejściową kabla telekomunikacyjnego (typu TKG o średnicy żył 0,8 mm) zamkniętego na końcu rezystancją 600 Ω. Do obliczeń przyjęto kabel o TKG z żyłami o średnicy 0,8 mm i długości 2, 5, 10 km (parametry jednostkowe kabla są równe R=75 Ω/km, L=0,7 mH/km, C=55 nF/km G=0).

Wyniki obliczeń charakterystyk częstotliwościowych wzmocnień pokazano na rys. 7. Dla bariery obciążonej rezystorami o rezystancjach 600 Ω charakterystyki wzmocnienia skutecznego w obu kierunkach mają podobny kształt, z tym że dla kierunku *telefon – centrala* wzmocnienie jest około 1 dB większe. W przypadku obciążenia przyłącza iskrobezpiecznego kablem TKG (zamkniętym na końcu rezystorem o rezystancji 600 Ω) kształt charakterystyki

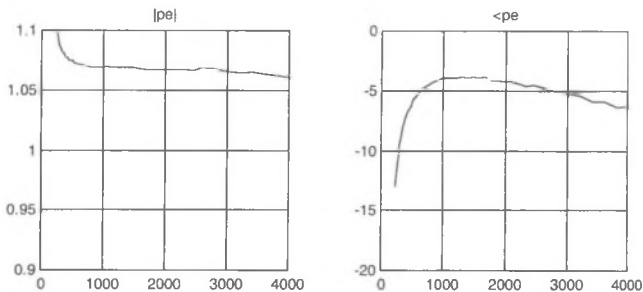
ulega zmianie. Dla wzmocnienia skutecznego jest on bardziej płaski i zależny od długości kabla. Napięciowe wzmocnienie skuteczne zależy od kierunku transmisji i dla kierunku *telefon – centrala* jest większe (osiągając wartość 6 dB). Wzmocnienie skuteczne oraz wzmocnienie napięciowe skuteczne jest w paśmie telefonicznym większe od 0 (bariera wzmacnia sygnał rozmówny w obu kierunkach).

Dokonano również identyfikacji napięciowego wzmocnienia skutecznego przy obciążeniu bariery rezystorem o rezystancji 600 Ω . Otrzymane transmitancje wraz z zerami i biegunami pokazano w tabeli 2. Otrzymane transmitancje są stabilne.



Rys. 7. Charakterystyki częstotliwościowe wzmocnienia skutecznego oraz napięciowego wzmocnienia skutecznego dla obu kierunków transmisji: Wsk, Wsku – kierunek centrala – telefon, Wskr, Wskru – kierunek telefon – centrala

Fig. 7. Frequency characteristics of effective amplification for the both direction of transmission



Rys. 8. Charakterystyki częstotliwościowe modułu i argumentu przekładni energetycznej bariery TBI 2

Fig. 8. Frequency characteristics of energy ratio of TBI 2 barrier

Tabela 2

Transmitancje wzmocnienia skutecznego bariery TBI 2 dla obciążenia 600 Ω

	Zera (rad*Hz):	Bieguny (rad*Hz):
$W_{sku}(s) = \frac{1.73 \cdot 10^{-8} s^2 - 7.68 \cdot 10^{-4} s + 0.66}{6.41 \cdot 10^{-13} s^3 + 4.81 \cdot 10^{-8} s^2 + 7.05 \cdot 10^{-4} s + 1}$	+43300 +880	-55900 -17600 -1580
$W_{skur}(s) = \frac{2.86 \cdot 10^{-8} s^2 - 1.19 \cdot 10^{-3} s + 0.64}{1.35 \cdot 10^{-12} s^3 + 6.95 \cdot 10^{-8} s^2 + 9.63 \cdot 10^{-4} s + 1}$	+41100 +540	-25200+4660j -25200-4660j -1130

Na rys. 8 pokazano charakterystyki częstotliwościowe modułu i argumentu przekładni energetycznej pe bariery TBI 2. Wartość pe jest nieco większa od 1 (około 1,07, co potwierdza, że wzmocnienie bariery dla kierunku *telefon-centrala* jest o około 1 dB większe od wzmocnienia dla kierunku *centrala-telefon* (przy obciążeniu bariery rezystancją 600 Ω), co widać na rys. 7.

