

Kazimierz MIŚKIEWICZ, Antoni WOJACZEK
Politechnika Śląska, Gliwice

PARAMETRY TRANSMISYJNE WZMACNIAKA W ZESPOŁACH SEPARACJI ISKROBEZPIECZNEJ

Streszczenie. Podstawowym elementem zespołów separacji iskrobezpiecznej jest przetwornica. Przetwornica tłumi transmitowane sygnały akustyczne. Dla kompensacji tłumienia zastosowano w zespole separacji iskrobezpiecznej wzmacniak. W reperaturie przedstawiono uproszczony schemat zastępczy wzmacniaka. Przeprowadzono analizę metodą potencjałów węzłowych. Uzyskano analityczne zależności pozwalające obliczyć wzmocnienie jak również elementy macierzy łańcuchowej wzmacniaka.

TRANSMISSION PARAMETERS OF REPEATERS IN INTRINSICALLY SAFE BARRIERS

Summary. The main element of intrinsically safe barrier is DC/DC converter. DC/DC converter attenuates the acoustic signals transmitted through the barrier. The repeater is used for compensation of attenuation caused by converter. The paper presents a simplified equivalent diagram of a repeater. Transmission properties of the repeater were analysed by Coltri method. The analysis gives a formulas for effective gain and elements of chain matrix of repeater.

1. Wprowadzenie

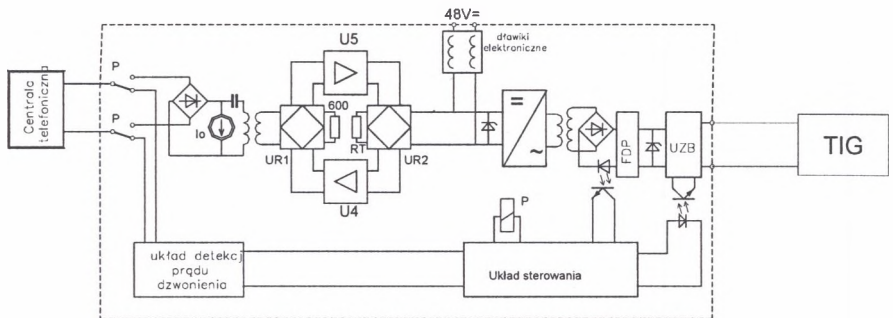
Realizacja łączności telefonicznej w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem wymaga zastosowania urządzeń budowy przeciwybuchowej. W stosowanych obecnie rozwiązaniach w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem stosuje się telefony iskrobezpieczne, sieć telekomunikacyjnych w tych pomieszczeniach wykonuje się jako iskrobezpieczną, a w pomieszczeniu bezpiecznym instaluje się centralę telefoniczną budowy zwykłej oraz zespoły

separacji iskrobezpiecznej stanowiące interfejs pomiędzy nieiskrobezpiecznym wyposażeniem abonenckim centrali a iskrobezpieczną siecią telekomunikacyjną.

Najistotniejszym elementem zespołu separacji iskrobezpiecznej jest przetwornica realizująca zarówno funkcje zasilania z uwzględnieniem wymogów iskrobezpieczeństwa, jak i transmisji sygnałów akustycznych w obu kierunkach. Badania przeprowadzone w 1998 roku [1] wykazały, że zespoły separacji iskrobezpiecznej ZSD oraz ZSD-2 wprowadzały do sieci telefonicznej tłumienie sygnału rozmównego około 5–6 dB, co odpowiada tłumieniu wnoszonemu przez linię kablową (kable typu TKG o średnicy żył 0,8 mm) długości 5–6 km. W nowszych rozwiązaniach zespołów separacji iskrobezpiecznej ZSD-3, ZSD-4 oraz rozwiązań pochodnych [8, 9] zastosowano wzmacniaki (układy wzmacniające sygnały w obu kierunkach). Wzmacniaki zawierają układy rozgałęźne, które muszą być dopasowane z jednej strony do impedancji falowej kabla telekomunikacyjnego, a z drugiej strony do impedancji wyposażenia abonenckiego centrali telefonicznej.

2. Budowa zespołu ZSD-3

Na rys. 1. przedstawiono schemat blokowy układu ZSD-3 [4].



