

WAGONOWE SYSTEMY ROZGŁOSZENIOWE NOWEJ GENERACJI

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie
2. Geneza stabilizacji sygnałów akustycznych we wzmacniaczach wagonowych
3. Założenia dla wagonowych systemów rozgłoszeniowych
4. Wagonowy system rozgłoszeniowy z zastosowaniem metody stabilizacji sygnałów niskoczęstotliwościowych
5. Wyniki badań
6. Podsumowanie

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono opracowane przez autora wagonowe systemy rozgłoszeniowe nowej generacji. Stabilizację sygnałów akustycznych zapewniają — stosowane w wagonach pasażerskich w ruchu miejskim (metro), podmiejskim i dalekobieżnym — systemy rozgłoszeniowe z układami kompandorowymi. Efekty uzyskane podczas eksploatacji systemów rozgłoszeniowych zależą od stopnia przystosowania ich do realizacji określonych zadań, takich jak: przekazywanie pasażerom informacji słownych i wizualnych oraz usług telekomunikacyjnych i radiokomunikacyjnych. Współczesne wagony mają instalacje elektryczne z wmontowanymi w nie instalacjami rozgłoszeniowymi, które muszą być przystosowane do wymagań i zaleceń przepisów międzynarodowych UIC. Przedstawiono koncepcję wagonowych wzmacniaczy rozgłoszeniowych, która wyeliminowałaby wady i stała się rozwiązaniem kompromisowym. Omówiono projekty wzmacniaczy rozgłoszeniowych typu WWA-105, WWA-106 i WWA-107k, w których zastosowano metody stabilizacji sygnałów elektrycznych niskoczęstotliwościowych (akustycznych), znacznie podnoszące parametry eksploatacyjne i niezawodnościowe.

1. WPROWADZENIE

Podstawowym wymaganiem, jakie powinien spełniać transport kolejowy jest zapewnienie bezpiecznego i sprawnego przewozu ludzi i dóbr, a w tym zapewnienie wysokiego

go poziomu obsługi informacyjnej za pomocą systemów rozgłoszeniowych, stosowanych w wagonach pasażerskich w ruchu miejskim (metro), podmiejskim (np. SKM) i dalekobieżnym.

Efekty eksploatacji systemów rozgłoszeniowych zależą od stopnia przystosowania ich do realizacji określonych zadań, takich jak: przekazywanie pasażerom informacji słownych, informacji wizualnych oraz usług telekomunikacyjnych i radiokomunikacyjnych. System rozgłoszeniowy spełnia więc wymagania systemów informacyjnych. Współczesne wagony mają instalacje elektryczne z wmontowanymi w nie instalacjami rozgłoszeniowymi, które muszą być przystosowane do wymagań i zaleceń przepisów międzynarodowych UIC. Spełnienie tych wymagań oraz zaleceń umożliwia wzajemna kompatybilność instalacji, systemów i urządzeń rozgłoszeniowych.

Stosowane dotychczas na PKP urządzenia w systemach rozgłoszeniowych na ogół nie spełniają wymagań i zaleceń przepisów międzynarodowych. Do wad szczegółowych należy zaliczyć:

- dużą awaryjność występującą podczas eksploatacji,
- duże wahania poziomu sygnału wyjściowego,
- zbyt mały stosunek: sygnał/szum
- wrażliwość na zmiany sygnałów: wejściowego i napięć zasilających,
- wrażliwość systemu rozgłoszeniowego na dobór przetworników elektromechanicznych, mikrofonów i głośników (stanowisko rozgłoszeniowe, stanowisko centralne oraz samo wyposażenie wzmacniacza),
- zniekształcenia nieliniowe,
- nieczytelność komunikatów i audycji,
- brak informacji dla ludzi niepełnosprawnych,
- utrudniona współpraca systemów rozgłoszeniowych w taborze o różnych napięciach zasilających, występująca wówczas, gdy pociąg zestawiony jest z wagonów różnych Zarządów Kolejowych,
- brak systemów diagnostycznych.

Ponadto wahania parametrów sygnałów wejściowych, a także dystans źródła sygnału od odbiornika powodują, że sygnał akustyczny przetworzony na sygnał elektryczny i ponownie na akustyczny jest niskiej jakości.

Sytuacja ta spowodowała konieczność podjęcia badań dotyczących opracowania takiej konstrukcji systemów rozgłoszeniowych, których parametry wyjściowe nie podlegałyby niepożądanym zmianom. Przy opracowywaniu tych systemów należy uwzględnić również możliwość zminimalizowania zniekształceń nieliniowych i odporność na zakłócenia, zwłaszcza na zmiany napięcia zasilającego.

Ważną rolę odgrywają tu eksploatacyjne systemy diagnostyczne, wykonujące szybką ocenę zdatości systemów rozgłoszeniowych, poprzez ocenę wybranych parametrów eksploatacyjno-niezawodnościowych.

Wydaje się więc zasadne podjęcie badań nad opracowaniem takiego sposobu przetwarzania (obróbki) sygnałów wejściowych, pochodzących z mikrofonów, wagonowych stanowisk rozgłoszeniowych lub stanowisk centralnych, który spowoduje, że sygnał wyjściowy po przetworzeniu będzie charakteryzował się właściwymi parametrami eksploatacyjnymi, między innymi:

- stałym poziomem sygnału wyjściowego,
- małym zniekształceniem nieliniowym,
- dużym stosunkiem sygnał/szum.

Są to parametry zgodne z zaleceniami i wymaganiami Kart UIC (przepisy Międzynarodowego Związku Kolei dotyczące zradiofonizowanych wagonów RIC).

2. GENEZA STABILIZACJI SYGNAŁÓW AKUSTYCZNYCH WE WZMACNIACZACH WAGONOWYCH

Opierając się na powyższych rozważaniach opracowano koncepcję wagonowych wzmacniaczy rozgłoszeniowych, która eliminowałaby uchybienia oraz wady i stałaby się rozwiązaniem kompromisowym. Powstały koncepcje wzmacniaczy rozgłoszeniowych typu WWA-105, WWA-106 i WWA-107k, w których zastosowano metody i sposoby stabilizacji sygnałów elektrycznych niskoczęstotliwościowych (akustycznych), znacznie podnoszące parametry eksploatacyjne i niezawodnościowe tych wzmacniaczy.

Przyjęto podstawową zasadę, że zastosowany układ stabilizacji musi mieć możliwość pracy w trzech opcjach:

- a) jako kompresor,
- b) jako ekspandor,
- c) z zastosowaniem Automatycznej Regulacji Wzmocnienia (ARW) lub Automatycznej Regulacji Poziomu (ARP),

a więc dobrym rozwiązaniem jest wykorzystanie układów komparatorowych.

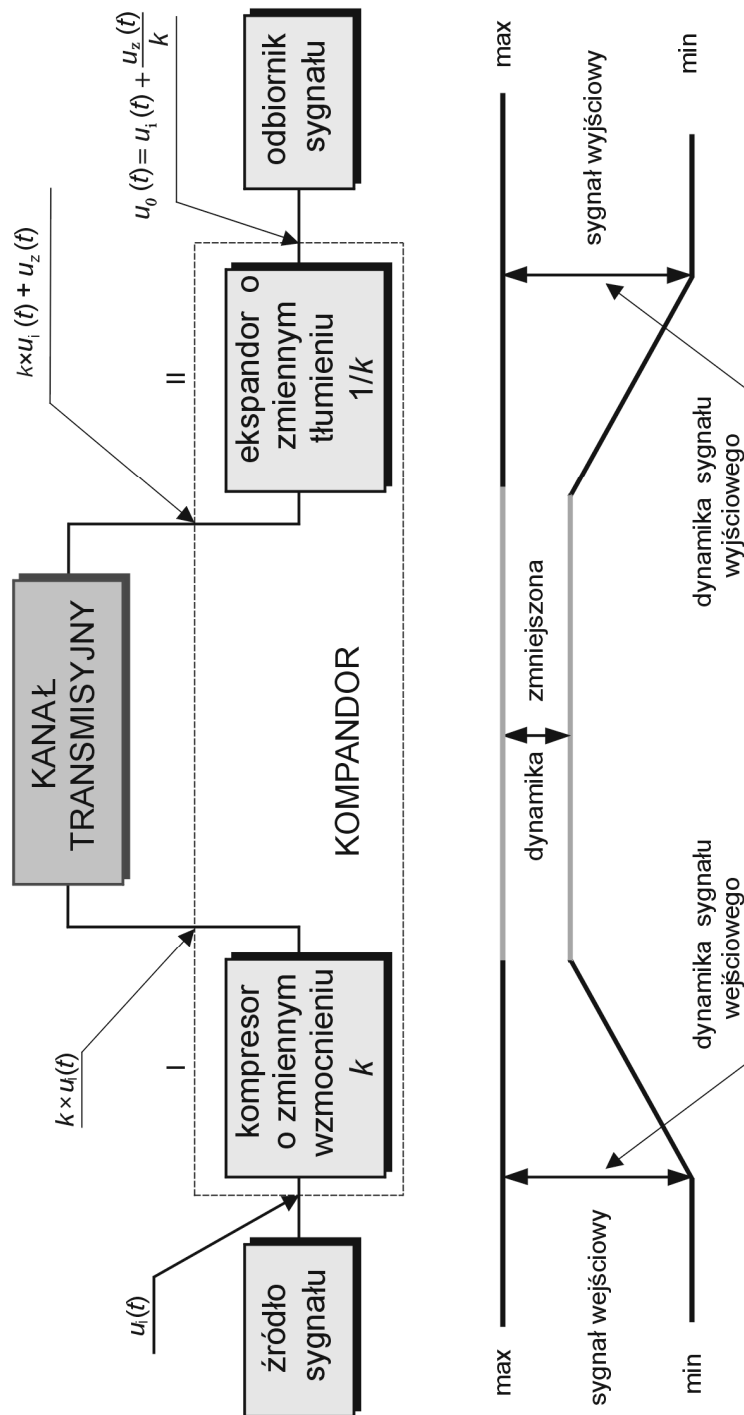
Zastosowana metoda lub sposób stabilizacji sygnałów akustycznych musi zawierać także układ, który umożliwi regulację stałych czasu τ_N i τ_0 (czasu narastania — często zwanego czasem zadziałania oraz czasu opadania — często zwanego czasem odzyskania). Zgodnie z Kartą UIC-568 $\tau_N \approx 0,1$ s i $\tau_0 \approx 1$ s.

Bardzo istotnym współczynnikiem jest odporność na zakłócenia. Dla uzyskania dużej dynamiki sygnału akustycznego, z zachowaniem wymaganego (zadanego) stosunku mocy sygnału użytecznego do mocy zakłóceń, stosuje się różne systemy zmniejszające wpływ zakłóceń własnych (głównie szumów) kanału transmisji. Ze względu na sposób działania i właściwości techniczne systemy te można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- 1) systemy jednostronne, w których sygnał użyteczny jest w zasadzie stały; można więc tu zaliczyć odtwarzanie zapisanych dźwięków ze stanowiska rozgłoszeniowego;
- 2) systemy dwustronne, w których stosuje się przetwarzanie sygnałów podczas ich odtwarzania lub odbioru; najskuteczniejsze są dwustronne systemy do zmniejszania zakłóceń (szumów) z wykorzystaniem komparatora.

Ogólną zasadę działania elektroakustycznego kanału transmisyjnego z zastosowaniem urządzeń komparatorowych przedstawiono na rysunku 1.

W części I komparatora pracującego jako kompresor zmniejsza się dynamika sygnału, będąca wynikiem podniesienia poziomu sygnałów o małych amplitudach. Z kolei w ekspandorze II występuje odwrotny proces przekształcenia, co powoduje odtworzenie pierwotnego kształtu sygnału. Teoretycznie, działanie kompresora i ekspandora, w odniesieniu do sygnału użytecznego, dokładnie wzajemnie się kompensuje, jeśli pominie się wpływ zakłóceń kanału transmisyjnego. Poziom zakłóceń wnoszonych przez kanał transmisyjny $u_z(t)$ jest przy komparatorowaniu obniżony, gdyż zakłócenia te przechodzą przez ekspandor.



