



Diagnozowanie parametrów technicznych wzmacniaczy mocy w dźwiękowych systemach ostrzegania

JACEK PAŚ

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych,
00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2,
jacek.pas@wat.edu.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposób diagnozowania stanu technicznego wzmacniacza mocy, który stosowany jest w dźwiękowych systemach ostrzegania (DSO). Systemy Sygnalizacji Pożaru (SSP) oraz DSO są elektronicznymi systemami bezpieczeństwa, których zadaniem jest ochrona życia i zdrowia. SSP służy do skutecznego wykrywania pożaru, natomiast DSO w sytuacjach zagrożenia życia do sprawnego przekazywania informacji o niebezpieczeństwie i drogach ewakuacji za pomocą funkcji głosowej. W artykule przedstawiono zagadnienie diagnozowania stanu technicznego wzmacniaczy mocy, które są zasadniczym elementem DSO. Wzmacniacze mocy dostarczają określony poziom niezniekształconego sygnału akustycznego (komunikaty alarmu) do zestawu głośników, które rozmieszczone są w nadzorowanym przez SSP obiekcie budowlanym.

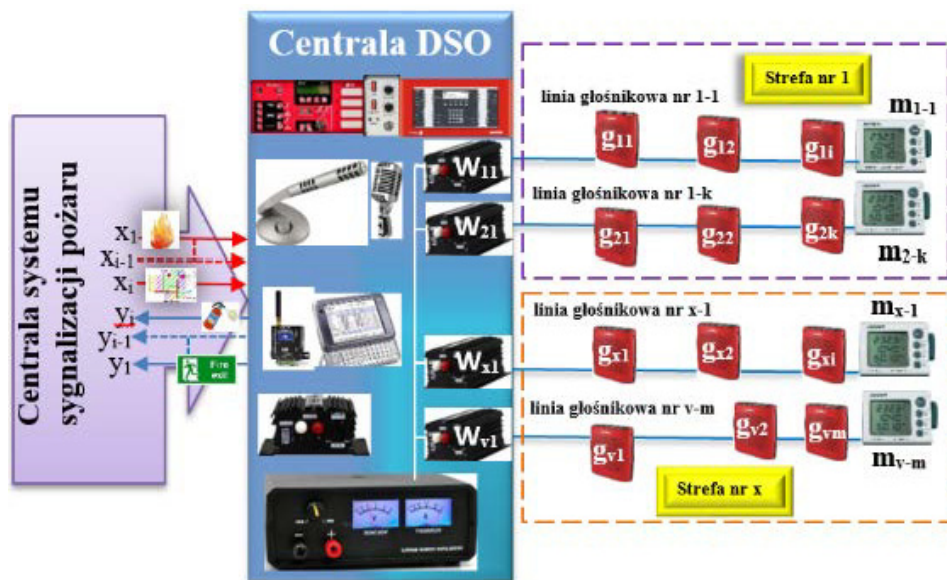
Słowa kluczowe: wzmacniacz, dźwiękowy system ostrzegania, parametry robocze

DOI: 10.5604/01.3001.0010.5394

1. Rozwiązania techniczne dźwiękowych systemów ostrzegania

Dźwiękowy system ostrzegania służy do rozgłaszania sygnałów ostrzegawczych i komunikatów głosowych dla potrzeb bezpieczeństwa osób przebywających w ochranianym obiekcie budowlanym. Komunikaty nadawane są automatycznie po otrzymaniu sygnału z SSP lub ręcznie przez uprawnionego operatora systemu [1, 2, 5]. Obowiązek instalowania systemów został szczegółowo przedstawiony w rozporządzeniu MSWiA z dn. 16.06.2003 r. [1, 5, 8]. Podstawowym zadaniem DSO jest skuteczne przekazywanie zrozumiałych komunikatów głosowych zgodnie ze scenariuszem pożarowym osobom znajdującym się w poszczególnych strefach

zagrożenia (rys. 1). Pomiędzy centralami alarmowymi SSP–DSO następuje wymiana informacji o zagrożeniu pożarowym w obiekcie lub nadzorowanych strefach. Centrala DSO umożliwia także miejscowe (ręczne) nadawanie komunikatów ostrzegawczych poprzez mikrofony podłączone bezpośrednio do wejść wzmacniaczy akustycznych $W_{11}, W_{21}, \dots, W_{v1}$ (rys. 1).



