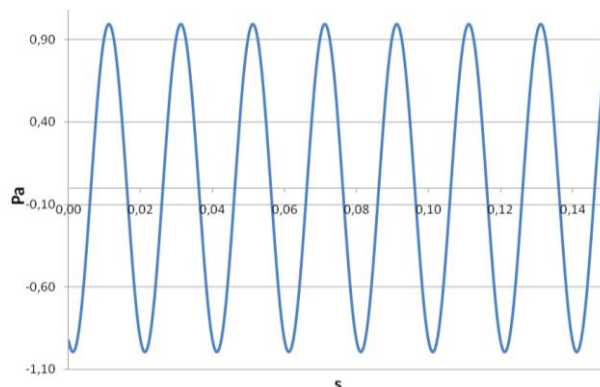

ZASTOSOWANIE SIECI NEURONOWYCH W SYSTEMACH AKTYWNEJ REDUKCJI HAŁASU Z UWZGLĘDNIENIEM ZJAWISK O CHARAKTERZE NIELINIOWYM

WPROWADZENIE

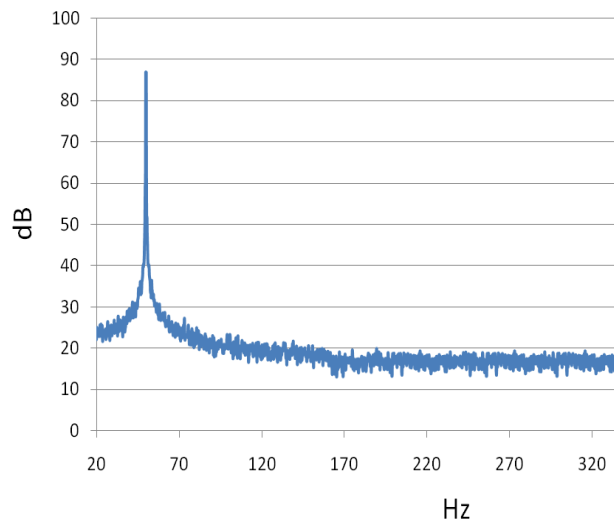
Zwalczanie hałasu przy pomocy metod aktywnych redukcji hałasu polega na zastosowaniu dodatkowych, odpowiednio sterowanych źródeł dźwięku, których zadaniem jest emisja wtórnej fali akustycznej odwróconej w fazie względem fali pierwotnej (hałasu). Interferencji fal pierwotnej i wtórnej prowadzi do obniżenia wartości ciśnienia akustycznego.

Użyteczność metod aktywnych i możliwość ich zastosowania w praktyce w dużej mierze zależy od sposobu sterowania pracą źródła wtórnego. Większość znanych obecnie systemów aktywnej redukcji hałasu działa wykorzystując w tym celu liniowe adaptacyjne filtry cyfrowe. Użycie tego rodzaju filtrów w układach akustycznych, w których występują zjawiska nieliniowe może prowadzić do obniżenia skuteczności systemu ARH a nawet powodować wzrost wartości ciśnienia akustycznego.

Nieliniowy charakter toru, przez który transmitowany jest sygnał akustyczny powoduje zniekształcenia tego sygnału, co objawia się powstawaniem dodatkowych składowych harmonicznych w jego widmie. Dla zobrazowania tego zjawiska poniżej podano przykładowe wyniki pomiarów sygnału akustycznego transmitowanego przez metalową, kwadratową płytę zamocowaną sztywno na krawędziach sześcienu wykonanego z drewna. W sześcienu zamocowano głośnik, do którego doprowadzono napięcie sinusoidalne o częstotliwości 50Hz. Na Rys. 1 przedstawiono przebieg zmian ciśnienia akustycznego dźwięku generowanego przez głośnik przed zamocowaniem płyty do sześcienu. Analiza FFT sygnału pokazuje występowanie jedynie składowej podstawowej w widmie tego sygnału Rys. 2.