Rys. 1. Zasada komparatorowania sygnału oraz charakterystyki komparatorowania $u_i(t)$ — sygnał na wejściu komparatora (kompresora), $u_z(t)$ — zakłócenia wprowadzone przez kanał transmisyjny, $u_o(t)$ — sygnał na wyjściu komparatora (ekspandora)

Obecnie stosowane metody stabilizacji sygnałów akustycznych dla wagonowych systemów rozgłoszeniowych, wraz z wymaganymi charakterystykami, są przedstawione w tablicy 1.

Tablica 1

Lp.	Układy	Sposób/ metoda stabilizacji	Układ kompresji	Układ ekspansji	Układ ARP lub ARW	Odporność na zakłóć. i red. szumów	τ_N	τ_0	Karta UIC	Przydatność dla PKP	Uwagi
1	Tranzystor	zmiana rezyst. tranz. połowego	-	-	+	-	-	-	-	-	$h > 4\%$
2	Wzmacniacz o zmiennym k_u	$k_u = f(u)$	-	-	+	-	-	-	-	-	$h > 5\%$
3	Wzmacniacz o zmiennym k_u	$k_u = f(R_{sp})$	-	-	+	-	-	-	-	-	$1\% \leq h \leq 2\%$
4	Kompandor	$k_u = f(I)$	+	+	+	+/-	+	+	+	+	$0,5\% \leq h \leq 2\%$
5	Kompandor	zmiennie ΔG	+	+	+	+	+	+	+	+	$0,2\% \leq h \leq 1,5\%$
6	Procesor sygnałowy	wzm. sterowany komp./eksp.	+	+	+	+	+	+	+	+	$0,2\% \leq h \leq 1,5\%$
7	Kompandor	wzm. sterowany komp./eksp.	+	+	+	+	+	+	+	+	$0,2\% \leq h \leq 1,5\%$
8	Ogranicznik	ogranicznik/ /kompandor	+	+	+	+	+	+	+	+	$0,1\% \leq h \leq 1,5\%$
9	Kompandor typ N-2	zależny od ΔG	+	+	+	+	+	+	+	+	$0,1\% \leq h \leq 1,5\%$
10	Tłumik	ΔG (VCA)	+	+	+	+	+	+	+	+	$0,1\% \leq h \leq 1\%$
11	Automat. tłumik poziomy	ALC	+	+	+	+	+	+	+	+	$0,1\% \leq h \leq 1\%$
12	Kompandor o zmiennym nachyleniu	reg. komp./eksp.	+	+	+	+	+	+	+	+	$\delta_{KOM} = 2 : 1$ $\delta_{EKSP} = 1 : 2$
13	Kompandor z deemfazą i preemfazą	reg. komp./eksp. deem/preefaza	+	+	+	+	+	+	+	+	$\Delta U_{wy} = \pm 0,75$ dB $0,1\% \leq h \leq 0,5\%$ korekcja znieksz.
14	Metoda stab. sygn. z zast. ukł. <i>Dolby A, B, C</i>	komp. redukcji szumów i zakłóceń	+	+	+	+	+	+	+	+	$0,001\% \leq h \leq 0,1\%$

W tablicy podano (poz. 1÷3) sposób stabilizacji sygnałów akustycznych stosowany we wzmacniaczach wagonowych (do niedawna eksploatowanych na PKP) typu

WWA-104, który nie w pełni spełniał zalecenia i wymagania Kart UIC (brakowało wówczas wyspecjalizowanych układów scalonych).

Układy umieszczone w tablicy 1 (poz. 4÷13) spełniają wymagania i zalecenia Kart UIC. Umieszczono tylko te układy, które były badane laboratoryjnie przez autora i mogą być stosowane w wagonowych systemach rozgłoszeniowych jako układy stabilizacji sygnałów akustycznych.

W tablicy 1, w uwagach, podano wartości współczynników zniekształceń nieliniowych h . Współczynniki h w pozycjach od 3 do 14 tablicy 1 spełniają zalecenia Karty UIC-568. Niezmiernie istotnym wskaźnikiem (który był brany pod uwagę) z punktu widzenia przydatności dla potrzeb PKP, jest odporność zastosowanej metody stabilizacji sygnałów akustycznych na zakłócenia (kompatybilność elektromagnetyczna) oraz możliwość redukcji szumów, a więc uzyskanie dużego stosunku sygnał/szum.

W 1990 r. powstał pierwszy model, a następnie prototyp wzmacniacza wagonowego, nazwanego WWA-105. Urządzenie powstało na zlecenie PKP i zostało zaprojektowane oraz wykonane na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej, a następnie wdrożone przez ówczesnego producenta wagonów w Polsce „HCP-Cegielski” w Poznaniu. Od 1990 r. do 1992 r. nowy wzmacniacz WWA-105 był (przez autora) modernizowany tak, aby mógł w pełni sprostać zaleceniom Karty UIC.

Na przełomie lat 1992 i 1993 została wykonana seria informacyjna wagonowych wzmacniaczy rozgłoszeniowych dla wagonów pasażerskich nowej generacji, które otrzymały nazwę WWA-105 i WWA-105a oraz WWA-106, zależnie od wykonania i przeznaczenia.

Seria informacyjna wzmacniaczy oraz wyroby już wdrożone do produkcji były starannie obserwowane; zbierano dane eksploatacyjne i niezawodnościowe. Aby urządzenia rozgłoszeniowe, a właściwie pełne systemy rozgłoszeniowe typu WWA-105—107k, mogły być zastosowane i zainstalowane w wagonach nowej generacji, dopuszczonych do ruchu międzynarodowego, powinny spełniać wymagania międzynarodowe, a więc zalecenia Kart UIC-568 i UIC-751, ze wszystkimi późniejszymi uzupełnieniami.

Koncepcja rozwiązania dotyczyła nowego urządzenia rozgłoszeniowego serii WWA-105, które powstało na podstawie analizy eksploatacyjnej i niezawodnościowej tego typu wagonowych urządzeń rozgłoszeniowych starej i nowej generacji. W badaniach eksploatacyjnych oraz niezawodnościowych testowano 100 sztuk urządzeń wyprodukowanych w 1993 r., obserwowano pracę tych urządzeń oraz ich uszkodzalność. Wyniki rejestrowano na specjalnie opracowanych kartach uszkodzeń. Usuwano i poprawiano wszystkie usterki, które wyłoniły się w eksploatacji urządzeń rozgłoszeniowych, zamontowanych w wagonach starej i nowej generacji. Powstał pierwszy model układu wzmacniacza rozgłoszeniowego oraz oszacowano wstępnie wskaźniki niezawodnościowe na podstawie obserwacji zachowania się urządzenia w czasie eksploatacji. Opracowano również charakterystyki użytkowania bloków systemu rozgłoszeniowego: przedwzmacniacz-kompresor dynamiki i wzmacniacz wyjściowy mocy, odpowiedzialnych za stabilizację sygnałów akustycznych w kolejowych wagonowych urządzeniach rozgłoszeniowych. Modele te będą przedstawione w niniejszym artykule. Zostały również przedstawione badania niezawodnościowe próbek wybranych losowo z różnych okresów produkcji. W latach 1994 i 1995 autor zbierał nadal dane eksploatacyjne i niezawodnościowe eksploatowanych ponad 500 sztuk wagonowych wzmacniaczy rozgłoszeniowych, wyposażonych w coraz to skuteczniejsze systemy stabilizacji sygnałów akustycznych oraz potrójne systemy diagnostyczne. W trakcie kolejnych badań pojawiły się problemy wynikające z uszkodzeń pewnych bloków systemu rozgłoszeniowego, a także spowodowane zmianą charakterystyki stabilizacji sygnałów akustycznych. Systemy

rozgłoszeniowe typu WWA-105+106 zaczęto instalować w wagonach międzynarodowych o odmiennym systemie zasilania urządzeń elektrycznych i akustycznych oraz w podmiejskich jednostkach trakcyjnych.

3. ZAŁOŻENIA DLA WAGONOWYCH SYSTEMÓW ROZGŁOSZENIOWYCH

Wymagania dla systemów rozgłoszeniowych regulują przepisy międzynarodowe w postaci zaleceń ujętych w Kartach UIC-440 (wyd. III z 1997 r.), UIC-568 (wyd. II z 1980 r.), wraz z późniejszymi uzupełnieniami i zmianami (w latach 1980—2004), oraz UIC-751-3 (wraz z uzupełnieniami w latach 1990—2004).

Poniżej przedstawiono niezbędne wymagania i zalecenia, jakimi powinni kierować się projektanci i konstruktorzy wagonowych systemów rozgłoszeniowych. Przepisy te zapewniają kompatybilność systemów rozgłoszeniowych, szczególnie w komunikacji międzynarodowej.

Przepisy międzynarodowe określają „minimalne” warunki, które powinny spełniać urządzenia radiofoniczne; dotyczy to:

- zapewnienia — pod każdym względem — prawidłowego działania urządzeń, z uwzględnieniem możliwości połączenia wagonów różnych producentów w jeden skład pociągowy,
- zapewnienia odpowiedniej jakości wszystkich rodzajów transmisji.

Przy ujednoczonym systemie stosuje się dla każdego, wyposażonego w instalację głośnikową wagonu pasażerskiego urządzenie wzmacniające. W tym systemie przewiduje się zastosowanie kabla z trzema czwórkami przewodów, z których dwie czwórki są przewidziane dla systemu radiofonicznego, a pozostałe wykorzystywane do innych celów (np. centralnego sterowania zamykaniem i blokowaniem drzwi).

Zradiofonizowane wagony pasażerskie można podzielić na te, które:

- a) mają urządzenie umożliwiające podłączenie do stanowiska rozgłoszeniowego,
- b) nie mają takiego urządzenia.

W każdym wagonie wyposażonym w instalację radiofoniczną powinny znajdować się:

- głośniki umieszczone w przedziałach i na korytarzu lub w wagonach bezprzedziałowych,
- wzmacniacz mocy,
- sieć przewodów, wraz ze sprzęgiem międzywagonowym,
- instalacja zasilania oraz zespoły bezpieczników,
- urządzenia pomocnicze do zdalnego sterowania.

Każdy zradiofonizowany wagon z możliwością przyłączenia stanowiska rozgłoszeniowego zawiera ponadto:

- 1) gniazdo umocowane na stałe do przyłączenia stanowiska rozgłoszeniowego dla przekazywania dłuższych audycji;
- 2) przełącznik dwupołożeniowy umożliwiający przekazywanie programów ze stanowiska rozgłoszeniowego tylko do wagonu, w którym znajduje się to stanowisko lub do całego składu pociągu.

Ponadto zakłada się, że przeciętna żywotność całego urządzenia osiąga co najmniej 60000 godzin, przy wahaniami temperatur zewnętrznych od -25°C do $+50^{\circ}\text{C}$. Zwraca się uwagę na kompatybilność elektromagnetyczną różnych urządzeń wagonu, aby zakłócenia przenoszone na instalację głośnikową pozostawały pomijalnie małe.