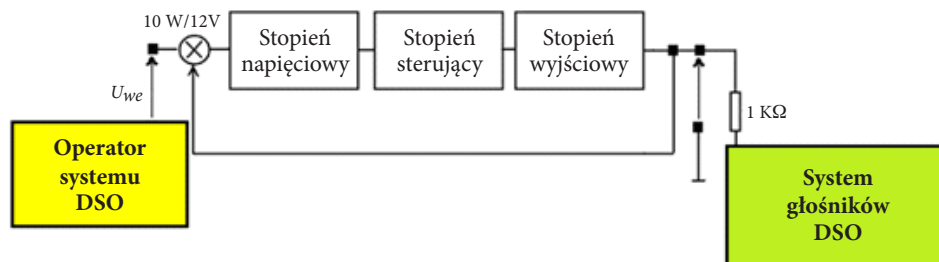
Rys. 1. Zintegrowany system SSP–DSO, wymiana informacji rozgłoszeniowej o zagrożeniu [opracowanie własne]

Wzmocniony sygnał alarmowy poprzez poszczególne magistrale (1-1, 1-k, ..., v-m) transmitowany jest do określonego zestawu głośników ($g_{1-1}, g_{2-1}, \dots, g_{v-m}$), które znajdują się w strefach zagrożenia pożarem nr 1, ..., x obiektu budowlanego (rys. 1). Centrale DSO w sposób automatyczny kontrolują stan techniczny wszystkich urządzeń, które są podłączone na wejścia i wyjścia, tj. np. wzmacniaczy mocy, zasilaczy, mikrofonów oraz magistrali, do których są podłączone zestawy głośnikowe ($g_{1-1}, g_{1-2}, \dots, g_{v-m}$) [6, 11, 12, 13]. Po zainstalowaniu DSO i podczas wykonywania prac profilaktycznych można w sposób ręczny dokonywać pomiaru poziomu mocy sygnału alarmowego za pomocą przyrządów pomiarowych ($m_{1-1}, m_{2-k}, \dots, m_{v-m}$) [2, 3, 4]. Od DSO zgodnie z normą PN-EN-60849 wymaga się określonego poziomu dźwięku i współczynnika wspólnej skali zrozumiałości mowy wynoszącego 0,7 w miejscu odsłuchu. Protokoły pomiarów funkcjonowania DSO, tj. pomiary: głośności w stanie zagrożenia, maksymalnych poziomów sygnałów wyjściowych

wzmacniaczy mocy, poziomów ciśnienia i zrozumiałości dźwięku, dostarcza się użytkownikowi systemu.

2. Parametry techniczne wzmacniaczy mocy wykorzystywanych w DSO

Podstawowym zadaniem wzmacniacza mocy w systemie DSO jest dostarczenie do części układów odbiorczych (obciążenia) odpowiedniej, niezniekształconej mocy użytecznej sygnałów alarmu. Zastosowane w systemie DSO wzmacniacze mocy dostarczają do obciążenia (głośniki) wymaganą moc wyjściową. Sygnał akustyczny z mikrofonu lub urządzenia odtwarzającego dźwięk jest wzmacniany w przedwzmacniaczu [7, 8, 9, 14, 15]. Stopień sterujący zapewnia odpowiedni poziom napięcia dla wzmacniaczy mocy, które są końcowym ogniwem toru wzmacniającego systemu i podłączone są do obciążenia — pojedynczego głośnika lub zestawu (rys. 2). Podstawowe kryterium zastosowania wzmacniaczy mocy w DSO to: duże wzmocnienie

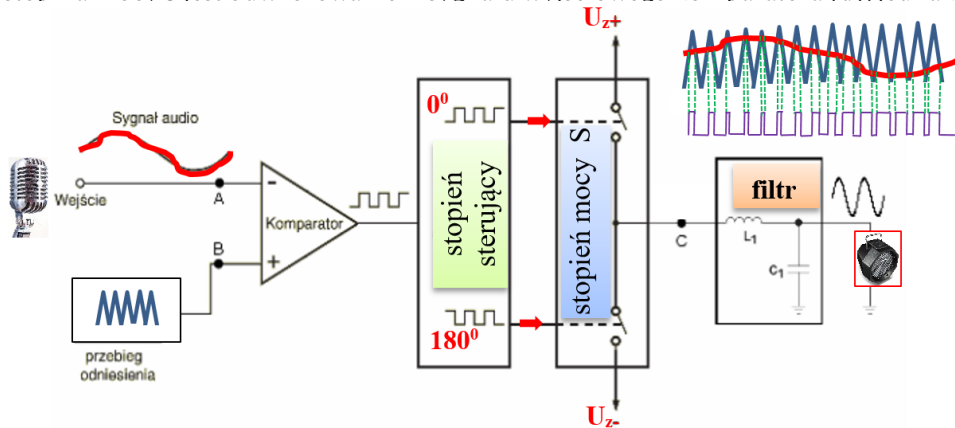


Rys. 2. Schemat funkcjonalny wzmacniacza mocy [opracowanie własne]

mocy, małe zniekształcenia nieliniowe sygnału w paśmie częstotliwości akustycznych, duża sprawność energetyczna [10, 15]. To także maksymalne wykorzystanie dopuszczalnych możliwości granicznych elementów wzmacniających (np. tranzystor) ze względu na moc admisyjną P_{ad} , napięcie U_{CEmax} oraz prąd I_{Cmax} [14, 15, 16].