5. Zakończenie

W referacie przedstawiono metodę pomiaru parametrów transmisyjnych bariery TBI 2 zastosowanej w systemie łączności telefonicznej i alarmowej HETMAN. Na podstawie wyników pomiarów napięć i prądów przy transmisji sygnałów w obu kierunkach wyliczono charakterystyki częstotliwościowe elementów macierzy łańcuchowej. Następnie dokonano identyfikacji elementów macierzy łańcuchowej w postaci funkcji wymiernej zmiennej zespolonej s (transmitancji). Znajomość transmitancji pozwala na obliczenie dowolnych parametrów transmisyjnych w różnych warunkach pracy oraz na badania symulacyjne współpracy bariery TBI 2 z różnymi centralami i telefonami sygnalizatorami alarmowymi. Charakterystyki częstotliwościowe elementów macierzy łańcuchowej pozwoliły na obliczenie charakterystyk częstotliwościowych wzmocnień skutecznych w obu kierunkach.

Zastosowanie w zespole separacji galwanicznej TBI 2 sprzężenia pojemnościowego (trzech kondensatorów o pojemności po około 0,7 pF zrealizowanych na płycie drukowanej jako dyski o średnicy około 5 mm po stronach laminatu) w miejsce dotychczas realizowanych sprzężeń transformatorowych zmniejszyło rozmiary bariery i stworzyło nowe możliwości w dziedzinie budowy iskrobezpiecznych torów abonenckich w podziemnych zakładach górniczych.

BIBLIOGRAFIA

1. HC55185 and IDT821068 Programmable Octal PCM CODEC. Application Note AN-347. Integrated Device Technology Inc., January 2002.
2. IA3222/IA3223 EZ DAA™ Chipset with Analog Interface. Datasheet IA3222/23-DS rev. 4.2r 0607
3. Kollar I.: Frequency Domain System Identification toolbox Users's Guide. The Match Works Inc. 1997.
4. Miśkiewicz K., Wojaczek A., Wojtas P., Czursinova A.: Iskrobezopastnyje sistemy telefonnoj sviazi. Naukovy Praci Doneckogo Derzavnogo Techniceskogo Univerisitetu. Seria Elektrotehnika i Energetika. Vypusk 67, Donieck 2003.
5. Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Pomiarы właściwości transmisyjnych zespołu separacji iskrobezpiecznej AUI. Materiały XXXV Konferencji Sekcji Cybernetyki w Górnictwie KG PAN – ATI-2007. Jaworze maj 2007.
6. Miśkiewicz K., Wojaczek A.: System telekomunikacyjny TELOS. Materiały XXXV Konferencji Sekcji Cybernetyki w Górnictwie KG PAN – ATI-2007. Jaworze maj 2007.
7. Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Identification of the intrinsically safe barrier for telephone system. Proceedings of MMM'2006 IFAC Workshop on Automation in Mining, Mineral and Metal Industry Cracow September 2006.
8. Miśkiewicz K., Wojaczek A., Kowalski A.: Pomiarы parametrów transmisyjnych zespołów separacji iskrobezpiecznej. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 9/2002.
9. Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Transmission properties of the intrinsically safe telephone systems. Proceedings of ICAMC'98. September 8-11, 1998. Tatrzńska Łonnica.
10. Miśkiewicz K.: Metoda pomiarów parametrów transmisyjnych i zakłóceniovych elementów kopalnianych sieci telekomunikacyjnych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 9-10/2000.
11. Nowicki W.: Podstawy teletransmisji. WKŁ, Warszawa 1971.
12. Spice Model Tutorial of the RSLIC18™ AC Loop. Application Note AN-9824.
13. US Patent 7031458 - Method and apparatus for isolation in a data access arrangement using analog encoded pulse signaling.
14. Wojaczek A., Miśkiewicz K., Brzeski K.: Doświadczenia z uruchomienia systemu HETMAN w KWK Wujek. Materiały XXXVI Konferencji Sekcji Cybernetyki w Górnictwie KG PAN – ATI-2008. Szczyrk, maj 2008.
15. Wojaczek A., Miśkiewicz K., Dzierżko J.: Nowe elementy systemu telekomunikacyjnego HETMAN. Materiały XXXVI Konferencji Sekcji Cybernetyki w Górnictwie KG PAN – ATI-2008. Szczyrk maj 2008.

Recenzent: Dr hab. inż. Kazimierz Jaracz, prof. AP