Założenia szczegółowe dotyczą tylko jednego elementu systemu rozgłoszeniowego, odpowiedzialnego za stabilizację sygnałów rozgłoszeniowych, a mianowicie — wzmacniacza wstępnego. Przyjęto następujące założenia:

1. Każdy zradiofonizowany wagon powinien być wyposażony na stałe w mikrofon ze wzmacniaczem wstępnym do nadawania krótkich komunikatów znaczenia ogólnego.
2. Wzmacniacze wstępne powinny mieć rezystancję wyjściową równą najwyżej 20 Ω .
3. Wartość znamionowa napięcia wyjściowego wzmacniacza wstępnego wynosi 2 V dla normalnego poziomu głosu, który wywiera na membranę mikrofonu średnie ciśnienie akustyczne 1,1 Pa. Napięcie wyjściowe nie może przekraczać 2 dB, niezależnie od liczby włączonych w skład wagonów pasażerskich, aż do maksymalnej ich liczby, równej 20 wagonom.
4. Zniekształcenia harmoniczne, mierzone na wyjściu wzmacniacza wstępnego, mogą wynosić najwyżej 1% dla wszystkich częstotliwości leżących między 20 Hz <math>f < 20 \text{ kHz}</math>. Pomiar należy przeprowadzić w razie braku automatycznej regulacji poziomu natężenia głośności dla znamionowego napięcia wyjściowego 2 V, przy czym mikrofon poddany jest ciśnieniu akustycznemu 1,1 Pa fali dźwiękowej, która ma kształt zbliżony do sinusoidalnego i jest spowodowana przez głośnik stopniowy.
5. Wyjście wzmacniacza wstępnego musi być symetryczne i odizolowane od masy. Symetria powinna wynosić co najmniej 55 dB.
6. Wysokość szumu tłowego wzmacniacza wstępnego powinna być o 50 dB niższa od znamionowego napięcia wyjściowego. Pomiar należy wykonać przy zwartym wejściu wzmacniacza wstępnego.
7. Wzmacniacze wstępne należy zaopatrzyć w odpowiedni ogranicznik, przez co średni poziom napięcia wyjściowego w zasadzie pozostaje stały, pomimo zmiany natężenia dźwięku przy przekazywaniu komunikatów ogólnego znaczenia. Ogranicznik należy ustawić tak, aby wynoszące 2 V znamionowe napięcie wyjściowe nie zmieniało się więcej niż o ± 3 dB, przy zmianach napięcia wejściowego ± 15 dB. Ogranicznik należy wyposażać w urządzenie realizujące dwie stałe czasowe, tzn. czasu zadziałania i czasu odzyskiwania.
8. Mikrotelefon powinien mieć przycisk monostabilny, którego wciśnięcie umożliwia realizację uprzednio nastawionych, następujących funkcji:
 - przekazanie komunikatu z priorytetem,
 - połączenie telefoniczne (radiotelefoniczne) z maszynistą,
 - połączenie telefoniczne (radiotelefoniczne) z dyspozytorem.

Należy przedsięwziąć środki ostrożności, uniemożliwiające sprzężenie akustyczne z głośnikami umieszczonymi w pobliżu.

9. Używane mikrofony powinny być przeciwhałasowe. Zaleca się stosować mikrofony elektrodynamiczne i pojemnościowe.

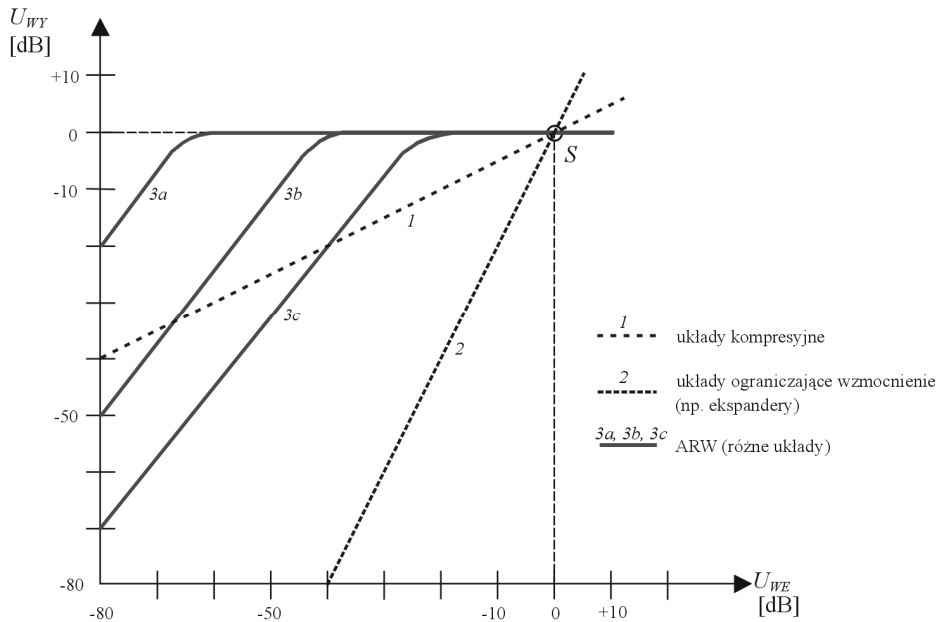
Ruchomy sprzęt do nadawania komunikatów i audycji rozrywkowych będzie podlegał tym samym założeniom szczegółowym.

Zgodnie z zaproponowaną koncepcją należy opracować metodę stabilizacji niskoczęstotliwościowych sygnałów elektrycznych w wagonowych systemach rozgłoszeniowych, z uwzględnieniem kryteriów niezawodnościowych i eksploatacyjnych. Ponieważ opracowana metoda, wraz z modelami, powinna umożliwić spełnienie przedstawionych założeń, wprowadzono więc układy stabilizacji sygnałów akustycznych.

Układy stabilizacji sygnałów akustycznych można podzielić na trzy zasadnicze grupy, a mianowicie:

- układy kompresyjne,
- układy ograniczające wzmocnienie (ekspandorowe),
- układy automatycznej regulacji wzmocnienia (ARW).

Na rysunku 2 przedstawiono ogólne charakterystyki przejściowe, interpretujące zasadnicze grupy stabilizacji sygnałów akustycznych. Napięcie wejściowe i wyjściowe podawane jest w dB i jest miarą względną. Odniesieniem dla napięć wejściowych jest poziom 1,1 mV (co odpowiada ciśnieniu akustycznemu $1,1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$). Odniesieniem dla napięć wyjściowych jest poziom 2 V, zgodny z wymaganiami.



Rys. 2. Poglądowe charakterystyki przejściowe dla układów stabilizacji sygnałów akustycznych

Do układów wspomagających stabilizację sygnałów akustycznych w kolejowych systemach rozgłoszeniowych (jak wykazały badania) należy zaliczyć także:

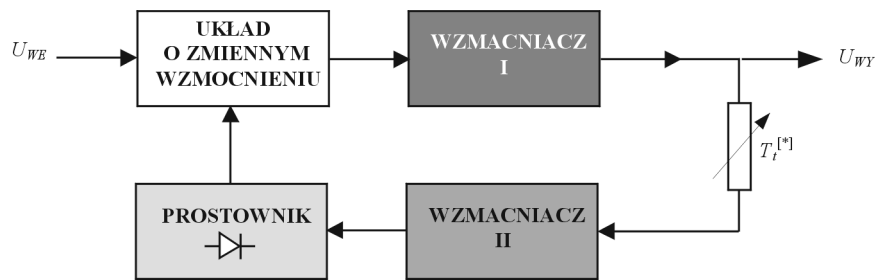
- specjalne wzmacniacze mocy,
- specjalne układy (przetwornice wagonowe).

Układ kompresyjny

Kompresor przetwarza niekontrolowany sygnał wejściowy, pochodzący z przetworników niskoczęstotliwościowych, w kontrolowany stały sygnał wyjściowy. Celem tego działania jest uniknięcie zniekształceń powodowanych przez zbyt wąski zakres dynamiczny urządzeń, takich jak linie telefoniczne, systemy przesyłowe radiofoniczne i satelitarne. Kompresor może także ograniczać poziom sygnału.

Kompresor jest wzmacniaczem, którego wzmocnienie jest tym mniejsze, im silniejszy jest sygnał wejściowy. Kompresory stosuje się przy zapisywaniu dźwięku, w radiofonii i w urządzeniach elektroakustycznych, a ostatnio zaproponowano je do wagonowych kolejowych systemów rozgłoszeniowych w celu zmniejszenia stosunku najsilniejszego sygnału wejściowego do najsłabszego i zwiększenia stosunku sygnału do szumu. Zasadniczy układ blokowy kompresora przedstawiono na rysunku 3. Sygnał wejściowy (U_{we}) jest wzmocniony, a następnie część napięcia wyjściowego — po dalszym wzmocnieniu — zostaje wyprostowana. Otrzymane w ten sposób napięcie stałe, proporcjonalne do

napięcia wyjściowego, jest użyte jako napięcie regulujące wzmacnienie wzmacniacza o zmiennym wzmacnieniu k_u . Elementy układu prostownika są tak dobrane, że czas potrzebny do zmniejszenia wzmacnienia o 10 dB jest rzędu mikrosekund, czas zaś powrotu wynosi około 1 s.



Rys. 3. Zasadniczy układ kompresora

Układy ograniczające wzmacnienie

Bardzo często z układem kompresyjnym sygnałów akustycznych współpracują specjalne układy zwane układami ograniczającymi wzmacnienie. Układ jest bardzo zbliżony do układu kompresora przedstawionego na rysunku 3.

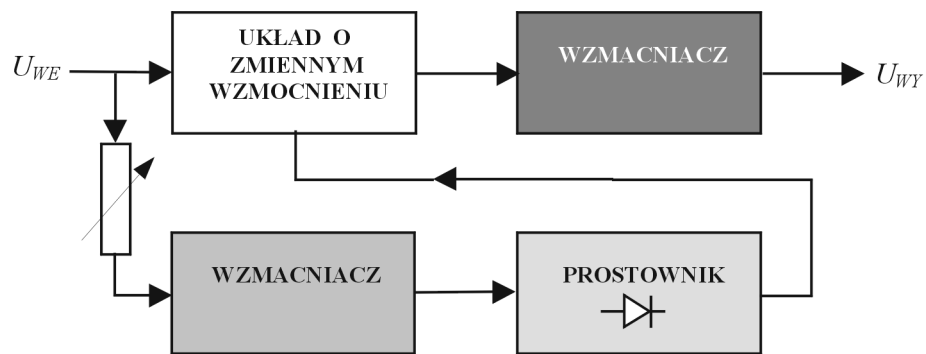
Ograniczniki wzmacnienia stosuje się w celu zabezpieczenia wagonowego wzmacniacza przed nagłym przesterowaniem, powstałym wskutek nagłej zmiany sygnału akustycznego (np. przejeżdżający obok drugi pociąg, niespodziewane krzyknięcie do mikrofonu lub nagły huk).

Zamiast wzmacnienia malejącego stopniowo, wzmacnienie ogranicznika jest stałe do pewnej wartości napięcia wejściowego, a powyżej tej wartości jest malejące w taki sposób, że napięcie wyjściowe U_{WY} pozostaje stałe — bez względu na wartość napięcia wejściowego U_{WE} — w pewnych granicach. Czasy działania układu ograniczającego wzmacnienie są takie same jak kompresora.

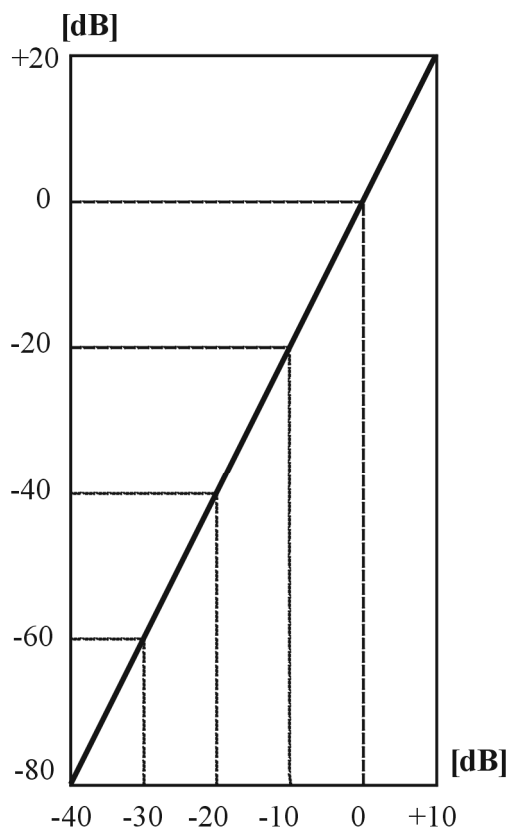
Układy ekspandorowe

Ekspandor umożliwia zwiększenie zakresu dynamicznego sygnału skompresowanego. Ekspandor jest więc urządzeniem o działaniu przeciwnym niż działanie kompresora. Wzmacnienie jest tym większe, im większy jest poziom sygnału wejściowego. Ekspandor umożliwia przywrócenie stosunku najsilniejszego do najłabszego sygnału, jaki istniał przed kompresorem, przy jednoczesnym zachowaniu korzystnego stosunku sygnału do szumów. Zasadniczy układ ekspandora przedstawiono na rysunku 4. Sygnał zostaje doprowadzony jednocześnie do wzmacniacza o zmiennym wzmacnieniu i do prostownika. Otrzymane napięcie stałe służy do regulacji wzmacnienia wzmacniacza o zmiennym wzmacnieniu. Można więc na wspólnej charakterystyce, przedstawionej na rysunku 5, zestawić pracę układu kompresyjnego i ekspandorowego.