W DSO jako wzmacniacze mocy wykorzystywane są układy elektroniczne z przetwarzaniem sygnału wejściowego. Zaliczamy do nich wzmacniacze mocy klas D, E, F, G i H [14, 15]. w przypadku wzmacniaczy klasy D, które są najczęściej wykorzystywane w DSO, tranzystory mocy T1, T2 są na przemian kluczowane (całkowicie otwierane lub zamykane) sygnałem sterującym, który jest wytwarzany w komparatorze. We wzmacniaczach mocy klasy D wejściowe układy elektroniczne dokonują konwersji sygnału akustycznego małej częstotliwości na sygnał prostokątny o zmiennym współczynniku wypełnienia d . Wartość współczynnika wypełnienia d (0_{min} , 1_{max}) jest wprost proporcjonalna do chwilowej amplitudy sygnału wejściowego akustycznego, który podlega wzmocnieniu. Konwersja sygnału wejściowego

na przebieg prostokątny o określonym, zmiennym współczynniku wypełnienia przeprowadzana jest z wykorzystaniem komparatora (rys. 3). Na podstawie sygnału uzyskanego na wyjściu komparatora w stopniu sterującym generowane są przebiegi prostokątne (0° i 180°), które sterują tranzystorami stopnia mocy S. Sygnał wyjściowy stopnia mocy S jest odwzorowaniem sygnału wyjściowego komparatora (**d**), jednak