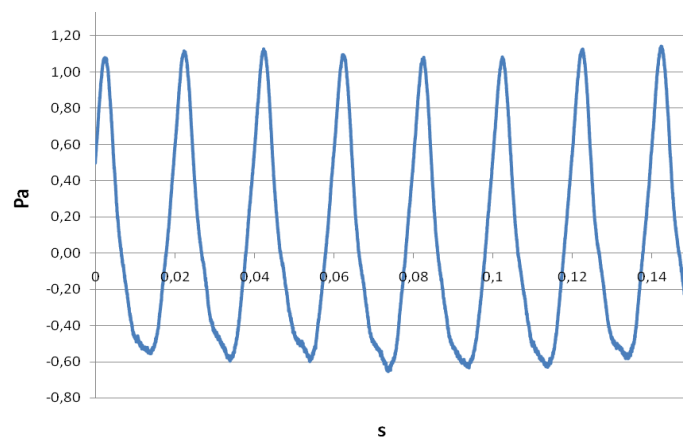


Rys. 1. Przebieg czasowy ciśnienia akustycznego wytworzonego przez głośnik zasilany napięciem sinusoidalnym o częstotliwości 50Hz.

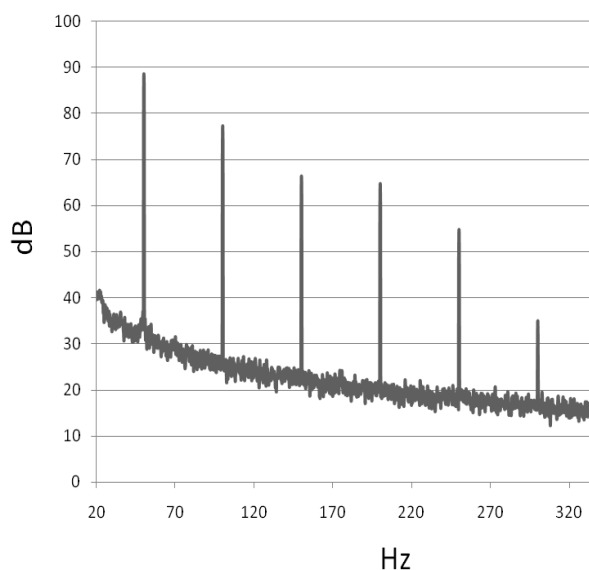


Rys. 2. Widmo sygnału akustycznego generowanego przez głośnik zasilony napięciem sinusoidalnym o częstotliwości 50Hz.

Po zamocowaniu płyty do sześcianu przebieg zmian ciśnienia akustycznego dźwięku emitowanego przez pobudzaną do drgań płytę był jak przedstawiono na Rys. 3. Analiza FFT tego sygnału pokazała obecność w jego widmie szeregu harmonicznycy częstotliwości pobudzającej (Rys. 4).



Rys. 3. Przebieg czasowy ciśnienia akustycznego wytworzonego przez sztywno umocowaną płytę stalową pobudzoną falą akustyczną o częstotliwości 50Hz.



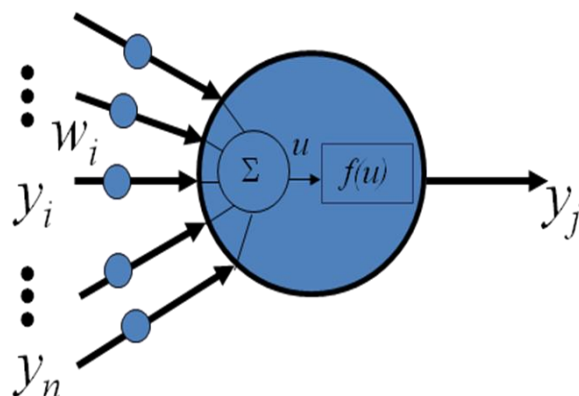
Rys. 4. Widmo sygnału akustycznego generowanego przez płytę kwadratową pobudzaną do drgań sygnałem tonalnym 50Hz.

Rozwiązaniem przedstawionego wyżej problemu może być zastosowanie w systemie aktywnej redukcji hałasu filtra nieliniowego, zdolnego do odwzorowania zjawisk nieliniowych w układzie akustycznym. Narzędziem spełniającym takie wymaganie są sztuczne sieci neuronowe. Ich główną cechą jest zdolność aproksymacji funkcji nieliniowych. Cecha ta uczyniła sieci neuronowe narzędziem szeroko wykorzystywanym w wielu dziedzinach nauki i techniki. Najważniejsze z nich to teoria sterowania, statystyka oraz systemy rozpoznawania wzorców.