Przedstawione na rysunkach 3 i 4 układy kompresora i ekspandora, wraz z ich wypadkową charakterystyką przedstawioną na rysunku 5, prezentują interpretację stabilizacji sygnałów akustycznych w wagonowych systemach rozgłoszeniowych.



Rys. 4. Zasadniczy układ ekspandora



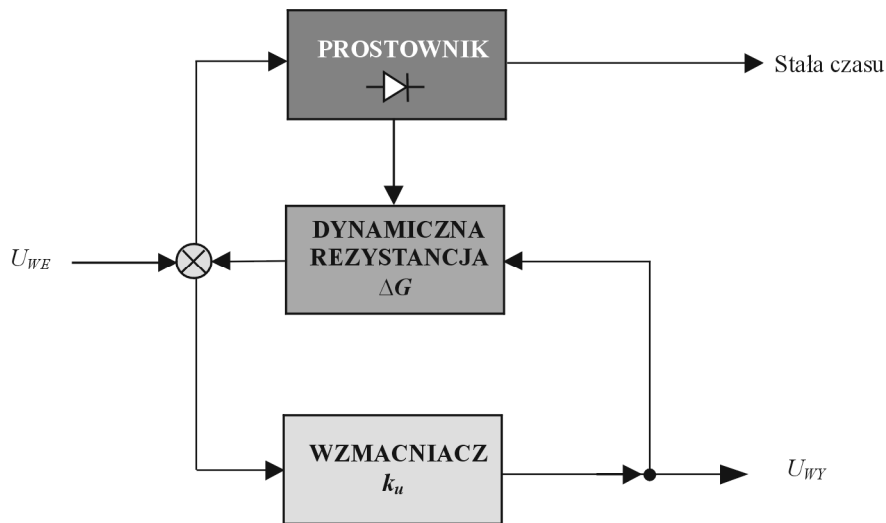
Poziom sygnału wyjściowego kompresora lub wejściowego ekspandora [dBm]

Rys. 5. Wypadkowa charakterystyka kompresora i ekspandora

Układ automatycznej regulacji wzmacnienia

Automatyczny Regulator Poziomu (ARP), podobnie jak Automatyczny Regulator Wzmacnienia (ARW), reguluje wzmacnienie w sposób proporcjonalny do amplitudy sygnału wejściowego. Układ ARP przekształca bez deformowania i zniekształceń sygnał wejściowy, zmieniający się w szerokich granicach w sygnał wyjściowy o stałej amplitudzie.

Na rysunku 6 przedstawiono uproszczony schemat blokowy układu do automatycznej regulacji poziomu. Ten układ był również przedmiotem analizy w trakcie projektowania wagonowych systemów rozgłoszeniowych.



Rys. 6. Uproszczony układ automatycznej regulacji poziomu ARP

Sygnał wejściowy U_{WE} steruje jednocześnie dwoma blokami: wzmacniaczem głównym i układem elektronicznym, którego rezystancja jest funkcją napięcia otrzymywanego z prostownika liniowego pełnookresowego (tzw. dynamiczna rezystancja ΔG), sygnał zaś wyjściowy U_{WY} steruje prostownikiem liniowym pełnookresowym. W pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza znajduje się dynamiczna rezystancja ΔG . Zmieniający się sygnał wejściowy (po przetworzeniu przez prostownik wraz z dynamiczną rezystancją) zmienia wzmacnienie wzmacniacza głównego k_u w taki sposób, że amplituda sygnału wyjściowego U_{WE} pozostaje stała.

Układ umożliwia także regulację stałych czasu τ , dotyczących nagłych zmian sygnałów rozpoczęcia i zakończenia komunikatu.

Na rysunku 2, wykresy nr 3a, 3b, 3c przedstawiają charakterystyki automatycznej regulacji poziomu dla trzech różnych wzmacniaczy wstępnych (są to niezbędne układy w każdym wagonowym wzmacniaczu).

Poza głównymi układami, które decydują o stabilizacji sygnałów akustycznych (układy kompresyjne, układy ograniczające wzmacnienie — a więc ekspandory, układy automatycznej regulacji poziomu i wzmacnienia — a więc ARP i ARW), coraz częściej wprowadza się układy wspomagające tę stabilizację. Do nich należy zaliczyć:

- specjalne wzmacniacze mocy,
- specjalne układy zasilające (przetwornice impulsowe).

4. WAGONOWY SYSTEM ROZGŁOSZENIOWY Z ZASTOSOWANIEM METODY STABILIZACJI SYGNAŁÓW NISKOCZĘSTOTLIWOŚCIOWYCH

Metoda stabilizacji sygnałów akustycznych polega na tym, że sygnały wejściowe o niskich poziomach amplitudy są odpowiednio wzmacniane, natomiast sygnały wejściowe o dużej amplitudzie są osłabiane. Wzmocnienie małych sygnałów powoduje, że są one słyszalne w obiektach o wysokim poziomie szumów. Sygnał wyjściowy po odpowiednim przetworzeniu powinien pozostawać stały, tzn. mieć stałą amplitudę i dopuszczalne zniekształcenia. Warunki pracy ruchomego wagonu, jak również wagonowego systemu rozgłoszeniowego, można uznać za trudne z powodu szumów, echa, pogłosów, zjawiska *Dopplera* oraz warunków zasilania, o zmiennym napięciu i z wysokim poziomem zakłóceń. Uwzględniając wymienione sformułowania przyjęto następujące istotne założenia [6]:

1) stabilność napięcia sygnału wyjściowego odnoszonego do napięcia wejściowego na poziomie:

$$\delta_s = \left| \frac{\Delta U_{WY}}{\Delta U_{WE}} \right| \leq 1 \text{ dB} \quad (1)$$

2) stosunek sygnału do szumu na poziomie:

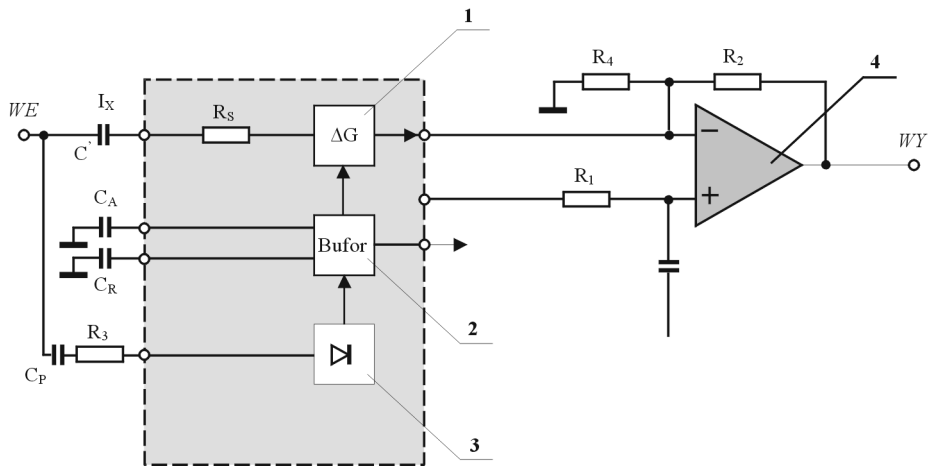
$$k \geq 50 \text{ dB}$$

Aby zrealizować przyjęte założenia wykonano analizę różnych rozwiązań wagonowych systemów rozgłoszeniowych, ze szczególnym uwzględnieniem metod stabilizacji sygnałów akustycznych.

Problem został rozwiązany przez wprowadzenie metody stabilizacji sygnałów napięciowych niskoczęstotliwościowych za pomocą komparatorów (układów złożonych z kompresorów, ekspandorów i układów automatycznej regulacji poziomu), także w aspekcie potrzeb eksploatacyjno-niezawodnościowych. W końcowej fazie opracowania wprowadzono również cyfrowe metody kompresji i przesyłania sygnałów, uwzględniające także wcześniej przyjęte założenia.

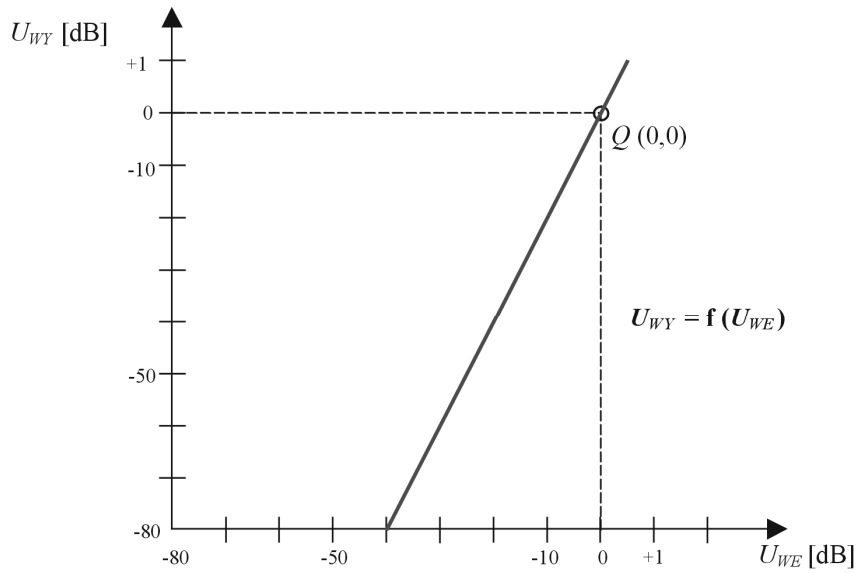
Koncepcję i wybór układu realizującego metodę stabilizacji sygnałów akustycznych (niskoczęstotliwościowych) dla potrzeb kolejowych systemów rozgłoszeniowych (opracowane przez autora) przedstawiono na rysunku 7. Powstała ona w wyniku zastosowania komparatora, a więc układu, który zawiera: kompresor, ekspandor i układ pośredni ARP.

Wybór układu (fragment komparatora) zależy od poziomu sygnału wejściowego. Przy wysokich poziomach sygnału komparator będzie pracował jako ekspandor, przedstawiony na rysunku 8. Na rysunku 9 przedstawiono dynamiczną (idealną) charakterystykę ekspandora.



Rys. 8. Ekspandor

- 1 — układ o zmiennej rezystancji dynamicznej ΔG , 2 — stałe czasowe τ_1 i τ_2 ,
 3 — prostownik liniowy dwupołówkowy, 4 — wzmacniacz operacyjny o k_u zależnym od ΔG

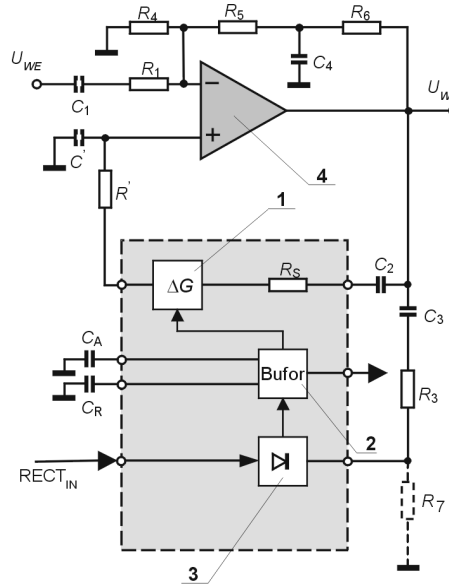


Rys. 9. Charakterystyka dynamiczna przejściowa $U_{WY} = f(U_{WE})$ dla ekspandora (idealna)

Wzmocnienie układu można określić na podstawie równania (2)

$$k_u = \left(\frac{2 \cdot R_2 \cdot U_{WE(sr)}}{R_3 \cdot R_S \cdot I_x} \right)^2 \quad (2)$$

Analizując równanie można stwierdzić, że jeżeli sygnał wejściowy wzrośnie o n [dB], to U_{WY} wzrośnie o $2n$ [dB]. Zinterpretowano to na rysunku 9. Przy niskich poziomach sygnału wejściowego komparator pracuje jako kompresor (przełączenie cyfrowe). Na rysunku 10 przedstawiono pracę komparatora jako kompresora.



