

SOFTWARE FOR ACQUISITION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE DATA

Michał Gruca

Politechnika Częstochowska

Instytut Maszyn Tłokowych i Techniki Sterowania

al. Armii Krajowej 21, 42-200 Częstochowa, tel. +48 34 3250543,

e-mail: gruca@imc.pcz.czest.pl

Abstract

The paper presents software designed to recording and analysis of the fast changing signal in internal combustion engine. Except the cylinder pressure other parameters may be measured including inlet or exhaust manifold pressure, spark current, temperature, noise, engine angular velocity, acceleration of engine components. The program can work in oscilloscope mode and recording mode. The synchronization moment of sampling with crank position is achieved by using a triggered acquisition, and sampling using an external clock. Into the program is added spectral analysis module, which uses Fourier transform algorithms to spectral analysis any discrete sequence of data. In the software is a lot function to fast checking or the recording is correct.

OPROGRAMOWANIE DO AKWIZYCJI SYGNAŁÓW SILNIKOWYCH

Streszczenie

W pracy opisano oprogramowanie przeznaczone do rejestracji różnego typu szybkozmiennych sygnałów silnikowych, takich jak np.: ciśnienia, temperatury, sygnał zapłonu, hałas, chwilowa prędkość obrotowa silnika, drania. Program może pracować w trybie oscyloskopowym i w trybie rejestracji cyfrowej. Synchronizacja chwili próbkowania z położeniem wału korbowego zapewniona jest dzięki stosowaniu wyzwalania i taktowania zewnętrznym sygnałem. Program posiada moduł analizy częstotliwościowej wykorzystujący transformatę Fouriera do dyskretnej analizy częstotliwościowej dowolnych ciągów próbek. Program posiada szereg funkcji pozwalających na szybką ocenę, czy badane sygnały zostały poprawnie zarejestrowane.

1. Wprowadzenie

Opisywany program komputerowy przeznaczony jest do szeroko rozumianej akwizycji danych pomiarowych. Może być on wykorzystywany do wizualizacji, rejestracji i analizy różnorodnych szybkozmiennych wielkości fizycznych. W przypadku badań silników spalinowych mogą nimi być np.: ciśnienie, temperatura, drgania, dźwięk, chwilowa prędkość wału korbowego, napięcie w instalacji zapłonowej, prędkość przepływu czynnika, itp. Program, który powstał na początku lat dziewięćdziesiątych jest stale udoskonalany i przystosowywany do współpracy z coraz nowszymi elementami, w które jest wzbogacany system akwizycji danych.