Rys. 1. Schemat blokowy zespołu separacji iskrobezpiecznej ZSD-3

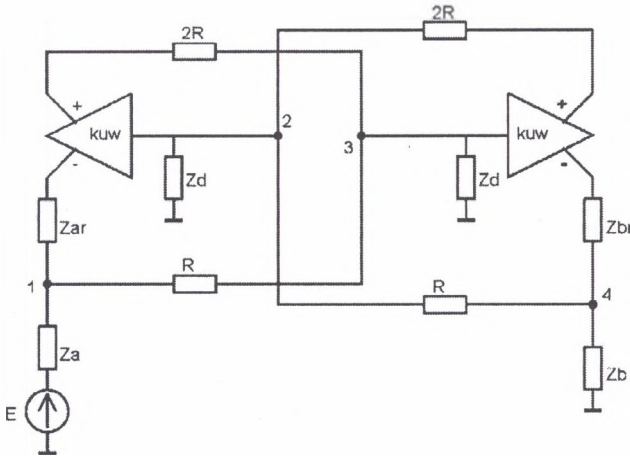
Fig. 1. Block diagram of intrinsically safe barrier ZSD-3

Zespół ZSD-3 dla transmisji sygnałów rozmównych potraktowano jako łańcuchowe połączenie czwórników, z których najistotniejsze to:

- wzmacniak (układy U4, U5, UR1, UR2),
- przetwornica.

3. Analiza wzmacniaka w zespole ZSD-3

Na rys. 2 przedstawiono schemat czterowęzłowego modelu wzmacniaka.



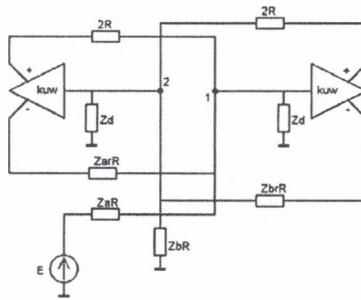
Rys. 2. Schemat zastępczy wzmacniaka dla 4 węzłów
Fig. 2. Equivalent diagram of the repeater for 4 nodes

Wzmacniak zawiera dwa wzmacniacze z wyjściem symetrycznym. Wzmocnienie wzmacniacza (wraz z obwodami wejściowymi) jest równe kuw a impedancja wejściowa Zd . Wielkości kuw i Zd są zależne od częstotliwości. Za jest impedancją wewnętrzną źródła sygnału, a Zb jest impedancją obciążenia wzmacniacza.

Dla uzyskania analitycznego obliczenia wzmocnienia wzmacniacza dokonano przekształcenia schematu w postać zawierającą 2 węzły. W schemacie z rys. 2 występują między innymi 2 gwiazdy:

- pomiędzy źródłem sygnału (sem E), ujemnym wyjściem lewego wzmacniacza, węzłem 3 – środkiem gwiazdy jest węzeł 1 (Za , Zar , R),
- pomiędzy masą, ujemnym wyjściem lewego wzmacniacza, węzłem 3 – środkiem gwiazdy jest węzeł 4 (Zb , Zbr , R).

Po przekształceniu wymienionych gwiazd na trójkąty otrzymamy schemat wzmacniacza przedstawiony na rys. 3.



Rys. 3. Zmodyfikowany schemat wzmacniaka ze zredukowaną liczbą węzłów
Fig. 3. Modified diagram of the repeater with reduced number of a nodes

Układ z rys. 3 opisano zależnością 1.

$$\begin{bmatrix} \frac{G}{2} + \frac{G \cdot (Yar + Ya)}{G + Ya + Yar} + Yd & ku \cdot G \cdot \left(\frac{Yar}{G + Ya + Yar} - \frac{1}{2} \right) \\ ku \cdot G \cdot \left(\frac{Ybr}{G + Yb + Ybr} - \frac{1}{2} \right) & \frac{G}{2} + \frac{G \cdot (Ybr + Yb)}{G + Yb + Ybr} + Yd \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V1 \\ V2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E \\ \frac{ZaR}{0} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Oznaczmy

$$ka = 1.5 - \frac{G}{Ya + Yar + G} \quad kb = 1.5 - \frac{G}{Yb + Ybr + G} \quad (2)$$

oraz dokładne współczynniki niedopasowania na obu końcach wzmacniaka

$$qa' = \frac{Yar - (Ya + G)}{Ya + Yar + G} \quad qb' = \frac{Ybr - (Yb + G)}{Yb + Ybr + G} \quad (3)$$