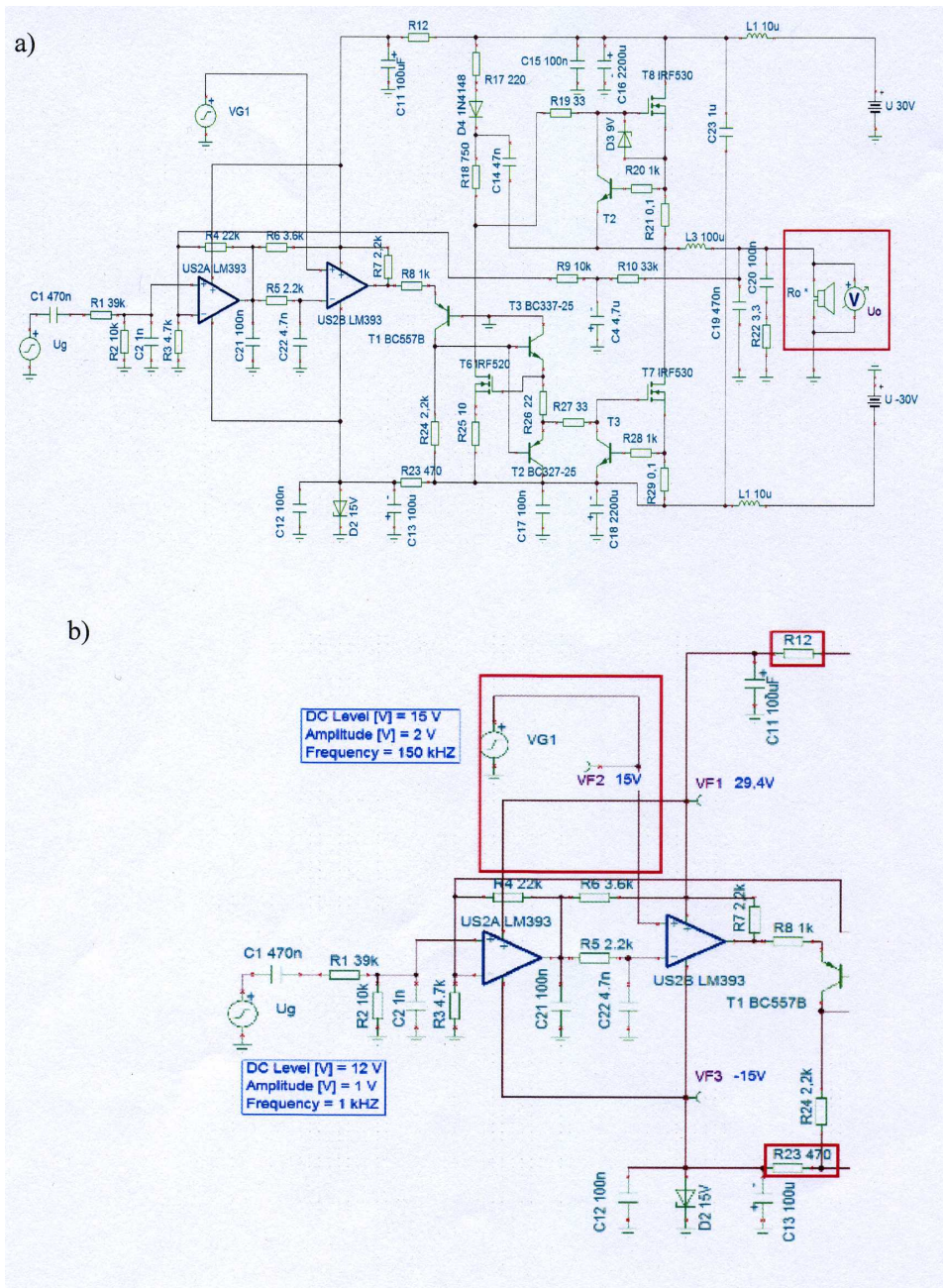


Rys. 3. Schemat funkcjonalny wzmacniacza mocy klasy D [opracowanie własne]

posiada amplitudę napięcia równą sumie napięć zasilających stopień wzmacniacza mocy (U_{z+} , U_{z-}). Rzeczywista sprawność wzmacniacza mocy w klasie D wynosi (70-90) [%].

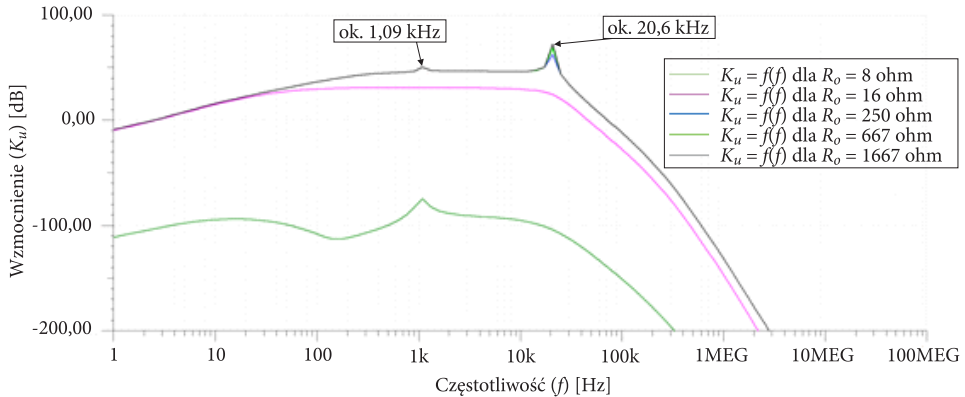
3. Symulacja komputerowa wybranych charakterystyk wzmacniacza klasy D

Przeprowadzono symulację komputerową zaimplementowanego do symulatora Tina Pro wzmacniacza mocy klasy D (rys. 4). Komparator US2B LM393 przetwarza sygnał akustyczny na sygnał zmodulowany, wykorzystując modulację czasu trwania impulsów. Na wejście nieodwracające komparatora podawany jest sygnał piłokształtny wysokiej częstotliwości z generatora napięcia piłokształtnego. w symulatorze układ US1 LM566 wraz z elementami kształtującymi sygnał wyjściowy został zastąpiony generatorem napięcia piłokształtnego (zmiana zaznaczona na rysunku 4. Na wejście odwracające komparatora US2B LM393 podawane jest napięcie sinusoidalne niskiej częstotliwości z generatora U_g , poprzez wzmacniacz US2A LM393. Należy odpowiednio określić wartość częstotliwości sygnału piłokształtnego dla niezniekształconego odtworzenia sygnału wejściowego (podczas symulacji przyjęto wartość 10-krotnie większą od częstotliwości sygnału wejściowego). Układ zasilania zrealizowano za pomocą dwóch zasilaczy symetrycznych o napięciu ± 30 [V]. Istotnym elementem



Rys. 4. Układ wzmacniacza klasy D (a) i jego modyfikacja do przeprowadzenia symulacji komputerowej (b) [opracowanie własne]

wzmacniacza jest układ sterowania kluczami K1 i K2, zrealizowany z wykorzystaniem tranzystorów o strukturze DMOS (T6, T7).

