

mgr PAWEŁ GÓRSKI  
dr inż. WIKTOR M. ZAWIESKA  
Centralny Instytut Ochrony Pracy

## System aktywnej redukcji hałasu o przebiegu okresowym

W środowisku pracy i życia człowieka często mamy do czynienia z hałasami o przebiegu okresowym (hałas transformatorów, wentylatorów, pomp itp.). Nierzadko jest to źródło hałasu niskoczęstotliwościowego o charakterze wąskopasmowym. Widmo hałasu emitowanego przez wymienione urządzenia charakteryzuje się wyraźnymi wyróżnionymi składowymi tonalnymi o częstotliwościach stanowiących wielokrotność częstotliwości sieci zasilającej. W ramach badań prowadzonych w CIOP opracowano system aktywnej redukcji hałasu (ARH), zoptymalizowany pod kątem redukcji hałasów o przebiegu okresowym. W wyniku analiz teoretycznych i badań laboratoryjnych, do zastosowania w warunkach rzeczywistych wybrano układ z filtrami wycinającymi w postaci równoległej, dla którego uzyskano najlepsze parametry akustyczne i użytkowe.

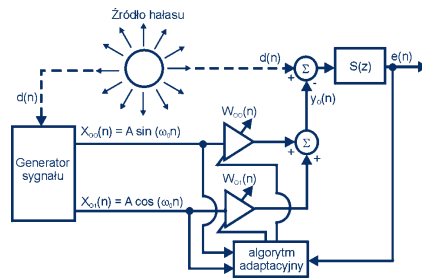
### Układ ARH

Konstrukcja systemu ARH transformatora energetycznego została oparta na założeniach uniwersalnego systemu do badań nad aktywną kompensacją parametrów pola akustycznego, zbudowanego w Pracowni Aktywnych Metod Redukcji Hałasu Centralnego Instytutu Ochrony Pracy [4, 7].

W projekcie układu ARH uwzględniono uwagi wynikające z eksploatacji uniwersalnego systemu. Wprowadzono syntezę ekwiwalentu sygnału odniesienia, eliminując konieczność stosowania klasycznego detektora pomiarowego, jakim jest mikrofon [1, 2]. Pomińnięcie mikrofonu jako elementu mierzącego parametry hałasu jest podejściem jak najbardziej pożądanym, gdyż eliminuje się w ten sposób sprzężenie akustyczne pomiędzy źródłem wtórnym i tymże mikrofonem. Po zminimalizowaniu wpływu wzajemnego usytuowania w przestrzeni elementów pomiarowych i wykonawczych o stabilnej pracy systemu aktywnej redukcji decyduje głównie zastosowany algorytm

adaptacyjny. Do wytworzenia sygnału odniesienia kontrolera wąskopasmowego systemu ARH stosuje się syntezatory lub generatory sygnałów okresowych synchronizowane z sygnałem emitowanym przez źródło hałasu [3, 6]. Wprowadzono dodatkowe zabezpieczenie kontrolera przed przesterowaniem torów wykonawczych, które umieszczono wewnątrz procedur realizujących algorytm adaptacyjny. Zabezpieczenie wykazało swoją skuteczność podczas badań wykonywanych w warunkach rzeczywistych.

Podstawową strukturę kontrolera z adaptacyjnym filtrem wycinającym dla sygnału w postaci pojedynczego tonu [5] przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. System aktywnej redukcji hałasu z pojedynczym adaptacyjnym filtrem wycinającym:  $d(n)$  – sygnał kompensowany;  $y_0(n)$  – sygnał kompensujący;  $e(n)$  – sygnał błędny;  $S(z)$  – transmitancja wtórnej ścieżki sygnału

Zakładamy, że sygnał wzorcowy  $d(n)$  ma postać tonu o pulsacji  $\omega_0$  i przesunięciu fazy  $\varphi_0$ :

$$d(n) = A_0 \cos(\omega_0 n + \varphi_0) \quad (1)$$

Generator zsynchronizowany ze źródłem hałasu wąskopasmowego wytwarza sygnał odniesienia składający się z dwóch składników:

$$\begin{aligned} x_{00}(n) &= A \cos(\omega_0 n) \\ x_{01}(n) &= A \sin(\omega_0 n) \end{aligned} \quad (2)$$

Sygnał kompensujący  $y(n)$  uzyskiwany jest w wyniku następującej operacji (filtrowania):

$$y(n) = w_{00}(n)x_{00}(n) + w_{01}(n)x_{01}(n) \quad (3)$$

*Praca wykonana w ramach programu wieloletniego (b. SPR-1) pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych. Główny koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy*