Zależność (1) uprości się wtedy do postaci:

$$\begin{bmatrix} ka \cdot G + Yd & 0.5 \cdot kuw \cdot G \cdot qa' \\ 0.5 \cdot kuw \cdot G \cdot qb' & kb \cdot G + Yd \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V1 \\ V2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E \cdot Ya \cdot G}{Ya + Yar + G} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Rozwiązanie równania (4) jest następujące

$$V1 = E \frac{Ya \cdot G \cdot (kb \cdot G + Yd)}{(Ya + Yar + G) \cdot ((ka \cdot G + Yd) \cdot (kb \cdot G + Yd) - 0.25 \cdot kuw^2 \cdot G^2 \cdot qa' \cdot qb')} \quad (5)$$

$$V2 = E \frac{Ya \cdot G^2 \cdot kuw \cdot qb'}{(Ya + Yar + G) \cdot ((ka \cdot G + Yd) \cdot (kb \cdot G + Yd) - 0.25 \cdot kuw^2 \cdot G^2 \cdot qa' \cdot qb')}$$

Napięcie wyjściowe wzmacniaka U_{ob} obliczono z równania metody potencjałów węzłowych gwiazdy Ya, Yar, G postępując się zależnością:

$$U_o \cdot (G + Ybr + Yb) = -V1 \cdot kuw \cdot Ybr + V2 \cdot G \quad (7)$$

Napięcie wyjściowe U_o wzmacniaka jest równe

$$U_{oa} = -E \cdot \frac{Ya \cdot G \cdot (kb \cdot G + Yd) \cdot \left(kuw \cdot Ybr - \frac{G^2 \cdot qb'}{kb \cdot G + Yb} \right)}{(Ya + Yar + G) \cdot ((ka \cdot G + Yd) \cdot (kb \cdot G + Yd) - 0.25 \cdot kuw^2 \cdot G^2 \cdot qa' \cdot qb') \cdot (Ybr + Yb + G)} \quad (8)$$

Wzmocnienie skuteczne w kierunku a-b jest równe

$$W_{skab} = \frac{U_o}{0.5E} = - \frac{2 \cdot Ya \cdot G \cdot (kb \cdot G + Yd) \cdot \left(kuw \cdot Ybr - \frac{G^2 \cdot qb'}{kb \cdot G + Yb} \right)}{(Ya + Yar + G) \cdot ((ka \cdot G + Yd) \cdot (kb \cdot G + Yd) - 0.25 \cdot kuw^2 \cdot G^2 \cdot qa' \cdot qb') \cdot (Ybr + Yb + G)} \quad (9)$$

Dla zrównoważenia na obu końcach napięciowe wzmocnienie skuteczne jest równe

$$W_{skabr} = - \frac{G \cdot kuw \cdot Ya}{(Ya + Yar + G)(ka \cdot G + Yd)(kb \cdot G + Yd)} \quad (10)$$

Dalsze uproszczenia można otrzymać przy małych przewodnościach G tzn. $G \ll Ya$, $G \ll Yb$, $G \ll Yar$, $G \ll Ybr$. Wtedy $ka=kb=1,5$ i zależność (9) i (10) uproszczą się do postaci:

$$W_{skab} = \frac{U_o}{0.5E} = - \frac{2 \cdot Ya \cdot G \cdot (1.5G + Yd) \cdot \left(kuw \cdot Ybr - \frac{G^2 \cdot qb'}{Yb} \right)}{(Ya + Yar) \cdot ((1.5G + Yd)^2 - 0.25 \cdot kuw^2 \cdot G^2 \cdot qa' \cdot qb') \cdot (Ybr + Yb)} \quad (11)$$

$$W_{skabr} = - \frac{G \cdot kuw \cdot Ya}{2 \cdot (1.5 \cdot G + Yd)} \quad (12)$$

Na zasadzie analogii wzmocnienia dla odwrotnego kierunku transmisji są równe:

– zależność dokładna:

$$W_{skba} = - \frac{2 \cdot Yb \cdot G \cdot (ka \cdot G + Yd) \cdot \left(kuw \cdot Yar - \frac{G^2 \cdot qa'}{ka \cdot G + Ya} \right)}{(Ya + Yar + G) \cdot ((ka \cdot G + Yd) \cdot (kb \cdot G + Yd) - 0.25 \cdot kuw^2 \cdot G^2 \cdot qa' \cdot qb') \cdot (Ybr + Yb + G)} \quad (13)$$