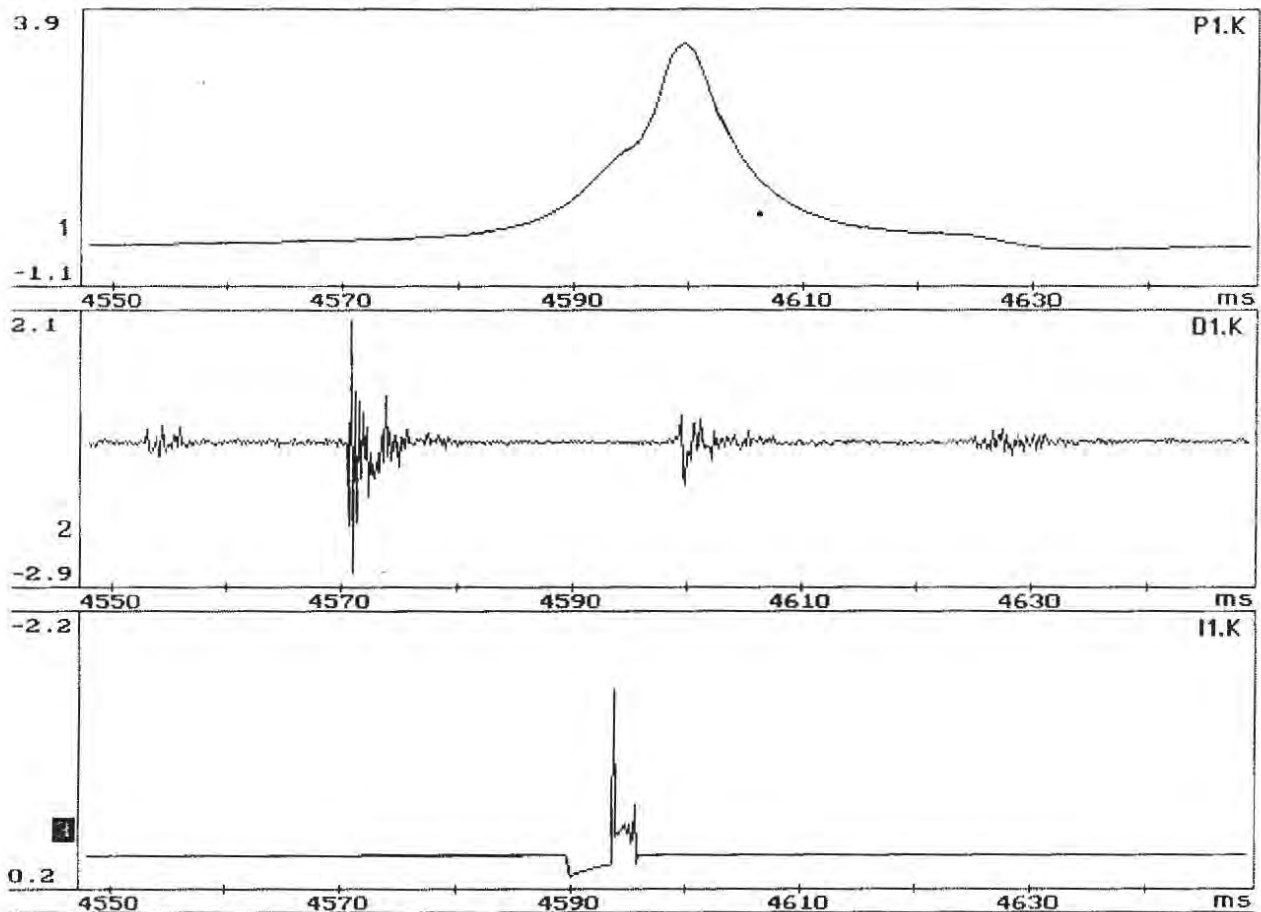
Program przystosowany jest do wykonywania trzech podstawowych zadań:

- oscyloskopowej obserwacji sygnałów,
- jednoczesnej rejestracji cyfrowej od jednego do ośmiu przebiegów napięciowych,
- dyskretnej analizy częstotliwościowej dowolnych ciągów próbek.

2. Wizualizacja sygnałów

Podstawowa wersja programu o nazwie LCTXR, która została napisana w Turbo Pascalu jest przystosowana do współpracy z modułem akwizycji danych LC-020-0812 firmy

Ambex. Jest to karta wyposażona w 12 bitowy przetwornik A/C o maksymalnej częstotliwości próbkowania 100 kHz umożliwiającą równoczesną rejestrację do 8 sygnałów napięciowych z zakresu ± 10 V (lub: ± 5 V, $\pm 2,5$ V, $0+10$ V, $0+5$ V). Próbki mogą być taktowane zegarem karty (tzn. z zadaną częstotliwością) lub zewnętrznym sygnałem. Jest to bardzo istotne w przypadku pomiarów parametrów silnika spalinowego w funkcji kąta obrotu wału korbowego, ponieważ umożliwia rejestrację ze stałym krokiem kątowym. Stosując nadajnik kąta sprzężony z wałem silnika uzyskuje się pobierane próbek zawsze w tych samych położeniach wału korbowego, co zapewnia stałą liczbę próbek przypadających na każdy cykl pracy silnika. Moduł LC-020-0812 posiada również zewnętrzne wejście wyzwalające, co umożliwia wyzwalanie pomiarów np. znacznikiem GMP.