Różnorodność struktur sieci oraz strategii ich uczenia (adaptacji) stały się przyczyną do podjęcia w Pracowni Aktywnych Metod Redukcji Hałasu CIOP-PIB kompleksowych badań nad zastosowaniem sieci neuronowych w systemach ARH z uwzględnieniem zjawisk nieliniowych.

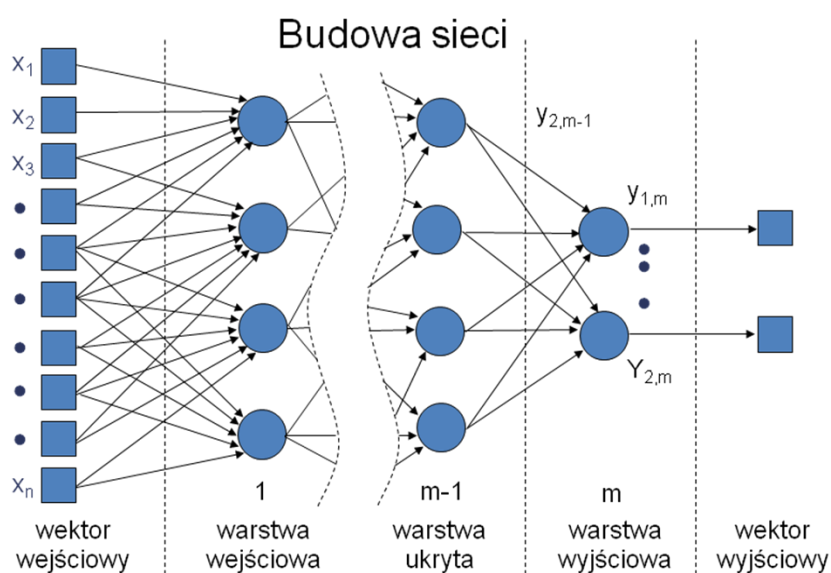
SIECI NEURONOWE

Początki sztucznych sieci neuronowych sięgają pierwszej połowy lat czterdziestych ubiegłego stulecia, kiedy to McCulloch i Pitts stworzyli na potrzeby badań nad organizmami żywym pierwszy model neuronu (Rys. 5)



Rys. 5. Model neuronu

Jest on wyposażony w wejścia umożliwiające mnożenie sygnałów wchodzących y_i przez pewną wagę w_{ij} , sumatora oraz funkcji aktywacji $f(u_j)$. Wartość wyjściowa neuronu y_j jest wynikiem przekształcenia sumy u_i ważonych sygnałów wejściowych przez funkcję aktywacji. Połączone ze sobą neurony tworzą sieć neuronową (Rys. 6).



Rys. 6. Sieć neuronowa

Sygnały wewnątrz sieci mogą przepływać tylko w jednym kierunku, od wejścia do wyjścia lub w dwóch kierunkach dzięki sprzężeniu zwrotnemu. Sieci, o propagacji sygnału tylko w jednym kierunku zwane są sieciami jednokierunkowymi (ang. *Feedforward Neural Network*), natomiast sieci ze sprzężeniem zwrotnym noszą nazwę sieci rekurencyjnych (ang. *Recurrent Neural Network*). Drugim z kryteriów podziału stanowi ilość warstw neuronów w sieci. Sieć z jedną warstwą neuronów nazywana jest jednowarstwową (ang. *Single Layer Neural Network*), natomiast z wieloma - wielowarstwową (ang. *Multi Layer Neural Network*). Jeśli sieć posiada warstwy, które nie mają bezpośredniego połączenia z wektorem wejściowym lub wyjściowym, to takie warstwy nazywane są warstwami ukrytymi (ang.