Rys. 10. Kompresor

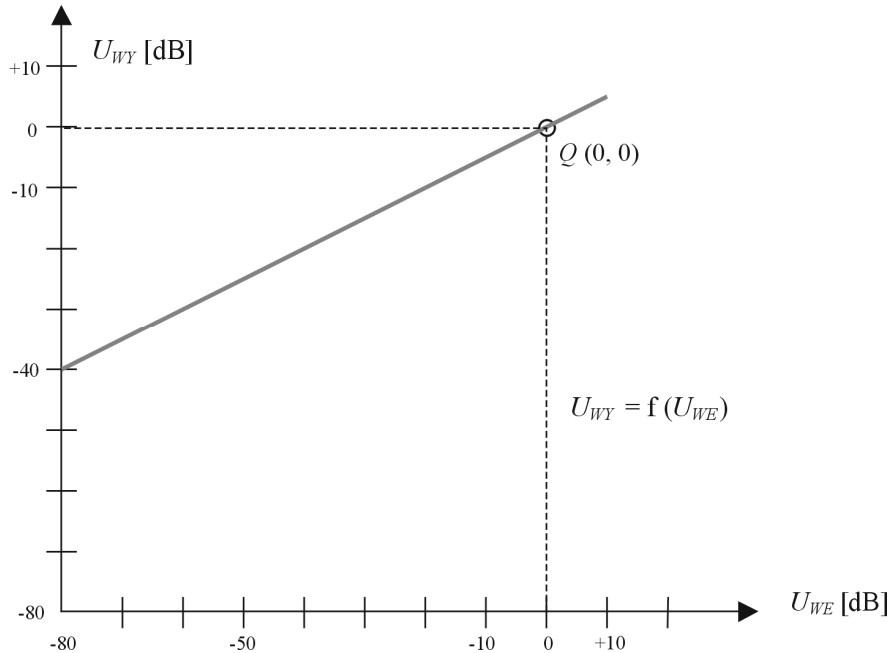
- 1 — układ o zmiennej rezystancji dynamicznej ΔG , 2 — bufor zawierający stałe czasu τ_1 i τ_2 ,
3 — dwupołkowy prostownik liniowy, 4 — wzmacniacz operacyjny o wzmocnieniu k_u .

W wyniku analizy matematycznej modelu kompresora (rys. 10) otrzymano równanie na k_u kompresora [1].

$$k_u = \left(\frac{I_x \cdot R_3 \cdot R_S}{2 \cdot R_1 \cdot U_{WE(sr)}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Z równania (3) wynika, że wzmocnienie jest odwrotnie proporcjonalne do pierwiastka kwadratowego z wartości napięcia wejściowego (tak jak zakładano). Z charakterystyki przejściowej dynamicznej, przedstawionej na rysunku 11, wynika, że jeśli poziom sygnału wejściowego wynosi -80 dB, to poziom sygnału wyjściowego wynosi -40 dB, a więc może być łatwo transmitowany przez tor o niewielkiej dynamice. Tak przetwo-

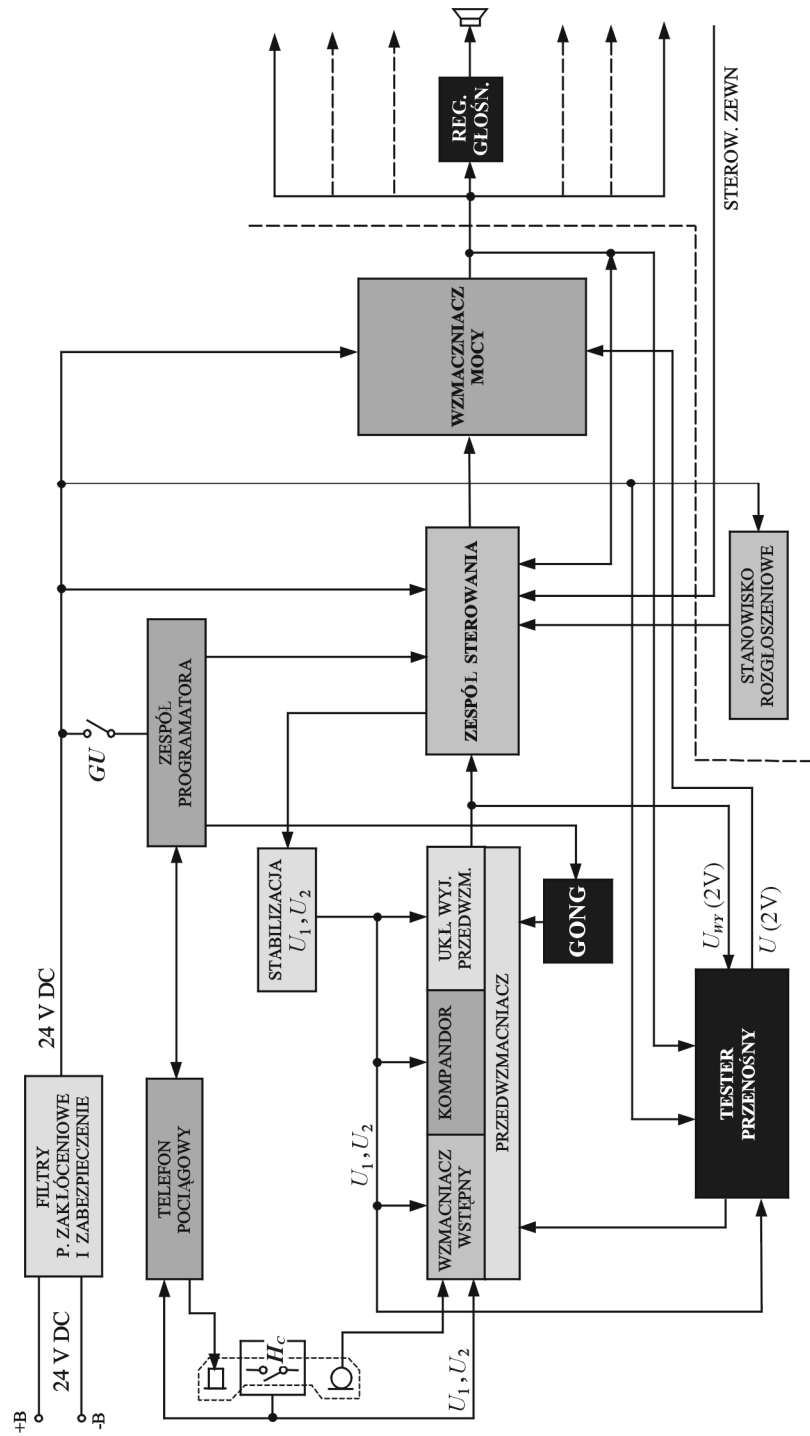
rzony sygnał (skompresowany) można łatwo odtworzyć za pomocą ekspandora. Połączenie tych układów umożliwia redukcję szumów własnych oraz szumów pochodzących od będącego w ruchu pociągu. Aby uzyskać wysoki stosunek: sygnał/szum oraz wysoką jakość inicjowanych komunikatów sygnał wejściowy, np. z mikrofonu lub stanowiska rozgłoszeniowego, należy najpierw poddać kompresji, a następnie ekspansji. Negatywną cechą przedstawionego układu kompresora jest zjawisko teoretycznej dążności do nieskończonej wartości wzmocnienia układu, przy braku sygnału wejściowego (np. włączony mikrofon i brak komunikatu). Gdyby nie układy: kompresor—ekspandor, przedwzmacniacz wzmocniałby wszystkie szумы (np. dźwięki pochodzące z otoczenia).



Rys. 11. Charakterystyka dynamiczna przejściowa $U_{WY} = f(U_{WE})$ kompresora (idealna)

Charakterystyka przejściowa dynamiczna $U_{WY} = f(U_{WE})$ układu kompresora (rys. 11) interpretuje właściwości układu przedstawionego na rysunku 10. Istnieje jeszcze trzecie rozwiązanie, zbliżone do rozwiązania podanego na rysunku 12, jeżeli do układu wprowadzimy rezystor R_7 (narysowany na rys. 10 przerywaną linią). Jeśli wejście prostownika ($RECT_{IN}$) dołączy się do wejścia wzmacniacza operacyjnego (a nie do wyjścia jak zaprezentowano to w układzie kompresyjnym), to otrzymany układ stanie się wzmacniaczem o automatycznej regulacji wzmocnienia. W większości przypadków sygnał regulacyjny ARW tworzy się przez wzmocnienie i wyprostowanie sygnału wyjściowego (tu jest prostowany sygnał wejściowy). Wzmocnienie układu można obliczyć z równania (4).

$$k_u = \frac{R_S \cdot I_x \cdot R_3}{2 \cdot R_1 \cdot U_{WE(s_r)}} \quad (4)$$



Rys. 12. Schemat blokowy wzmacniacza wagonowego wraz z testerem zewnętrznym i wewnętrznym [6]
 GU — włącznik zasilania, H_c — przycisk w mikrotelefonie, U_1, U_2 — zasilanie przedwzmacniacza

Analizując wyrażenie (4) można łatwo stwierdzić, że gdy napięcie U_{WE} wzrośnie n razy, wówczas wzmocnienie spadnie też n razy i poziom sygnału na wyjściu będzie zawsze jednakowy. W praktyce należy ograniczyć wzmocnienie do takiej wartości, aby nie wzmacniać nadmiernie szkodliwych szumów, które zawsze występują w tego typu układach. W wagonowych systemach rozgłoszeniowych brak takiego ograniczenia powodowałby wzbudzenie się układu przy małych poziomach szumów pochodzących z mikrofonu. Wprowadzenie rezystora R_7 (rys. 10) ograniczy maksymalne wzmocnienie układu ARW do wartości przedstawionej równaniem (5):

$$k_u = \frac{I_x \cdot R_S \cdot R_7}{2 \cdot R_1 \cdot U_{WY(DC)}} \quad (5)$$

gdzie $U_{WY(DC)} = 2,5V$.

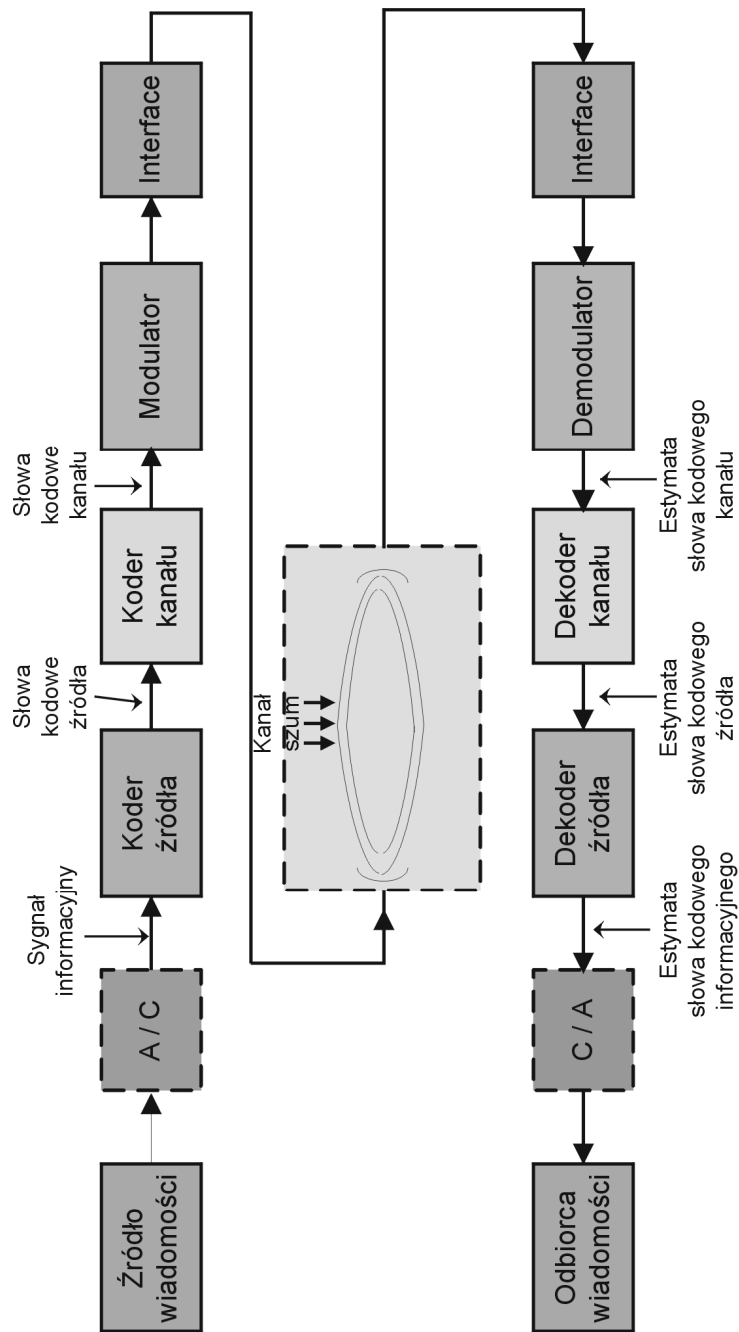
Dla układu ARW bardzo istotnym parametrem jest poziom napięcia wyjściowego, który można obliczyć z równania (6):

$$U_{WY(sr)} = \frac{\frac{I_x}{2} \cdot R_S \cdot R_3}{R_1} = \frac{I_x \cdot R_S \cdot R_3}{2 \cdot R_1} \quad (6)$$

Przedstawiony model systemu stabilizacji sygnałów niskoczęstotliwościowych, zawierający układ komandora, został następnie zbudowany i wszechstronnie sprawdzony. Wykorzystano go we wzmacniaczu typu WWA-105 (w różnych wersjach) oraz WWA-106. Po wielu modernizacjach wykorzystano go do stabilizacji sygnałów akustycznych we wzmacniaczu typu WWA-107k. Otrzymane wyniki (tabl. 2) potwierdzają założenia dla zmodernizowanej wersji wzmacniacza WWA-107k.