– zależność uproszczona:

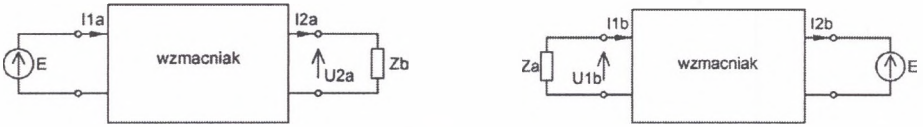
$$W_{skba} = \frac{U_o}{0.5E} = - \frac{2 \cdot Yb \cdot G \cdot (1.5G + Yd) \cdot \left(kuw \cdot Yar - \frac{G^2 \cdot qa'}{Ya} \right)}{(Ya + Yar) \cdot ((1.5G + Yd)^2 - 0.25 \cdot kuw^2 \cdot G^2 \cdot qa' \cdot qb') \cdot (Ybr + Yb)} \quad (14)$$

– zależność uproszczona w stanie zrównoważenia

$$W_{skbar} = - \frac{G \cdot kuw \cdot Yb}{2 \cdot (1.5 \cdot G + Yd)} \quad (15)$$

4. Macierz łańcuchowa wzmacniaka

Macierz łańcuchową obliczono analizując transmisję sygnału w obu kierunkach dla wzmacniaka zrównoważonego ($Ya=Yar$, $Yb=Ybr$) – rys. 4.



Rys. 4. Konfiguracje do obliczenia macierzy łańcuchowej wzmacniaka
Fig. 4. Configurations for calculation of chain matrix of the repeater

Prądy i napięcia wzmacniaka są następujące:

$$U_{1a} = E \quad I_{1a} = \frac{E}{Z_{ar}} \quad U_{2a} = W_{skabr} \cdot E \quad I_{2a} = \frac{E \cdot W_{skabr}}{Z_{br}} \quad (16)$$

$$U_{1b} = E \cdot W_{skbar} \quad I_{1b} = \frac{-E \cdot W_{skbar}}{Z_{ar}} \quad U_{2b} = E \quad I_{2b} = \frac{-E}{Z_{br}} \quad (17)$$

Postępując się metodą opisaną w [2] otrzymamy macierz łańcuchową wzmacniaka

$$\mathbf{Ad} = \begin{bmatrix} U_{1a} & U_{1b} \\ I_{1a} & I_{1b} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_{2a} & U_{2b} \\ I_{2a} & I_{2b} \end{bmatrix}^{-1} \quad (18)$$

$$\mathbf{Ad} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2W_{skabr}} + \frac{W_{skbar}}{2} & Z_{br} \left(\frac{1}{2W_{skabr}} - \frac{W_{skbar}}{2} \right) \\ \frac{1}{Z_{ar}} \cdot \left(\frac{1}{2W_{skabr}} - \frac{W_{skbar}}{2} \right) & \frac{Z_{br}}{Z_{ar}} \cdot \left(\frac{1}{2W_{skabr}} + \frac{W_{skbar}}{2} \right) \end{bmatrix} \quad (19)$$

4. Analiza stabilności wzmacniaka

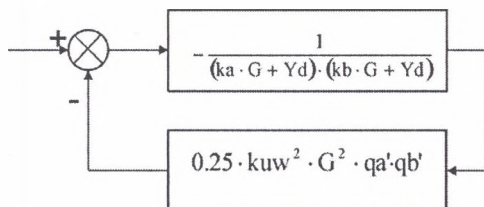
Stabilność wzmacniaka jest związana z istnieniem w jego strukturze dwóch wzmacniaczy objętych pętlą sprzężenia zwrotnego. Potraktujmy fragment zależności (4.27) jako transmitancję T pewnego układu ze sprzężeniem zwrotnym.

$$T = - \frac{1}{((ka \cdot G + Yd) \cdot (kb \cdot G + Yd) - 0.25 \cdot kuw^2 \cdot G^2 \cdot qa' \cdot qb')} \quad (20)$$

Zależność (20) można interpretować jako transmitancję układu ze sprzężeniem zwrotnym w postaci

$$T = - \frac{1}{\left(\frac{(ka \cdot G + Yd) \cdot (kb \cdot G + Yd)}{1 - \frac{1}{(ka \cdot G + Yd) \cdot (kb \cdot G + Yd)} \cdot 0.25 \cdot kuw^2 \cdot G^2 \cdot qa' \cdot qb'} \right)} \quad (21)$$