Rys.1. Przykład równoczesnej rejestracji 3 sygnałów programem LCTXR
 Fig.1. The example of simultaneously recording of 3 signals with LCTXR program

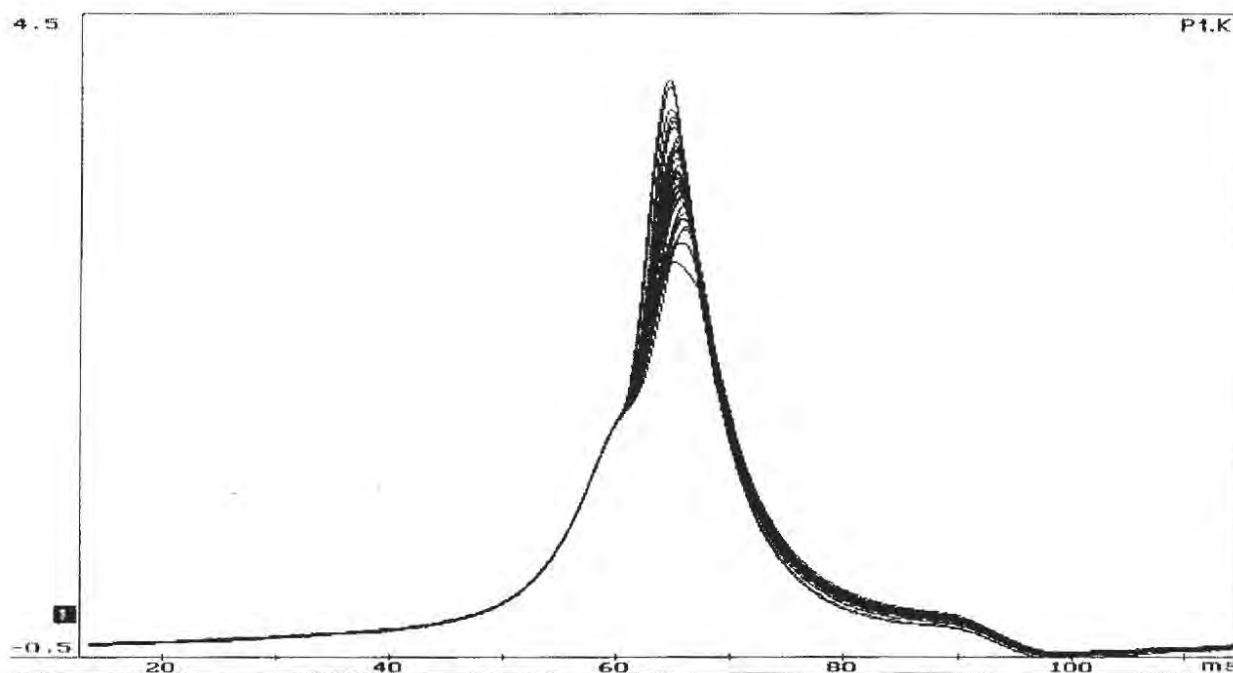
Program LCTXR umożliwia pracę w trybie oscyloskopowym, co pozwala na bieżącą obserwację sygnałów. Dzięki temu można wygodnie ustawić właściwe wartości wzmocnienia sygnałów w układzie kondycjonowania przed przystąpieniem do ich rejestracji. Pozwala to w największym stopniu wykorzystać zakres napięć wejściowych karty pomiarowej i w rezultacie uzyskać maksymalną dynamikę zapisu cyfrowego.