Kompletny wzmacniacz jest przedstawiony na rysunku 12. Wagonowy system rozgłoszeniowy (rys. 12), to wielomodułowy układ, w którym przyjęto stabilizację sygnałów akustycznych z zastosowaniem omówionego komandora. Układ wyposażono w dwunapięciową przetwornicę impulsową dla zapewnienia stabilnego napięcia zasilania ($2 \times 24V$) ze specjalnym filtrem przeciwzakłóceń [3]. System rozgłoszeniowy został wyposażony również w telefon pociągowy do łączności z maszynistą. Ma również układ programatora do wybierania ściśle określonych funkcji pracy systemu oraz blok sterowania. Jak już wspomniano wcześniej, wagonowy system rozgłoszeniowy, np. WWA-106, został wyposażony w dwa układy diagnostyczne (wewnętrzny i zewnętrzny). Wewnętrzny układ, to trójtonowy gong, który spełnia również rolę informacyjną o zapowiedzi wygłaszanej przez obsługę pociągu. Każdy wagonowy system rozgłoszeniowy ma wzmacniacz mocy, zapewniający minimum 20 W mocy wyjściowej.

Warto również przedstawić rozwiązanie zastosowane przez autora w systemie rozgłoszeniowym typu WWA-107k. Jest to cyfrowy system transmisji i stabilizacji sygnałów akustycznych zastosowany w wagonowym systemie rozgłoszeniowym. Model tego rozwiązania został przedstawiony na rysunku 13.



Rys. 13. Model cyfrowego systemu stabilizacji sygnałów akustycznych zastosowany w wagonowym systemie rozgłoszeniowym typu WWA-107k

W modelu systemu transmisji sygnałów cyfrowych (rys.13) źródło generuje wiadomości w postaci ciągłych funkcji czasu lub w postaci dyskretnych symboli. Przykładem wiadomości ciągłych jest mowa ludzka (pochodząca z mikrofonu). W tym przypadku, aby była możliwa transmisja wiadomości za pomocą cyfrowego systemu telekomunikacyjnego (tak go nazwano), ciągły sygnał mowy musi zostać zdyskretyzowany w czasie oraz w poziomie. W tym celu przetwornik analogowo-cyfrowy próbkuje sygnał z określoną częstotliwością, a następnie każdej próbce zostaje przypisana sekwencja binarna. Przykładem takiego działania jest stosowany w standardowej telefonii cyfrowej koder PCM, który próbkuje sygnał analogowy uzyskany z mikrofonu z częstotliwością $f = 8 \text{ kHz}$, a następnie próbkom przyporządkowuje sekwencje ośmiobitowe, zgodnie ze znormalizowaną nieliniową charakterystyką.

W wyniku dyskretyzacji w poziomie, realizowanej z określoną dokładnością, ztraca się pewna część informacji zawarta w próbkowanej ciągłej funkcji czasu, charakteryzującej np. sygnał mowy. Uwidacznia się to w postaci szumu kwantyzacji. Dla źródła sygnałów mowy nieliniowy układ przyporządkowania sekwencji binarnych może być rozumiany jako koder źródła. Dzięki charakterystyce nieliniowej (kompresji), zastosowanej w tym przetwarzaniu, uwzględniającej własności dynamiczne ucha ludzkiego, potrzeba 8 bitów do reprezentacji jednej próbki. Gdyby przetwarzanie to było liniowe, wówczas długość słowa reprezentującego próbkę i zapewniającego porównywalną jakość skwantowanego sygnału wynosiłaby 12—13 bitów [2, 4, 8].

4. WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań wagonowego systemu rozgłoszeniowego, z jego układem odpowiedzialnym za stabilizację sygnałów niskoczęstotliwościowych, można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- laboratoryjne badania pod kątem wielkości elektrycznych,
- eksploatacyjne badania niezawodności.

5.1. Badania laboratoryjne

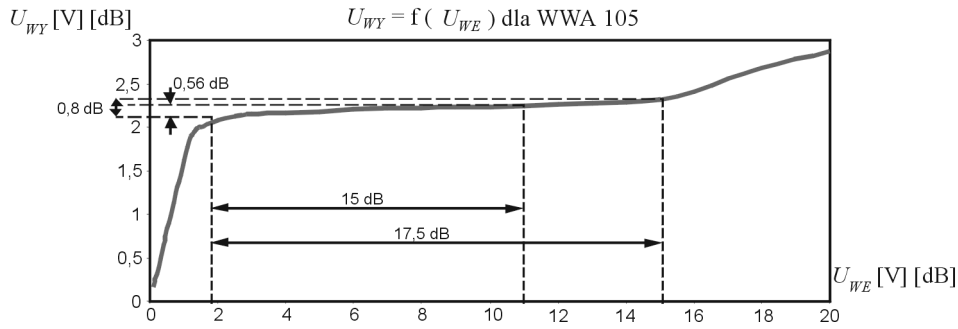
W tablicy 2 zestawiono najważniejsze wyniki laboratoryjnych badań przedwzmacniaczy, zawierających układy odpowiedzialne za stabilizację sygnałów akustycznych w kolejnych wagonowych systemach rozgłoszeniowych.

Tablica 2

Lp.	Nazwa parametru	Jedn.	Typ wzmacniacza				Warunki pomiaru	Uwagi
			WWA-101N	WWA-104A	WWA-105 WWA-106	WWA-107k		
1	Stabilność napięcia sygnału wyjściowego δ_s	V	1,68±2,8 (±4,43 dB) dla ΔU_{WE} 1,1±6 mV (14,7 dB)	1,68±2,8 (±4,43 dB) dla ΔU_{WE} 1,1±6 mV (14,7 dB)	1,77±2,32 (± 0,77dB) dla ΔU_{WE} 1,1±15 mV (17,5 dB)	1,84±2,25 (± 0,5 dB) dla ΔU_{WE} 1,1±400 mV* (22 dB)	$n = 20$ wag.	* uwzględniono przedział pomiarowy 2mV÷25mV, dla $n = 20$ wag. Karta UIC-568
2	Zmiana napięcia wyjściowego dla przedwzmacniacza	dB	± 4,98	± 4,98	± 0,99	± 0,6	$n = 20$ wag.	Karta UIC-568 przedział ± 3dB
			± 4,43	± 4,43	± 0,56	± 0,4	$n = 1$ wag.	
3	Zniekształcenia nieliniowe przedwzmacniacza h dla $f = 1$ kHz	%	6,2	6,2	1,0	0,48	$n = 20$ wag.	Karta UIC-568 zaleca $h \leq 5\%$
			6,2	6,2	0,9	0,48	$n = 1$ wag.	
4	Zniekształcenia nieliniowe przedwzmacniacza h dla: $300 \text{ Hz} \leq f \leq 8 \text{ kHz}$	%	5,1±6,2	5,1±6,2	0,52±0,82	1,0±1,7	$n = 1$ wag.	Karta UIC-568 zaleca $h \leq 5\%$
5	Zmiana napięcia wyjściowego σ	dB	1,51	1,51	0,17	0,21	$n = 20$ wag.	Karta UIC-568 zaleca $\sigma = 3$ dB
6	Symetria wyjścia przedwzmacniacza S	dB	57,39	57,39	58,7	59,17	—	Obciążenie rezystancyjne, Karta UIC-568 zaleca: $S \geq 55$ dB
7	Stosunek sygnału do szumu k	dB	42,5	42,5	52,0	66,0	—	Obciążenie rezystancyjne, Karta UIC-568 zaleca $k \geq 50$ dB
8	τ_N — stała czasowa	s	0,1±0,5	0,1±0,5	0,1	0,1	—	Karta UIC-568 zaleca $\tau_N = 0,1$ s
9	τ_O — stała czasowa	s	1±1,54	1±1,54	1,0	1,0	—	Karta UIC-568 zaleca $\tau_O = 0,1$ s

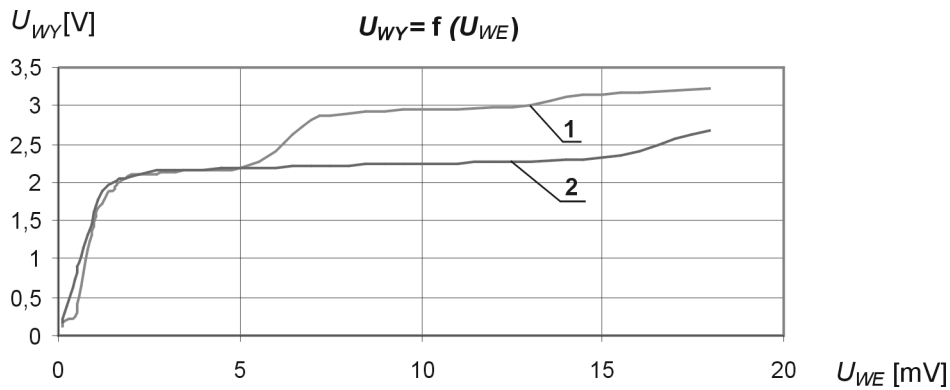
10	Impedancja wyjściowa Z_{wy}	Ω	14,0	14,0	16,0	19,8	—	Karta UIC-568 zaleca $Z_{wy} \leq 20 \Omega$
----	-------------------------------	----------	------	------	------	------	---	--

Na rysunku 14 przedstawiono charakterystykę dynamiczną przedwzmacniacza z układem kompresora (wzm. WWA-105) [6].



Rys. 14. Charakterystyka dynamiczna przedwzmacniacza WWA-105

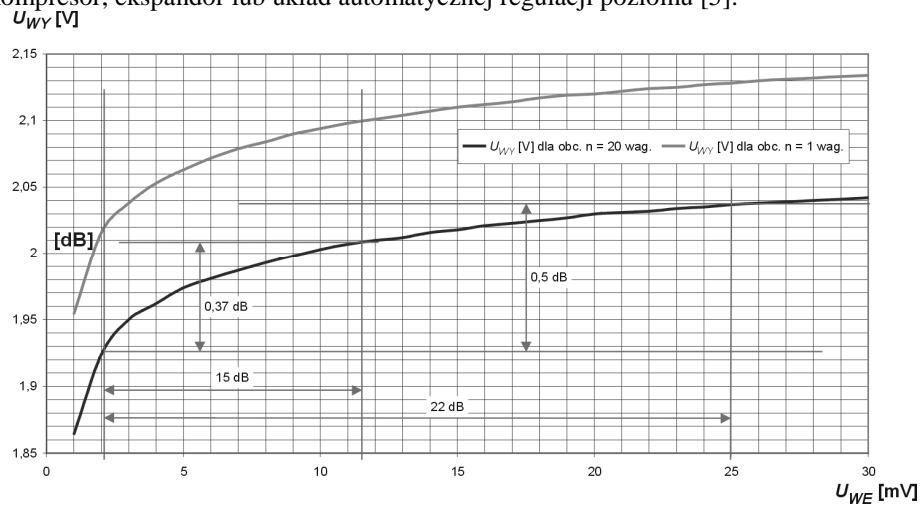
Na rysunku 15 przedstawiono porównanie charakterystyk dynamicznych przedwzmacniaczy, zawierających układy stabilizacji sygnałów niskoczęstotliwościowych dla systemów rozgłoszeniowych WWA-104 i WWA-105.