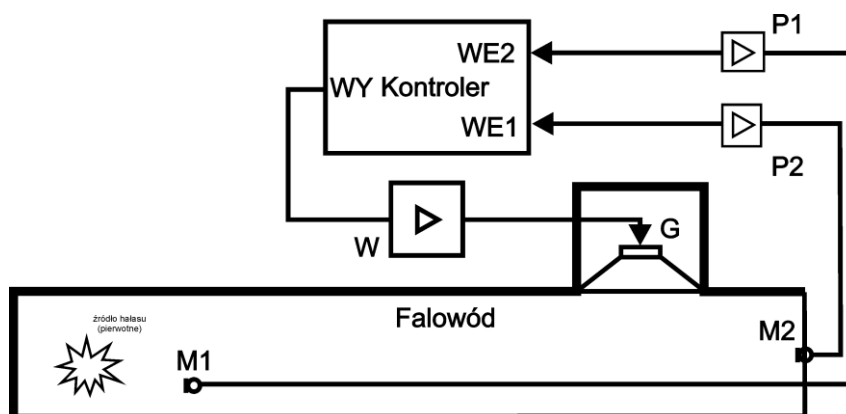
hidden layer). Każdy neuron warstwy ukrytej jest połączony z każdym neuronem warstwy poprzedniej i następnej. Taka sieć nosi nazwę sieci w pełni połączonej. W pewnych przypadkach wybrane połączenia celowo przerywa się. Wtedy sieć nazywa się siecią częściowo połączoną.

Jedną z podstawowych właściwości sieci neuronowych jest ich zdolność uczenia. Celem procesu uczenia jest dobór wag neuronów pozwalający spełnienie przez sieć pewnych założonych wymagań co do odwzorowania danych wejściowych w wyjściowe. Istnieją dwa podstawowe warianty uczenia sieci neuronowej: uczenie z nauczycielem i bez nauczyciela.

W odniesieniu do układów aktywnej redukcji hałasu zastosowanie znajdują metody uczenia z nauczycielem, w których minimalizacja funkcji celu odbywa się przy zastosowaniu metod gradientowych. W dalszej części rozdziału przedstawiono podstawowe informacje dotyczące tej metody uczenia.

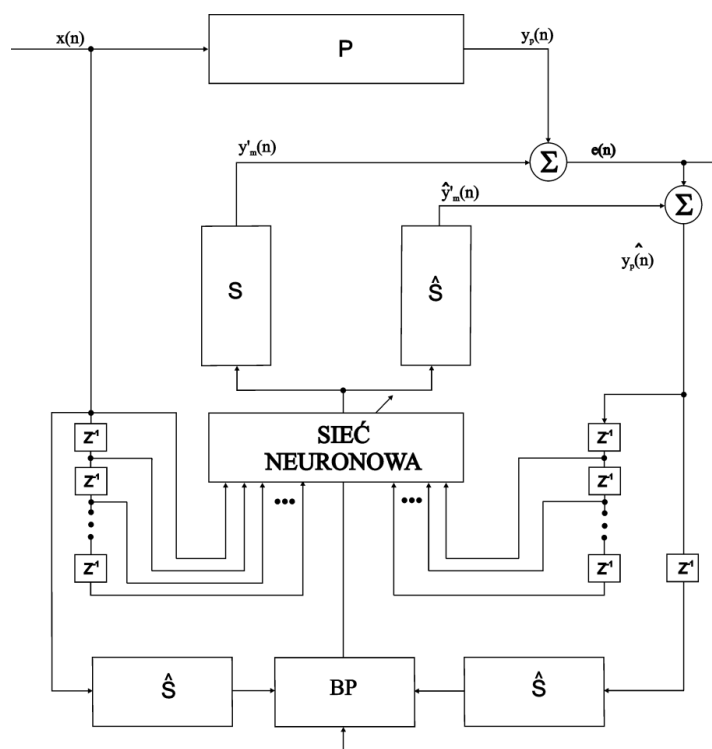
ZASTOSOWANIE SIECI NEURONOWYCH W SYSTEMACH AKTYWNEJ REDUKCJI HAŁASU

Poniżej opisano działanie systemu aktywnej redukcji hałasu na przykładzie falowodu akustycznego. Sygnał kompensujący jest generowany na podstawie dwóch jednocześnie rejestrowanych sygnałów: sygnału odniesienia (zwanego także referencyjnym) oraz sygnału błędu (zwanego także sygnałem resztkowym). Sygnał odniesienia rejestrowany jest u wlotu falowodu przez mikrofon M1, sygnał błędu przy wylocie przez mikrofon M2. Sygnały po wstępnym przetworzeniu (przedwzmacniacze P1 i P2) podawane są na wejścia kontrolera (układu sterującego), który za pośrednictwem wzmacniacza steruje źródłem wtórnym (głośnikiem) G.