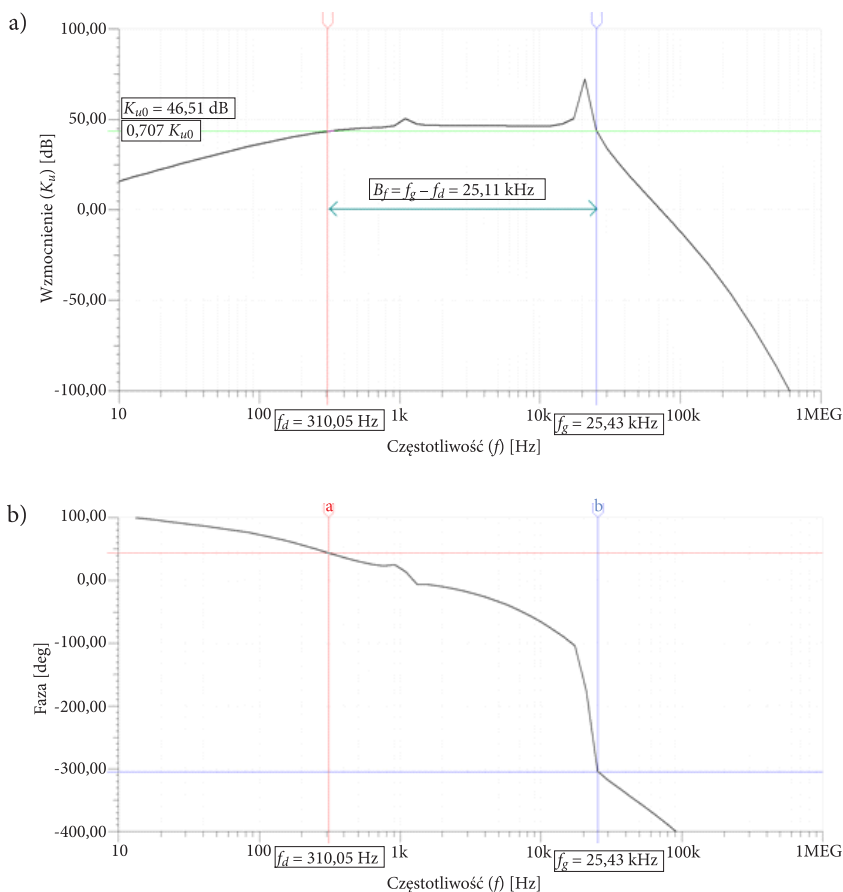


Rys. 5. Charakterystyka amplitudowa częstotliwościowa wzmacniacza klasy D dla różnych wartości rezystancji obciążenia R_o przy stałej wartości rezystancji generatora R_g i napięciu zasilania $\pm U_z$ [opracowanie własne]

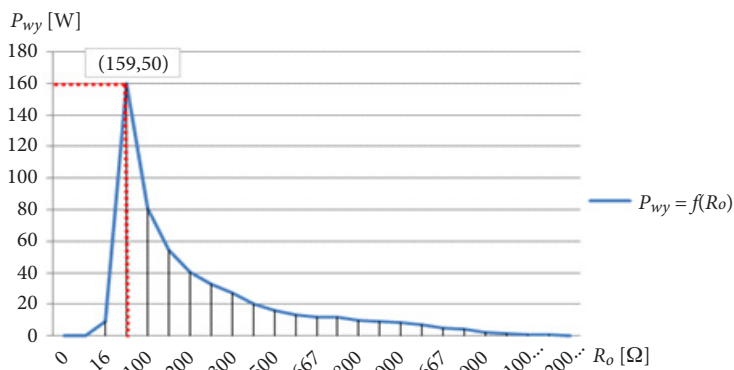
Zadaniem tego układu jest włączanie i wyłączanie naprzemienne tranzystorów — kluczy. Sygnał wyjściowy podawany jest na obciążenie — głośnik systemu DSO przez filtr LC. Na rysunku 4b z wykorzystaniem fragmentu obwodu układu wejściowego wzmacniacza zostały przedstawione parametry sygnałów wejściowych — parametry generatorów U_g oraz V_{G1} . Wartość rezystorów R16 i R23 została określona w taki sposób, aby uzyskać maksymalne wzmocnienie na wyjściu wzmacniacza (rys. 5).

Z otrzymanych wyników symulacji komputerowej można odczytać za pomocą kursorów częstotliwości graniczne wzmacniacza, tj. częstotliwość dolną równą $f_d = 310,05$ [Hz] i częstotliwość górną równą $f_g = 25,43$ [kHz]. Pasma przenoszenia wzmacniaczy klasy D wyniosło $B_f = 25,11$ [kHz] (rys. 6).