3. Rejestracja cyfrowa sygnałów

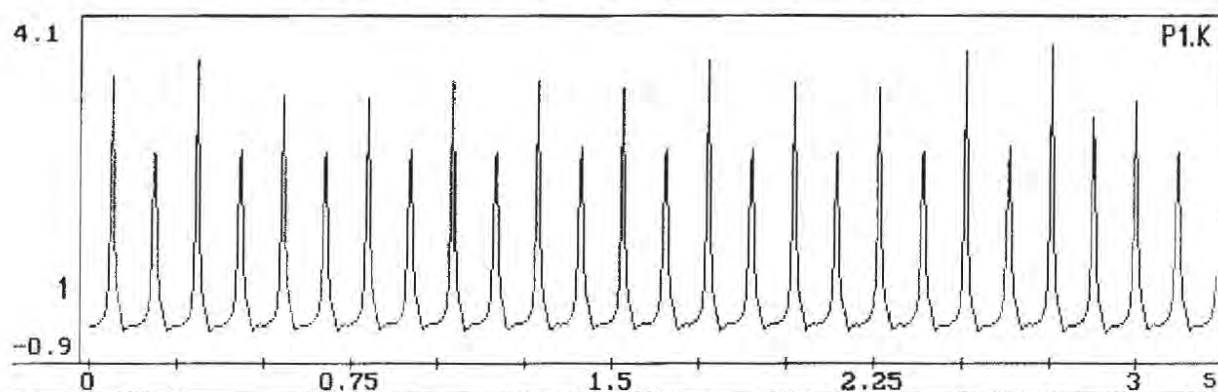
Program LCTXR jest najczęściej wykorzystywany w badaniach silników spalinowych i wówczas rejestruje sygnały (np. ciśnienia, temperatury) w funkcji kąta obrotu wału korbowego. Uzyskane przebiegi charakteryzują się w związku z tym okresową powtarzalnością (po-

mijając niepowtarzalność kolejnych cykli silnikowych). Długość takiego okresu jest równa ilości próbek przypadających na jeden cykl pracy silnika i wynika z rozdzielczości kątowej

Program LCTXR jest najczęściej wykorzystywany w badaniach silników spalinowych i wówczas rejestruje sygnały (np. ciśnienia, temperatury) w funkcji kąta obrotu wału korbowego. Uzyskane przebiegi charakteryzują się w związku z tym okresową powtarzalnością (pomiędzy niepowtarzalność kolejnych cykli silnikowych). Długość takiego okresu jest równa ilości próbek przypadających na jeden cykl pracy silnika i wynika z rozdzielczości kątowej zastosowanego nadajnika kąta OWK taktującego próbkowanie. Dla takich okresowych przebiegów program ma wbudowanych wiele funkcji pozwalających na szybką ocenę, czy badane sygnały zostały poprawnie zarejestrowane. Pozwala on m.in. na nałożenie na siebie wszystkich zarejestrowanych cykli (rys.2), co ułatwia wykrycie ewentualnych zmian długości cykli spowodowanych zgubieniem lub dodaniem próbek podczas rejestracji.



Rys. 2. Ilustracja funkcji nakładania na siebie zarejestrowanych cykli
Fig. 2. Function the overlapping cylinder pressure cycles



Rys. 3. Przykład obrazu kilkudziesięciu cykli ciśnienia
Fig. 3. The example of tens cylinder pressure cycles

Możliwe jest również automatyczne wyświetlenie kolejno po sobie wszystkich zarejestrowanych cykli, lub ich ręczne przeglądanie w przód i w tył. Zmiana skali wykresów w obu kierunkach pozwala na obserwację zarówno szczegółów, jak również kompresję na ekranie dłu-

gich fragmentów przebiegów (rys.3). Program posiada również wbudowaną możliwość wstępnej edycji zarejestrowanych sygnałów. Na podstawie określonego przez program położenia znacznika GMP można odciąć nadmiarowe, początkowe fragmenty rejestracji tak, aby jej początek pokrywał się z początkiem cyklu silnikowego.