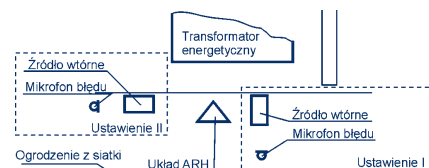
Sygnał błędny jest minimalizowany przez zastosowanie algorytmu najmniejszych, średnich kwadratów LMS, który aktualizuje wagi  $w_{00}$  oraz  $w_{01}$  filtra wycijnającego zgodnie z zależnościami:

$$\begin{aligned} w_{00}(n+1) &= w_{00}(n) + \mu x_{00}(n)e(n) \\ w_{01}(n+1) &= w_{01}(n) + \mu x_{01}(n)e(n) \end{aligned} \quad (4)$$

Przedstawiona struktura przeznaczona do redukcji hałasu w postaci pojedynczego tonu może być przez zastosowanie równoległych struktur dostosowana do redukcji hałasu, w skład którego wchodzi kilka częstotliwości. Dla  $n$  składowych kontroler zawiera  $n$  adaptacyjnych filtrów wycinających. Każdy z tych filtrów przetwarza wewnętrznie wygenerowane sygnały sinusoidalne (kosinusoidalne) o częstotliwościach odpowiadających częstotliwościom składowym redukowanego hałasu. Sygnały wyjściowe (kompensujące) filtrów podawane są na wspólny węzeł sumacyjny, z którego sygnał wyjściowy przeznaczony jest do zasilania źródła wtórnego. Sygnał błędny jest wspólny dla wszystkich filtrów wycinających.

### Pomiary

Dla opracowanego układu przeprowadzono pomiary testujące przy dwóch różnych ustawieniach źródeł wtórnych i mikrofonu błędny. Szkic obu ustawień przedstawiono na rys. 2.



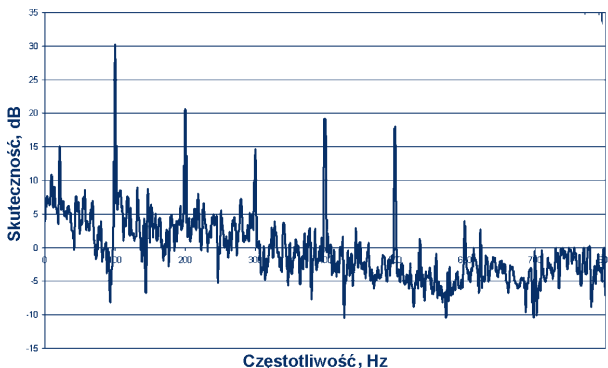
Rys. 2. Schemat ustawień mikrofonu błędny i źródła wtórnego podczas pomiarów testujących

System aktywnej redukcji hałasu przed rozpoczęciem pracy powinien być prawidłowo skonfigurowany. Ten złożony proces dotyczy zarówno odpowiedniego rozmieszczenia elementów pomiarowych i wykonawczych, jak również ustalenia parametrów algorytmu sterującego zaimplementowanego w kontrolerze. W ramach badań laboratoryjnych opracowano procedury uruchomieniowe systemu aktywnej redukcji, które następnie zostały zweryfikowane podczas pomiarów w warunkach rzeczywistych. Sprawdzone poprawność działania algorytmu dla poszczególnych składowych sygnału z zakresu działania układu przez ustalenie odpowiedniej odległości mikrofonu błędu od źródła wtórnego i zdefiniowanie przesunięć fazowych pomiędzy sygnałem kompensowanym i kompensującym oddzielnie dla każdej badanej składowej harmonicznej. Pomiar wykonano dla różnych parametrów kontrolera, ze szczególnym uwzględnieniem redukcji wielu składowych harmonicznym zawartych w hałasie transformatora.

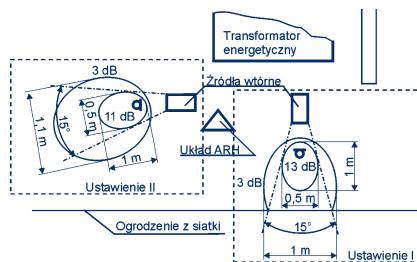
**Wyniki**

Na rys. 3. przedstawiono skuteczność aktywnej redukcji hałasu transformatora obliczoną jako różnica poziomów przy wyłączonym i włączonym systemie aktywnej redukcji.