Maksymalne wzmocnienie wzmacniacza dla rezystancji obciążenia 1667 [Ω] wynosi $K_{u0} = 46,51$ [dB]. Na rysunku 7 przedstawiono charakterystykę obciążenia wzmacniacza klasy D. Wykres prezentuje zależność użytecznej mocy wyjściowej wzmacniacza klasy D od rezystancji obciążenia, której wartość była zmienna w zakresie od 4 [Ω] do 20 [k Ω]. Sygnałem wejściowym było wymuszenie o następujących parametrach $U_{we} = 200$ [mV] i częstotliwości $f_s = 1$ [kHz]. Na wykresie (rys. 7)



Rys. 6. Charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe (a) i fazowo-częstotliwościowe (b) dla wzmacniacza klasy D dla stałej rezystancji obciążenia wzmacniacza $R_o = 1667 \Omega$ [opracowanie własne]



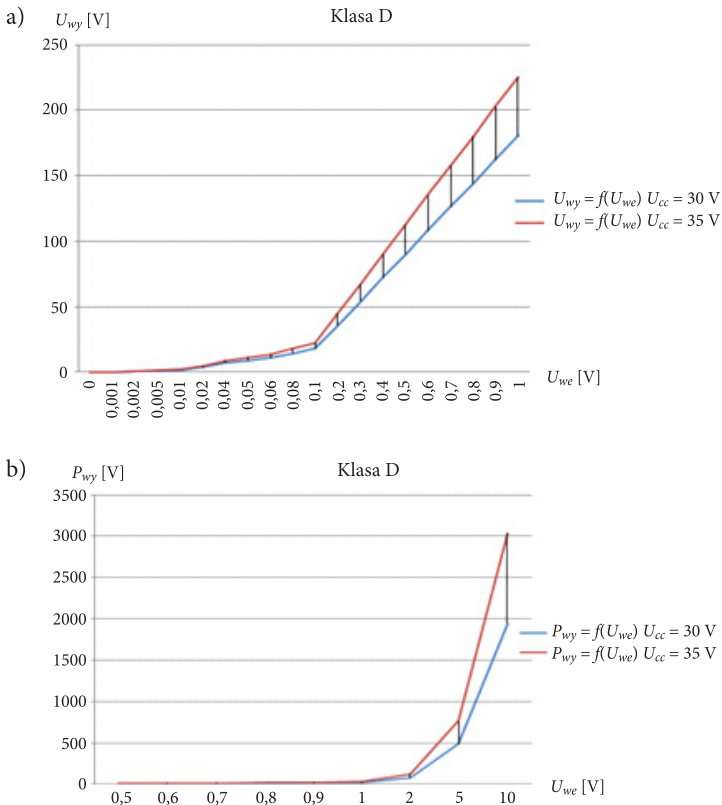
Rys. 7. Charakterystyka obciążeniowa $P_{wy} = f(R_o)$ dla wzmacniacza klasy D dla różnych wartości obciążenia [opracowanie własne]

została wyznaczona optymalna rezystancja R_{opt} , czyli rezystancja, dla której można uzyskać maksymalną moc wyjściową przy ustalonych warunkach sterujących. Moc wyjściowa wzmacniacza klasy D została wyznaczona z wykorzystaniem zależności (1):

$$P_{wyj} = \frac{U_{wyj}^2}{R_l} \quad [\text{W}] \quad (1)$$

4. Wpływ zmian warunków eksploatacyjnych na parametry wzmacniacza klasy D

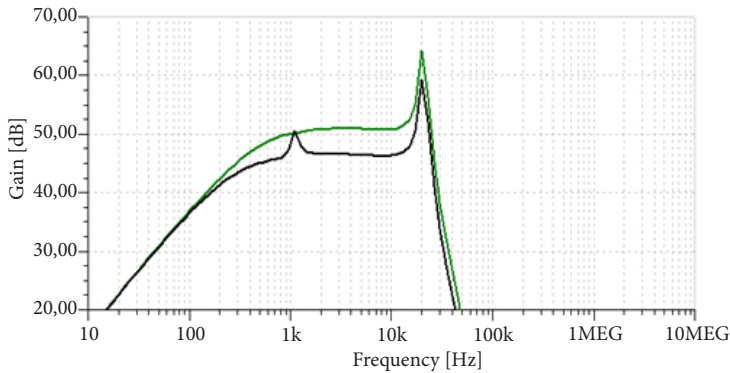
Istotnym elementem analizy komputerowej było określenie wpływu zmian napięcia zasilania wzmacniacza mocy klasy D na parametry robocze, tj. wzmocnienie napięciowe i mocy oraz charakterystykę przejściową. Na rysunku 8a przedstawiono wpływ zmian napięcia zasilania na charakterystykę przejściową wzmacniacza, a na rysunku 8b zmianę wzmocnienia wzmacniacza mocy klasy D dla dwóch przypadków zmiany