Rys. 7. System aktywnej redukcji hałasu w falowodzie akustycznym

Układ sterowania realizuje algorytm sterowania źródłem wtórnym. Przyjęcie odpowiedniej strategii sterowania jest kluczowym zadaniem decydującym o uzyskanej skuteczności działania systemu ARH. Schemat zaproponowanego w ramach badań prowadzonych w CIOP-PIB układu sterującego systemem aktywnej redukcji hałasu z wykorzystaniem sieci neuronowej przedstawiono poniżej



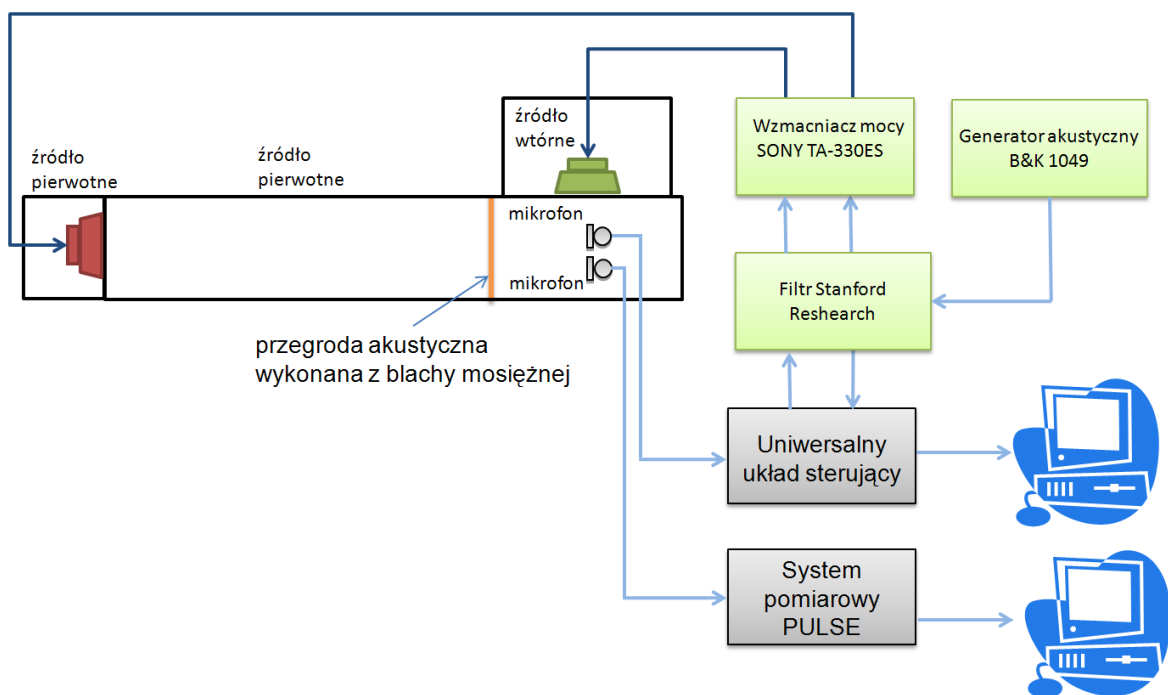
Rys. 8. Schemat układu sterowania systemem aktywnej redukcji hałasu opartego o sieć neuronową