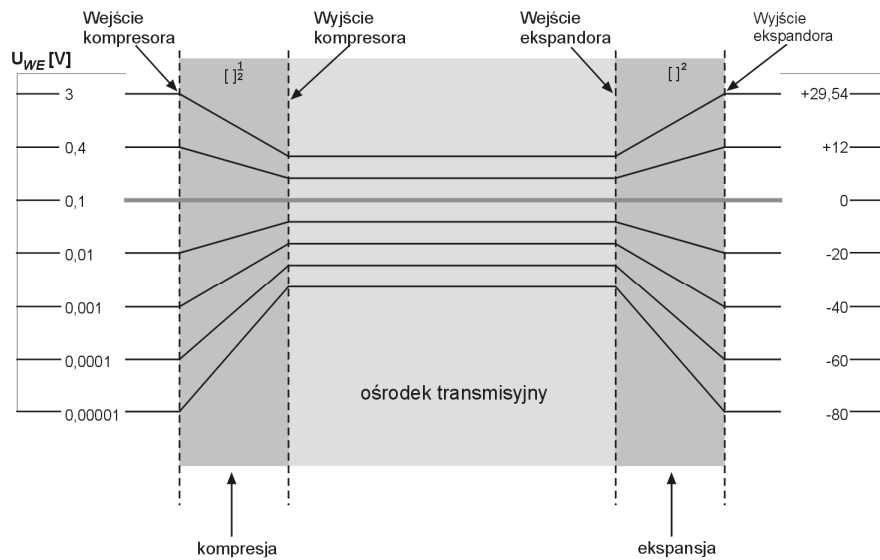
Rys. 15. Porównanie charakterystyk dynamicznych przedwzmacniacza (WWA-104 i 105/6)
1 — U_{wy} (WWA 104), 2 — U_{wy} (WWA 105)

Na rysunku 16 przedstawiono charakterystykę dynamiczną $U_{WY} = f(U_{WE})$ przedwzmacniacza systemu rozgłoszeniowego typu WWA-107k (tylko w zakresie $U_{WE} = 1 \text{ mV}$ do 30 mV) [6].

Na rysunku 17 przedstawiono kompletny wynik badań przedwzmacniacza zawierającego komparator, który w zależności od poziomu sygnału wejściowego pracuje jako kompresor, ekspandor lub układ automatycznej regulacji poziomu [5].



Rys. 16. Charakterystyka dynamiczna przedwzmacniacza systemu rozgłoszeniowego typu WWA-107k



Rys. 17. Praca komparatora w układzie przedwzmacniacza systemu rozgłoszeniowego typu WWA-107k (dla różnych poziomów wejściowych)

5.2. Eksploatacyjne badania niezawodności

Badania niezawodności mają za zadanie uzyskanie wiarygodnych, statystycznie oszacowanych, informacji na temat zachowania się obiektów w eksploatacji. Dokładność wyników wzrasta wraz z liczbą informacji, która jest jednak ograniczona ze względu na liczebność próbki oraz zakres problematyki interesującej producentów i użytkowników badań.

Można wyróżnić dwa obszary wykorzystania wyników badań niezawodności:

- 1) wykorzystanie wyników badań przez producentów do celów:
 - doskonalenia procesu konstruowania i wytwarzania,
 - sterowania jakością produkcji,
 - doskonalenia systemu obsługi posprzedażnej (obsługa serwisowa);
- 2) wykorzystanie wyników badań przez użytkowników do celów:
 - doskonalenia systemów eksploatacyjnych,
 - organizacji zaplecza obsługowo-naprawczego,
 - planowania zapotrzebowania na części zamienne dla różnych okresów eksploatacji obiektów,
 - ekonomicznej oceny systemów eksploatacji.

Dla obydwu wymienionych odbiorców wyników badań niezawodnościowych zakres koniecznej informacji jest nieco odmienny, chociaż istnieje pewien wspólny zbiór informacji, który interesuje zarówno producentów, jak i użytkowników.

Eksploatacyjne badania niezawodności polegały na obserwacji obiektu w warunkach jego normalnej pracy. Były one źródłem informacji, które odgrywają istotną rolę dla jednostek użytkujących obiekty techniczne, gdyż umożliwiają planowanie eksploatacji, planowanie obsługi i napraw oraz ocenę poziomu technicznego producenta. Dlatego zastosowano metodę normalnych badań niezawodności obiektu w naturalnych warunkach eksploatacji, w której badania były prowadzone na wybranych obiektach, w określonym przedziale czasu.

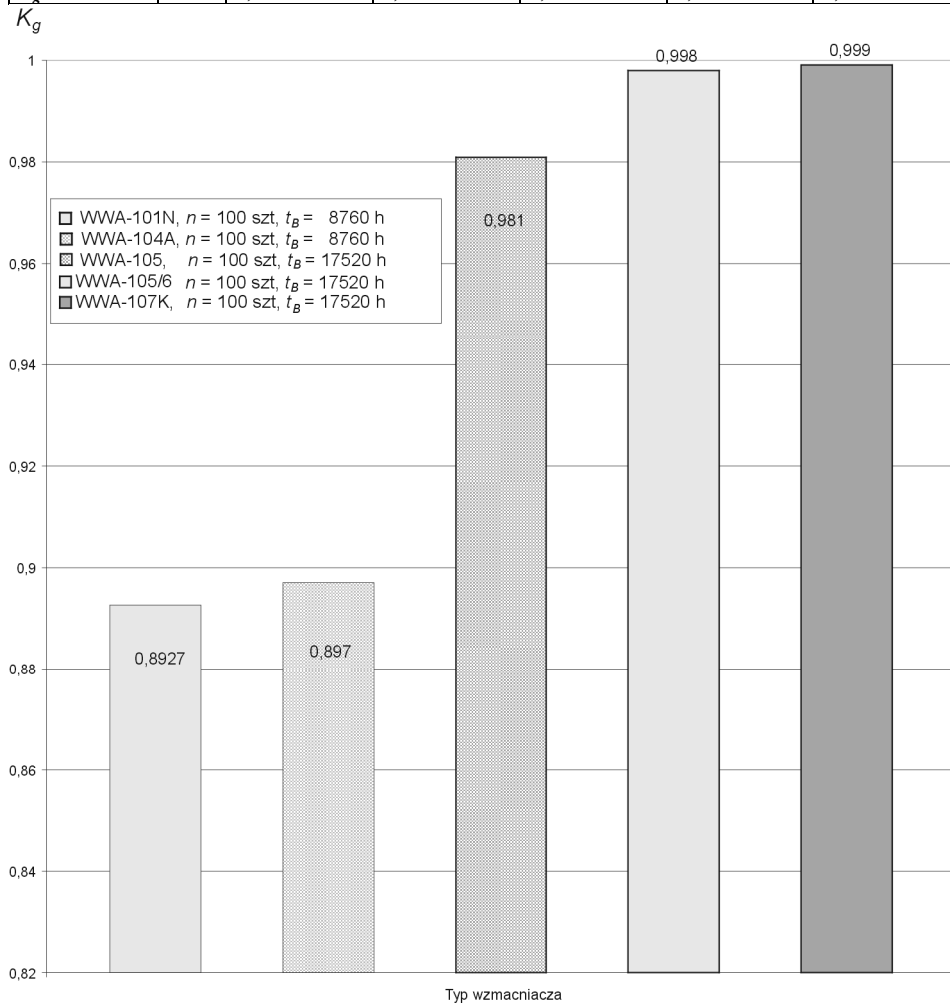
Na podstawie uzyskanych liczbowych wartości wskaźników niezawodności, dla poszczególnych elementów (bloków), wykonano ocenę niezawodności systemu rozgłoszeniowego, jako całego systemu oraz ocenę prawidłowości jego funkcjonowania [7].

W tablicy 3 zestawiono wyniki badań eksploatacyjno-niezawodnościowych, natomiast na rysunku 18 porównano kilka systemów rozgłoszeniowych [6].

Tablica 3

Nazwa wskaźnika	Jednostka	Typ wzmacniacza				
		WWA-101N	WWA-104A	WWA-105	WWA-105/6	WWA-107k
$R_1(t_B)$		0,78	0,78	0,85	0,95	0,98
$R_2(t_B)$		0,90	0,90	1,0	1,0	1,0
$R_4(t_B)$		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$R_5(t_B)$		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
λ_1	1/h	$28,4 \cdot 10^{-6}$	$28,4 \cdot 10^{-6}$	$186 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 93 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 98 \cdot 10^{-6}$
λ_2	1/h	$31,3 \cdot 10^{-6}$	$31,3 \cdot 10^{-6}$	—	$9,28 \cdot 10^{-6}$	$9,55 \cdot 10^{-6}$
λ_3	1/h	$12,0 \cdot 10^{-6}$	$12,0 \cdot 10^{-6}$	—	—	—
$E(T_1)$	h	35256	35256	53901	341297	—
$E(T_2)$	h	31919	31919	—	107758	108768
$E(T_3)$	h	83143	83143	—	—	—
$R_S(t_B)$	—	0,53	0,53	0,85	0,81	0,81
T_{psr1}	h	8686	8686	8735	17503	17503
T_{psr2}	h	8779	8779	—	17469	17469
T_{psr3}	h	8726	8726	—	—	—
K_{g1}		0,9627	0,9627	0,981	0,999	0,999
K_{g2}		0,9631	0,9631	1,0	0,999	0,999

K_{g3}		0,9629	0,9629	1,0	1,0	1,0
K_{g4}		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
K_{g5}		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
K_g		0,8927	0,8972	0,991	0,998	0,999



Rys. 18. Porównanie według współczynnika gotowości K_g systemów rozgłoszeniowych

Po przeprowadzeniu analizy wskaźników niezawodności wybrano te, które posłużą do oceny niezawodności opisywanego systemu rozgłoszeniowego. Dysponując dużą liczbą danych o uszkodzeniach określono wskaźniki, którymi będą:

- średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami $T_{p\acute{s}r}$ ($T_{p\acute{s}r_1}$, $T_{p\acute{s}r_2}$, $T_{p\acute{s}r_3}$) dotyczy bloków: wzmacniacza mocy, układów sterowania, układów stabilizacji sygnałów,
- średni czas naprawy T_n ,

- współczynnik gotowości $K_g = f(T_n \text{ i } T_p)$, a więc K_{g1} do K_{g5} ; dotyczy pięciu bloków wzmacniacza rozgłoszeniowego,
- intensywność uszkodzeń: λ_1 do λ_3 (bloki: wzmacniacze mocy, układy sterowania i układ stabilizacji sygnałów),
- niezawodność $R(t_B)$: od $R_1(t_B)$ do $R_5(t_B)$, dotyczy: wzmacniaczy mocy, układów sterowania, układu stabilizacji sygnałów oraz dwóch pozostałych bloków systemu.

6. PODSUMOWANIE

Opisane systemy rozgłoszeniowe typu WWA-101N, WWA-104A, WWA-105 i WWA-106 w kilku wersjach są układami analogowymi (oprócz układu sterowania i telefonu pociągowego w WWA-105).

Układy sterowania i telefonu pociągowego są wprawdzie cyfrowe, ale zbudowane na przekaźnikach będących główną przyczyną uszkodzeń.

W 1996 r. autor podjął próbę pełnej modernizacji wzmacniacza rozgłoszeniowego WWA-105, zastępując go całkowicie nową konstrukcją o nazwie WWA-106, która stała się z konieczności urządzeniem analogowo-cyfrowym. Zostały całkowicie zmodernizowane:

- blok wzmacniacza mocy, który pozostał analogowy,
- blok sterowania, w którym wykorzystano (specjalnie oprogramowany) sterownik mikroprocesorowy pozostawiając nieliczne przekaźniki tylko tam, gdzie wymagania Karty UIC-568 są obligatoryjne,
- przedwzmacniacz, zawierający układ stabilizacji sygnałów akustycznych w postaci komparatora (może pracować jako: kompresor, ekspandor lub ARW).