Rys. 8. Wpływ zmian napięcia zasilania wzmacniacza na charakterystykę przejściową $U_{wyj} = f(U_{we})$ (a) i moc wyjściową (b) [opracowanie własne]

napięcia zasilania $U_{cc} = 30$ i $U_{cc} = 35$ [V]. Parametry sygnału sterującego i obciążenia zostały ustalone na poziomie $U_{we} = 1$ [V], $f_s = 1$ [kHz], $R_o = 1667$ [Ω]. Na rysunku 9 przedstawiono charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową wzmacniacza klasy D. Napięcie zasilania U_{cc} zostało zmniejszone lub zwiększone podczas wykonywania symulacji komputerowej w stosunku do podstawowego napięcia układu wzmacniacza, tj. 30 [V] — symetrycznie tak, aby różnica napięć wynosiła w sumie 10 [V].

Dla wzmacniacza klasy D ustalenie symetrycznego napięcia zasilania poniżej 30 [V] powoduje spadek napięcia wyjściowego do wartości rzędu nV (brak sygnału



Rys. 9. Wpływ zmian napięcia zasilania wzmacniacza klasy D na charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową [opracowanie własne]

wyjściowego, szumy własne wzmacniacza). Na rysunku 9 można zauważyć wzrost (w przypadku zwiększenia napięcia U_{cc} — kolor zielony) lub znaczny spadek (zmniejszone napięcie U_{cc} — kolor czarny) wzmocnienia napięciowego w stosunku do napięcia zasilania podstawowego. Zwiększenie napięcia zasilania U_{cc} do wartości znamionowej 35 [V] powoduje zwiększenie wzmocnienia w zakresie częstotliwości średnich wzmacniacza.

5. Podsumowanie

Celem przeprowadzonych symulacji komputerowych było określenie podstawowych charakterystyk wyjściowych wzmacniacza klasy D, który jest wykorzystywany w DSO, oraz wyznaczenie parametrów roboczych wzmacniaczy klasy D — np. pasma przenoszenia, zakresu przenoszonych częstotliwości akustycznych, maksymalnego wzmocnienia itd. Symulację komputerową przeprowadzono z wykorzystaniem aplikacji Tina Pro. w wyniku symulacji komputerowych uzyskano dla wzmacniacza klasy D maksimum mocy wyjściowej dla rezystancji obciążenia równej $R_o = 50$ [Ω]. Maksymalna moc wyjściowa P_{wy} [W] dla tej wartości rezystancji obciążenia wyniosła

$P_{wy} = 159$ [W]. Do wzmacniacza w celu wyznaczenia parametrów był podłączony zewnętrzny generator sinusoidalny o następujących parametrach: amplituda sygnału $U_{we} = 200$ [mV] i częstotliwość sygnału wejściowego równa $f_s = 1$ [kHz]. Z otrzymanych po symulacji komputerowej charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych można zauważyć, że wzmacniacz klasy D wzmacnia sygnały wejściowe już dla bardzo małych wartości rezystancji obciążenia $R_o = 16 \Omega$. Zmiana wartości rezystancji obciążenia powoduje zwiększenie wzmocnienia, co przedstawiono w tabeli 1. Jednocześnie występuje zmiana częstotliwości granicznych — dolnych i górnych, co powoduje zmianę pasma przenoszenia wzmacniacza klasy D — częstotliwość górna z 15,42 [kHz] do 25,17 [kHz] dla rezystancji obciążenia równej $R_o = 10$ [k Ω].

TABELA 1

Parametry robocze wzmacniacza mocy klasy D dla różnych wartości rezystancji obciążenia R_o układu

Typ wzmacniacza		Klasa D			
Rezystancja obciążenia R_o	Ω	16	50	1667	10 000
Wzmocnienie $K_{u \max}$	dB	30,8	46,5	43,1	41,6
Dolna częstotliwość graniczna f_d	Hz	54,3	312,5	320	317,5
Górna częstotliwość graniczna f_g	kHz	15,48	24,32	25,47	25,49
Pasma przenoszenia B_f	kHz	15,42	24	25,14	25,17

Podczas zwiększania rezystancji obciążenia R_o wzmacniacza klasy D pojawia się podbicie charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej w zakresie średnich częstotliwości, na granicy pasma akustycznego wzmacnianych sygnałów alarmowych — 20 [kHz] (rys. 9). Wzmacniacz mocy klasy D jest układem elektronicznym bardzo wrażliwym na zmiany napięcia zasilania, co potwierdziły przeprowadzone symulacje komputerowe — zmiana parametrów źródła zasilania. Dlatego w rozwiązaniach praktycznych należy stosować w zasilaczach stabilizatory napięcia wyjściowego, które uniezależniają nas od napięcia sieci przemysłowej — 230 [V] AC [1, 5, 17]. W przypadku wzmacniacza klasy D ustalenie symetrycznego napięcia zasilania poniżej ± 30 [V] powoduje „zatkanie” wzmacniacza, sygnał wyjściowy jest równy zero. Zwiększenie napięcia zasilania $\pm U_{cc}$ do wartości 35 [V] powoduje znaczny wzrost wzmocnienia wzmacniacza klasy D.