Sygnał referencyjny (ze źródła hałasu) przechodzi przez ścieżkę pierwotną P . Ta jest odwzorowywana przez sieć neuronową. Aby układ działał skutecznie, należy uwzględnić właściwości ścieżki wtórnej S , stąd obecność modelu ścieżki wtórnej \hat{S} w algorytmie sterowania systemem aktywnej redukcji hałasu. Algorytm uczenia sieci neuronowej wykorzystywany w układzie sterowania zgodnym ze strukturą przedstawioną na rysunku powyżej nazwano Quasi NARMAX Backpropagation (QNBP). Słowo Quasi wynika z konieczności aproksymacji sygnału wyjściowego pierwotnej ścieżki sygnału, co nie pozwala na jednoznaczne zaklasyfikowanie algorytmu do klasy algorytmów równoległych ani szeregowo-równoległych. Termin NARMAX opisuje model identyfikacji układów nieliniowych realizowany przez sieć neuronową, natomiast termin Backpropagation oznacza

sposób uczenia sieci neuronowej (jest to typowa metoda wykorzystywana w sieciach jednokierunkowych).

BADANIA

Opracowane w CIOP-PIB algorytmy sterowania poddano badaniom na stanowisku laboratoryjnym. Zasadniczym elementem tego stanowiska jest falowód akustyczny. Poniżej przedstawiono wybrane wyniki badań systemu aktywnej redukcji hałasu w falowodzie akustycznym. Rysunek poniżej przedstawia schemat układu pomiarowego.



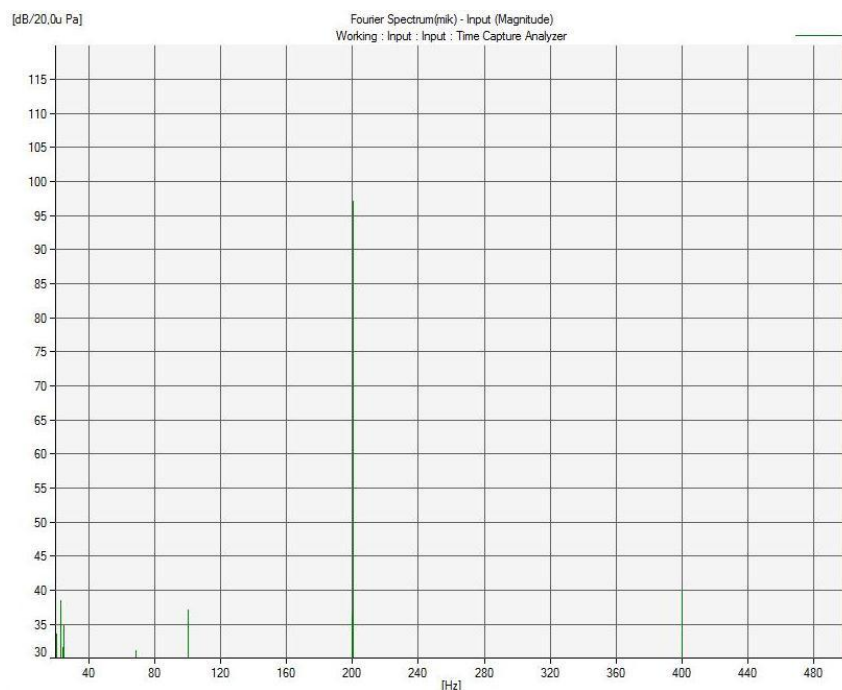
Rys. 9. Schemat układu pomiarowego

Na zdjęciu poniżej przedstawiono wygląd falowodu akustycznego, służący badaniom systemów aktywnej redukcji hałasu.