Odpowiada to schematowi blokowemu przedstawionemu na rys. 5:



Rys. 5. Schemat blokowy dla analizy stabilności wzmacniaka
Fig. 5. Block diagram for stability analysis

Dla analizy stabilności zastosowano kryterium Nyquista badając charakterystykę amplitudowo-fazową układu otwartego opisanego transmitancją (rys. 5). Dla dużych nieopasowań na wejściu i wyjściu wzmacniak był niestabilny.

Na stabilność wzmacniaka wpływają następujące czynniki:

- niedopasowanie impedancji na zaciskach pierwotnych i wtórnych wzmacniaka – czyli współczynnik niedopasowania qa' , qb' zmieniający się w przedziale $[-1, 1]$,
- wzmocnienia scalonego wzmacniacza,
- charakterystyka częstotliwościowa obwodu wejściowego wzmacniacza scalonego,
- stosunek admitancji Yd do przewodności G .

4. Zakończenie

Referat przedstawia fragment pracy [7] dotyczącej właściwości transmisyjnych zespołu separacji iskrobezpiecznej ZSD-3. Zespół ZSD-3 potraktowano jako łańcuchowe połączenie czwórników. Niektóre z czwórników są czwórnikami „elementarnymi”, których macierze są podawane w literaturze. Natomiast wzmacniak oraz przetwornica wymagały przeprowadzenia odrębnej analizy.

Analizę wzmacniaka przeprowadzono metoda potencjałów węzłowych, otrzymując rozwiązania numeryczne oraz analityczne. Przeprowadzono również wstępną analizę stabilności wzmacniaka.

Otrzymane zależności analityczne na wzmocnienie skuteczne i macierz łańcuchową wzmacniaka pozwalają na przeprowadzenie symulacji transmisji sygnałów akustycznych w sieciach zawierających iskrobezpieczne zespoły separacji iskrobezpiecznej [4].

LITERATURA

1. Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Transmission Properties of the Intrinsically Safe Telephone System. Proceedings of ICAMC'98 – 13th International Committee on Automation in Mining Conference. High Tatras Slovak Republic, September 1998.
2. Miśkiewicz K., Lobermajer A.: Stanowisko do badania parametrów transmisyjnych zespołów separacji iskrobezpiecznej. Materiały konferencji Telekomunikacja i Systemy Bezpieczeństwa w Górnictwie. KTG 2001, Kudowa Zdrój, czerwiec 2001.
3. Miśkiewicz K., Wojaczek A., Kowalski A.: Badania parametrów transmisyjnych zespołów separacji iskrobezpiecznej. Materiały Konferencji Naukowo–Technicznej pt.: Urządzenia i systemy dla technicznej restrukturyzacji przemysłu wydobywczego poprawiające bezpieczeństwo pracy w kopalniach. Ustroń 17–20 września 2002.
4. Miśkiewicz K., Wojaczek A., Wojtas P.: Systemy łączności telefonicznej w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Materiały seminarium pt. „Transmisja danych”. Beskidzki Festiwal Nauki. 12 – 15 września 2001. Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania, Bielsko 2001.
5. Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Computer testing of the intrinsically safe barrier for telephone system. Proceedings of International Carpatian Control Conference ICCS 2003.
6. Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Transmission properties of the intrinsically safe telephone system. Proceeding of XIII International Conference on Automation in Mining. High Tatras 1998.
7. Miśkiewicz K.: Pomiary i badania symulacyjne właściwości transmisyjnych zespołów separacji iskrobezpiecznej. Raport merytoryczny pracy BW/RGH-3/RG-0/2004. Gliwice, grudzień 2004. (praca niepublikowana).
8. P.U.P. Telvis: Dokumentacja techniczna nr 29.D0.1.00, Zespoły separacji iskrobezpiecznej typu ZSA4, ZSB4, ZSD4, ZSI4, ZST4, LPI, LPI-Z. Kwiecień 2004.
9. P.U.P. Telvis: Dokumentacja techniczno-ruchowa dla użytkownika nr 01.D1.3.00/U. Urządzenia telefonii iskrobezpiecznej typu UTI. Luty 2002.

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