Wyniki badań są lepsze niż w dotychczasowych systemach rozgłoszeniowych. W nowej wersji jest także telefon pociągowy, który poza wewnętrzną łącznością będzie mógł współpracować z siecią radiotelefoniczną RASZ (PKP) oraz z cyfrową telefonią publiczną. W dalszej perspektywie przewiduje się wykorzystanie tego systemu rozgłoszeniowego (ze wzmacniaczami WWA-107k) do przekazywania w wagonach najnowszej generacji informacji audiowizualnych (np. o miejscu pociągu na szlaku) lub innych ważnych informacji.

Analizując otrzymane wyniki laboratoryjne i eksploatacyjne można stwierdzić, że opracowana koncepcja stabilizacji sygnałów akustycznych w kolejowych systemach rozgłoszeniowych, a także zastosowana metoda badań eksploatacyjno-niezawodnościowych umożliwiły realizację celu pracy.

Poprawność zaproponowanego rozwiązania wykazano przez przebadanie systemów rozgłoszeniowych, które są oryginalnymi opracowaniami autora. Stanowią one rodzinę systemów rozgłoszeniowych dla wagonów pasażerskich, z zastosowaniem wzmacniacza akustycznego typu WWA-105, spełniających wszelkie wymagania norm międzynarodowych. Dlatego też wagony wyposażone w te systemy można bez przeszkód łączyć w międzynarodowe składy pociągów pasażerskich.

Oryginalnym wkładem badawczym autora są również dwa systemy diagnostyczne (zewewnętrzny i wewnętrzny), współpracujące z modułową konstrukcją wzmacniacza, które umożliwiają szybką ocenę stanu technicznego urządzenia (a w razie uszkodzenia szybką lokalizację i naprawę). Proponowany sposób napraw znacznie zwiększa wskaźniki niezawodności pracy systemu.

W skład wzmacniacza typu WWA-105 oraz w nową rodzinę WWA-106 wchodzi przedwzmacniacz z układem stabilizacji sygnałów akustycznych (wprowadzonym przez autora), który zgodnie z podanymi wynikami badań laboratoryjnych i eksploatacyjnych

znacznie poprawił czytelność komunikatów oraz audycji ze stanowiska rozgłoszeniowego. Wprowadzenie proponowanej metody stabilizacji sygnałów akustycznych w kolejowych systemach rozgłoszeniowych umożliwiło zastosowanie mikrofonów o bardzo szerokim zakresie napięć wejściowych. Sterują one przedwzmacniaczem (ok. 17,5 dB) przy stabilizacji napięcia wyjściowego na poziomie $\delta_s \leq 0,56$ dB, z jednoczesnym współczynnikiem sygnał/szum $k > 52$ dB; natomiast dla wersji WWA-107k współczynnik ten wynosi $0,4 \text{ dB} \leq \delta_s \leq 0,6$, z jednoczesnym współczynnikiem sygnał/szum, wynoszącym $k > 60$ dB. Zaproponowany układ, a także metoda stabilizacji sygnałów akustycznych poprawiły pasmo przenoszenia przedwzmacniacza do 14 kHz, podczas gdy Karta UIC zaleca 8 kHz. Układ przedwzmacniacza wraz z zaproponowaną metodą stabilizacji sygnałów akustycznych jest mało wrażliwy na zmiany obciążenia wagonowymi instalacjami rozgłoszeniowymi (1+20 wagonów). Spadek sygnału wyjściowego waha się w granicach ok. 0,12 dB dla 1 kHz, podczas gdy Karta UIC-568 dopuszcza wartości mniejsze niż 3 dB.

Istotnym parametrem, na który zwrócono szczególną uwagę, jest zmniejszenie zniekształceń nieliniowych. Zaproponowany układ przedwzmacniacza, a również zastosowana metoda stabilizacji umożliwiły znaczne ograniczenie zniekształceń nieliniowych, które dla częstotliwości $f = 1$ kHz mieściły się w granicach $0,6\% \leq h \leq 1\%$, zależnie od obciążenia (od 1+20 wagonów), podczas gdy Karta UIC-568 zaleca, aby zniekształcenia nieliniowe były mniejsze niż 5%. Pozostałe parametry (tabl. 2), potwierdzone badaniami laboratoryjnymi, to: symetria wyjścia przedwzmacniacza, współczynnik szumów tła, stałe narastania i przywrócenia początkowego (dynamika czasowa) oraz impedancja wyjściowa. Uzyskane wyniki spełniają wymagania UIC z dużym zapasem wartości parametrów.

Proponowane wzmacniacze — WWA-105 od 1995 r. oraz WWA-106 od 2003 r. — są instalowane w wagonach PKP, szczególnie w składach ekspresowych i międzynarodowych. Badania tych zestawów rozgłoszeniowych w pociągach pozwalają stwierdzić, że jakość komunikatów i audycji znacznie się poprawiła.

Przeprowadzone badania umożliwiły zebranie wielu danych eksploatacyjnych, dotyczących nowego rozwiązania wzmacniacza z metodą stabilizacji sygnałów akustycznych, charakteryzującą się zwiększoną niezawodnością systemu rozgłoszeniowego. Z uzyskanych danych o uszkodzeniach wzmacniaczy WWA-101N, WWA-104A i WWA-105 wyznaczono wskaźniki niezawodnościowe systemów, określone:

- średnim czasem poprawnej pracy między uszkodzeniami,
- średnim czasem naprawy,
- współczynnikiem gotowości.

Na podstawie danych, zebranych w latach 1989—2005, obliczono współczynniki gotowości układów rozgłoszeniowych: WWA-101N, WWA-104A i — zaproponowany przez autora — współczynnik WWA-105. Otrzymano następujące wyniki:

- dla WWA-101N i WWA-104A współczynnik gotowości $K_g = 0,8927$, dla próbki $n = 100$ sztuk i okresu badań wynoszącego 1 rok,
- dla WWA-105 współczynnik gotowości $K_g = 0,991$, dla próbki $n = 100$ sztuk i okresu badań wynoszącego 1 rok (I etap modernizacji),
- dla WWA-105/6 współczynnik gotowości $K_g = 0,998$, dla próbki $n = 100$ sztuk i okresu badań wynoszącego 2 lata (II etap modernizacji),
- dla WWA-106 współczynnik gotowości $K_g = 0,9998$, dla próbki $n = 100$ sztuk i okresu badań wynoszącego 2 lata (III etap modernizacji),

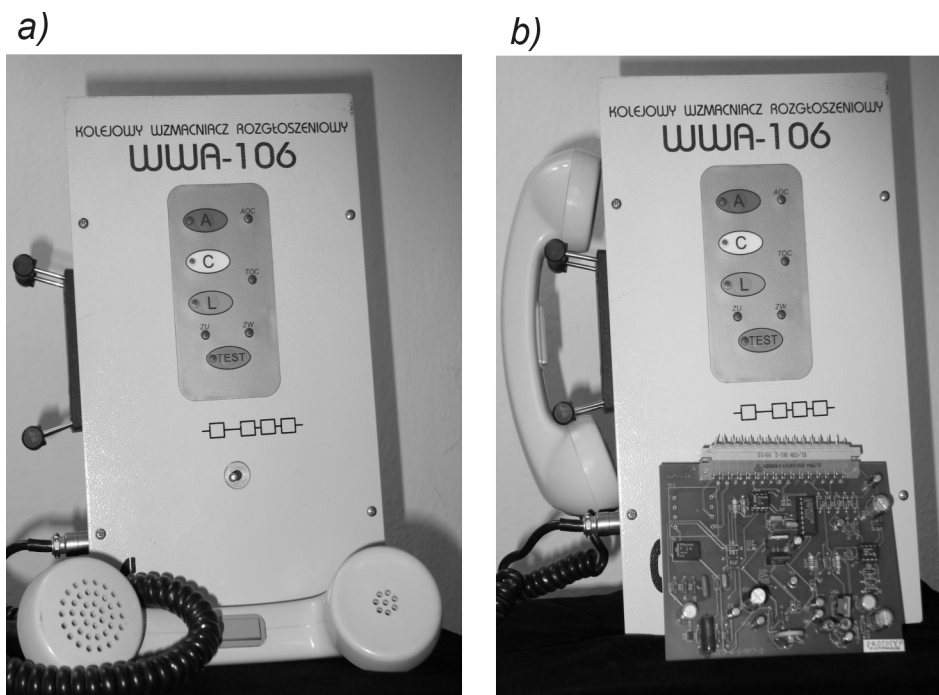
— dla WWA-107k współczynnik gotowości $K_g = 0,9999$, dla próbki $n = 100$ sztuk i okresu badań wynoszącego 2 lata (III etap modernizacji).

Dzięki temu można było sformułować wniosek, że przyjęta panelowa konstrukcja wzmacniacza WWA-105 oraz jego kolejna wersja WWA-106, wprowadzone układy diagnostyczne, staranna obsługa w trakcie eksploatacji, planowanie obsługi i napraw oraz starannie zaprojektowana konstrukcja umożliwiają osiągnięcie bardzo wysokiego wskaźnika gotowości $K_g = 0,999$.

Przedstawiona koncepcja systemu rozgłoszeniowego — po modernizacji — może być zastosowana w jednostkach elektrycznych. W tym celu dla jednostek elektrycznych została opracowana specjalna przetwornica, która umożliwiła zastosowanie opisanego już systemu rozgłoszeniowego.

Otrzymane wyniki dotyczące systemu rozgłoszeniowego typu WWA-107k, który był badany tylko laboratoryjnie (obecnie jest sprawdzana seria informacyjna), świadczą o celowości podjętych prac badawczych nad nową wersją systemu, w której transmisja i stabilizacja sygnałów wyjściowych napięciowych niskoczęstotliwościowych odbywa się na drodze cyfrowej. Uzyskany napięciowy współczynnik stosunku sygnał/szum $k > 60$ dB, przy współczynniku stabilizacji sygnałów napięciowych niskoczęstotliwościowych na poziomie $0,37 \text{ dB} \leq \delta_s \leq 0,5 \text{ dB}$ i zmianach sygnału wejściowego niskoczęstotliwościowego (pochodzącego z przetworników) wynoszącego $\Delta U_{WE} = 22 \text{ dB}$, prowadzi o znacznym poprawieniu jakości informacji docierających do pasażerów.

Na rysunku 19a przedstawiono jedną z wersji wzmacniacza rozgłoszeniowego typu WWA-106 (na rys. 19b widoczny jest moduł przedwzmacniacza zawierającego cyfrowy układ komparatora odpowiedzialny za stabilizację sygnałów akustycznych).



Rys. 19. Wzmacniacz rozgłoszeniowy typu WWA-106

Na rysunku 20 przedstawiono wagonowy system rozgłoszeniowy PZ1, przeznaczony dla warszawskiej SKM.

PZ1 jest elektronicznym urządzeniem służącym do nadawania komunikatu z przedziału służbowego. Jest przeznaczony do stosowania w wagonach pasażerskich, wyposażonych w instalację rozgłoszeniową. Ma sygnalizację działania opartą na wskaźniku diodowym LED i sygnał gongu, który odzywa się po włączeniu zasilania PZ1.



Rys. 20. Wygląd systemu rozgłoszeniowego typu PZ1 dla SKM

BIBLIOGRAFIA

1. *Górecki P.*: Wzmacniacze operacyjne. Wyd. BTC, Warszawa 2002.
2. *Haykin S.*: Systemy telekomunikacyjne. Tom 1 i 2, WKŁ, Warszawa 2001.
3. *Horowitz P., Hill W.*: Sztuka elektroniki. Tom 1 i 2, WKŁ, Warszawa 2001.
4. *Kula S.*: Systemy teletransmisyjne. WKŁ, Warszawa 2004.
5. *Nawrocki W.*: Komputerowe systemy pomiarowe. WKŁ, Warszawa 2002.
6. *Szulec W.*: Stabilizacja sygnałów akustycznych w kolejowych systemach rozgłoszeniowych. Praca doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, 1999.
7. *Ważyńska-Fiók K., Jadźwiński J.*: Niezawodność systemów technicznych. PWN, Warszawa, 1990.
8. *Wesołowski K.*: Systemy radiokomunikacji ruchomej. WKŁ, Warszawa 1999.