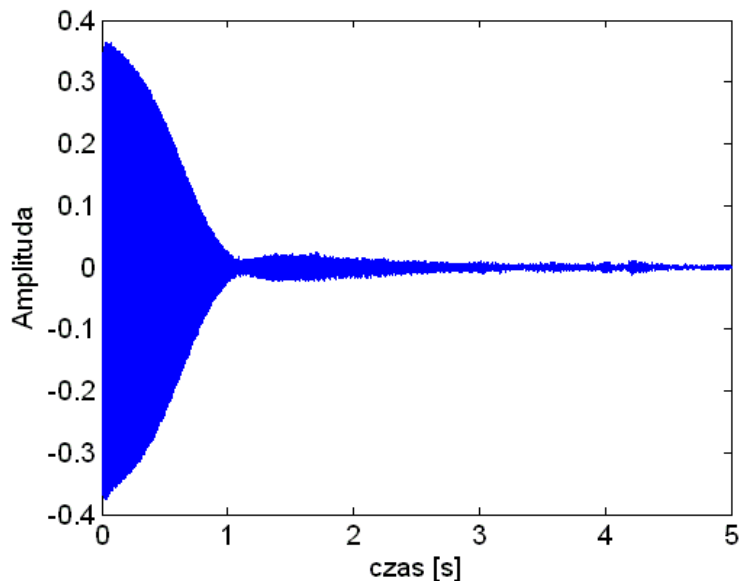


Rys. 10. Falowód akustyczny do badań systemów aktywnej redukcji hałasu.

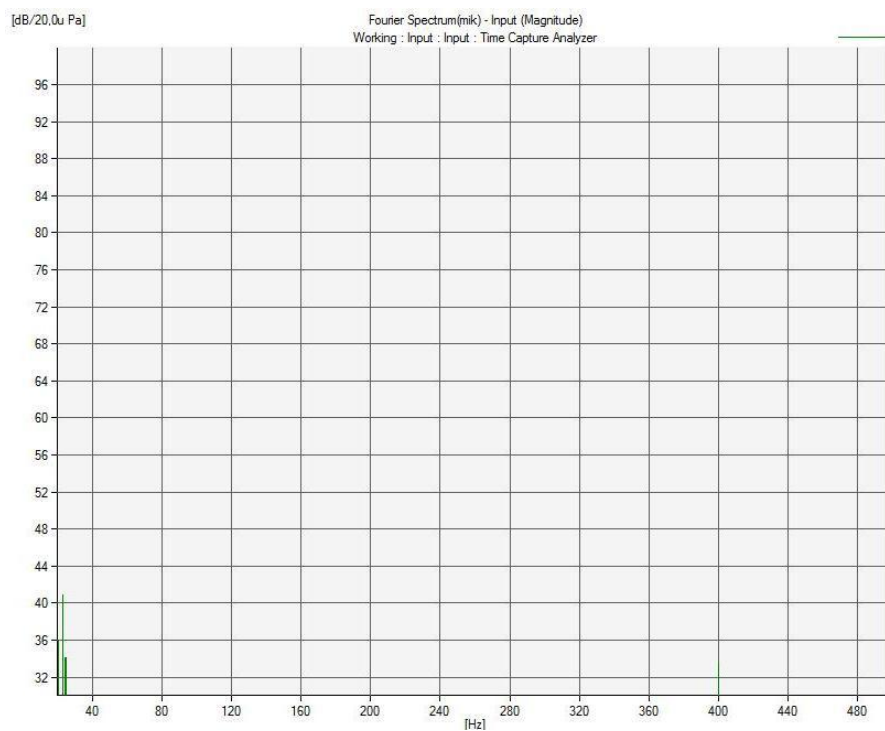
Badania wykonano dla pobudzeń sinusoidalnych. Wykonano dwie serie pomiarów. W pierwszej serii wykonano badania dla pustego falowodu. W serii drugiej w falowodzie umieszczono przegrodę akustyczną wykonaną z blachy mosiężnej. W obydwu seriach rejestrowano sygnał zadany (układ ARH wyłączony), sygnał resztkowy (układ ARH włączony) oraz proces zbiegania algorytmu. Poniżej zestawiono przykładowe wyniki badań.



Rys. 11. Widmo sygnału zadanego dla pobudzenia o częstotliwości 200 Hz.



Rys. 12. Proces zbiegania algorytmu dla pobudzenia o częstotliwości 200 Hz.



Rys. 13. Widmo sygnału resztkowego dla pobudzenia o częstotliwości 200 Hz.

Przedstawione wyniki badań na stanowisku laboratoryjnym pokazują że opracowane w CIOP-PIB algorytmy pozwalają na skuteczną kompensację wyższych składowych harmonicznnych powstałych w pierwotnej ścieżce sygnału na skutek zjawisk nieliniowych.