Strefy aktywnej redukcji, tj. obszary przestrzeni, w których zaobserwowano redukcję hałasu spowodowaną działaniem



Rys. 3. Skuteczność aktywnego tłumienia układu z algorytmem wewnętrznej generacji sygnału odniesienia o częstotliwościach 100, 200, 300, 400 i 500 Hz



Rys. 4. Strefy aktywne wyznaczone podczas pracy systemu aktywnej redukcji

układu ARH, są zbliżone kształtem do obszarów sferycznych o średnicy 1 m. Widok stref aktywnych dla ustawienia I i II przedstawiono na rys. 4.

Pomiary wykonano w płaszczyźnie na wysokości 1 m nad powierzchnią ziemi. Podczas eksperymentu system aktywnej redukcji pracował w trybie dwukanałowym (dwa mikrofony błędny i dwa źródła wtórne). Obszar pomiaru był ograniczony z jednej strony przez badany transformator, z drugiej przez otaczające go obiekty rozdzielni energetycznej. Pomiar wykazały, że strefa ciszy, której granice określają wartości redukcji hałasu równe 3 dB stanowią stożki o kącie bryłowym około 15 stopni. Wyniki pomiarów w trybie dwukanałowym pokrywają się z wynikami uzyskanymi w trybie jednokanałowym dla dwóch ustawień źródeł wtórnych. Oznacza to, że stosując układy wielokanałowe można zwiększać strefy aktywnej redukcji przez odpowiedni dobór położenia źródeł wtórnych, tak aby strefy

związane z poszczególnymi źródłami nie pokrywały się. Podejście polegające na nakładaniu stref aktywnej redukcji w celu zwiększenia skuteczności działania systemu aktywnej redukcji nie jest prawidłowe, bowiem wzajemne oddziaływanie źródeł wtórnych powoduje wręcz pogorszenie uzyskiwanych wyników.

\*  
\* \*

Najlepsze parametry użytkowe uzyskano dla systemu aktywnej redukcji skonfigurowa-

nego jako układ wąskopasmowy z adaptacyjnymi filtrami wycinającymi pracującymi równolegle. Skuteczność redukcji hałasu w zakresie częstotliwości 100÷500 Hz dla składowych harmonicznym dochodziła do 30 dB, natomiast w skali liniowej uzyskano redukcję poziomu ciśnienia akustycznego o 11÷13 dB. Rozmiar obszarów, gdzie obserwowany jest efekt aktywnej redukcji, zależy od parametrów akustycznych źródła hałasu, wzajemnego położenia źródła hałasu, źródła wtórnego i mikrofonu błędny oraz parametrów środowiska akustycznego, w którym te elementy są zlokalizowane.

Uzyskanie pełnego efektu aktywnej redukcji jest możliwe, gdy źródło wtórne jest zlokalizowane w bezpośrednim sąsiedztwie źródła hałasu, tak aby możliwe było jego bezpośrednie oddziaływanie na charakterystyki promieniowania źródła hałasu.

**PIŚMIENNICTWO**

[1] Hulings III W.J. *Noise cancellation technologies, Inc. – products and developments*, Proc. Inter-noise 94, s. 2201-2202, 1994

[2] Kuo S.M., Morgan D.R. *Active noise control systems – algorithms and DSP implementations*, Wiley Series in Telecommunications and Signal Processing, John Wiley and Sons, 1996

[3] Lee S.M., Lee H.J., Yoo Ch.H., Youn D.H., Cha I.W. *An active noise control algorithm for controlling multiple sinusoids*, J. Acoust. Soc. Am., (1) 104, s. 248-254, 1998

[4] Makarewicz G., Morzyński L. i inni *Optymalizacja układu aktywnej kompensacji parametrów pola akustycznego pod kątem stabilności pracy w warunkach rzeczywistych*, sprawozdanie z zadania badawczego 03.8.11 wykonanego w ramach programu wieloletniego „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy”, CIOP, Warszawa 1998-2000

[5] Na H.S. *Active tonal noise canceller with frequency tracking*, Proc. Inter-noise 96, s.1151-1154, 1996

[6] Usagawa T., Shimada Y., Nishimura Y., Ebata M. *Active control of periodic noise using motion feedback*, Proc. Inter-noise 94, Yokohama, Japan, s.1203-1206, 1994

[7] Zawieska W., Górski P. i inni *Analiza i synteza układu aktywnej redukcji hałasu wytwarzanego przez transformatory energetyczne*, sprawozdanie z zadania badawczego 03.8.12 wykonanego w ramach programu wieloletniego „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy”, CIOP, Warszawa 1998-2001