Praca finansowana z Projektu Badawczego Statutowego nr 928/2016.

Artykuł opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na konferencji „XI Szkoła-Konferencja MWK 17 — Metrologia Wspomagana Komputerowo”, Waplewo, 23-26 maja 2017 r.

Artykuł wpłynął do redakcji 10.07.2017 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 30.08.2017 r.

LITERATURA

- [1] DYDUCH J., PAŚ J., ROSIŃSKI A., *Basics of maintaining electronic transport systems*, Publishing House of Radom University of Technology, Radom, 2011.
- [2] PAŚ J., *Analysis of exploitation access control system selected object*, Przegląd Elektrotechniczny, no 10, r. 91, 2015, pp. 219-224.
- [3] PAŚ J., SIERGIEJCZYK M., *Interference impact on the electronic safety system with a parallel structure*, Diagnostyka, 2016.
- [4] PAŚ J., *Operation of electronic transportation systems*, Publishing House University of Technology and Humanities, Radom, 2015.
- [5] ROSIŃSKI A., *Modelling the maintenance process of transport telematics systems*, Publishing House Warsaw University of Technology, Warsaw, 2015.
- [6] SIERGIEJCZYK M., PAŚ J., ROSIŃSKI A., *Issue of reliability — exploitation evaluation of electronic transport systems used in the railway environment with consideration of electromagnetic interference*, IET Intelligent Transport Systems, vol. 10, issue 9, 2016, pp. 587-593.
- [7] LEWIŃSKI A., PERZYŃSKI T., TORUŃ A., *The analysis of open transmission standards in railway control and management*, in Communications in Computer and Information Science, vol. 329, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany, 2012, pp. 10-17.
- [8] ŁUBKOWSKI P., LASKOWSKI D., *Selected issues of reliable identification of object in transport systems using video monitoring services*, Communication in Computer and Information Science, vol. 471, Springer: Berlin Heidelberg, 2015, pp. 59-68.
- [9] SIERGIEJCZYK M., ROSIŃSKI A., PAŚ J., *Analysis of unintended electromagnetic fields generated by safety system control panels*, Diagnostyka, vol. 17, no. 3, 2016, pp. 35-46.
- [10] STAWOWY M., *Model for information quality determination of teleinformation systems of transport*, in Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014, Wroclaw, Poland, 2015, pp. 1909-1914.
- [11] SUMILA M., *Selected aspects of message transmission management in ITS systems*, in Telematics in the Transport Environment, vol. 329, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany, 2012, pp. 141-147.
- [12] ŻÓŁTOWSKI B., NIZIŃSKI S., *Modelowanie procesów eksploatacji maszyn*, AT-R, Bydgoszcz, 2002.
- [13] LEWITOWICZ J., KUSTROŃ K., *Podstawy eksploatacji statków powietrznych*, t. 1-6, ITWL, Warszawa, 2003.
- [14] DOBROWOLSKI A., JACHNA Z., MAJDA-ZDANCEWICZ E., WIERZBOWSKI M., *Elektronika, ależ to proste*, BTC, Legionowo, 2013.
- [15] DOBROWOLSKI A., KOMUR P., SOWIŃSKI A., *Projektowanie i analiza wzmacniaczy małosygnałowych*, BTC, 2005.
- [16] PAWŁOWSKI J., *Podstawowe układy elektroniczne*, WKŁ, 1980.
- [17] PAŚ J., *Analiza niezawodnościowa systemu zasilania energią elektryczną mobilnych systemów biometrycznych*, Prace Naukowe Transport, z. 100, Politechnika Warszawska, Warszawa, 2014.

J. PAŚ

Diagnosis of technical parameters of amplifiers used in sound warning systems

Abstract. The article presents a method of diagnosing the technical conditions of a power amplifier which is used in a sound warning system (SWS). Fire Alarm Systems (FAS) and SWSs are electronic safety systems designed to protect life and health. The FAS is used for effective fire detection, while life-threatening SWSs provide efficient communication of emergency information and evacuation routes

via voice. The article presents the problem of diagnosing the technical condition of power amplifiers, which are the essential elements of SWSs. Power amplifiers provide a certain level of undistorted audio (alarm messages) to the speaker set that is arranged in a building supervised by FAS.

Keywords: amplifier, audible warning system, working parameters

DOI: 10.5604/01.3001.0010.5394