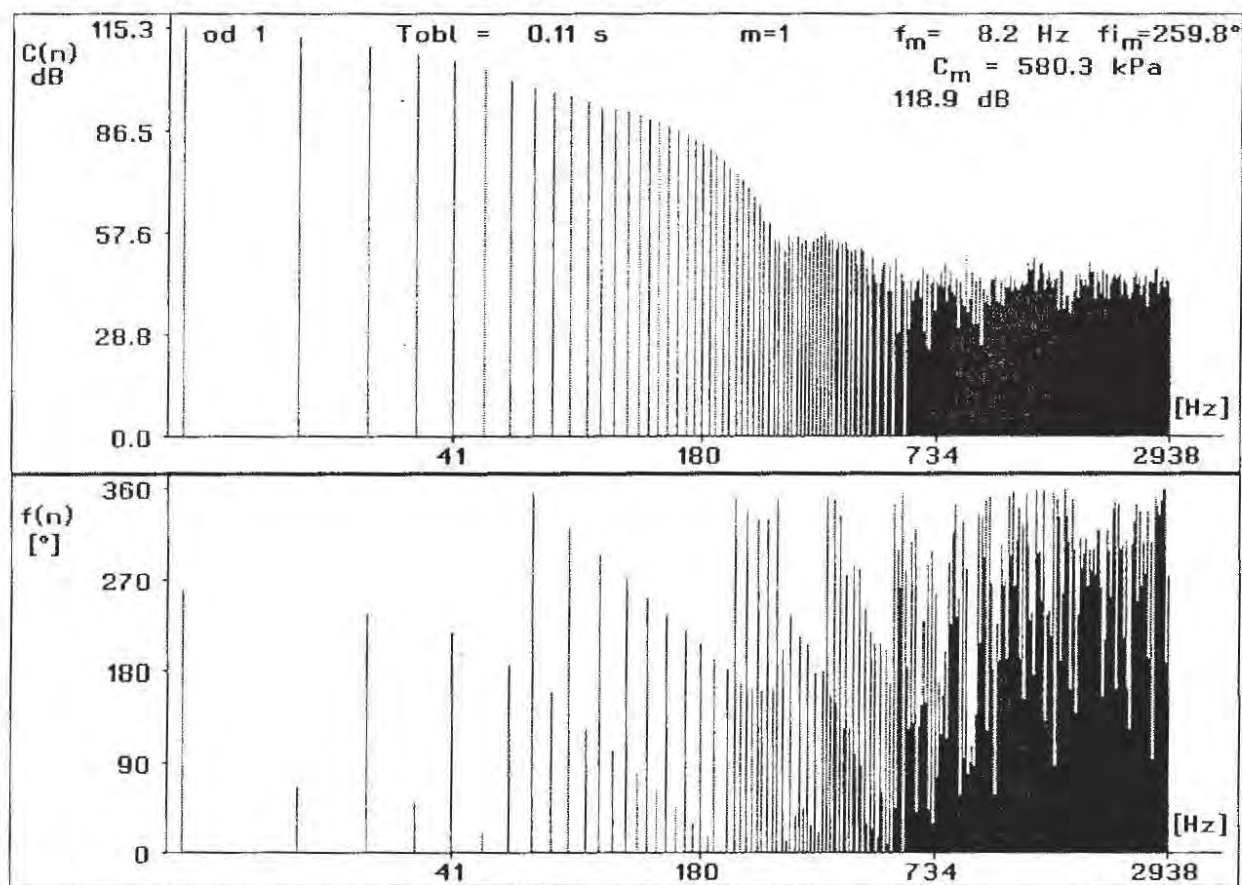
Zarejestrowane przebiegi sygnałów mogą być przy użyciu programu zapisywane do plików w formacie binarnym zapewniającym dużą efektywność zapisu, lub tekstowo, co umożliwi łatwe przenoszenie wyników do innych programów przeznaczonych do przetwarzania danych w celu ich szczegółowej analizy. Dane mogą być ponownie odczytywane z plików również przez program LCTXR. Pozwala to na poddanie zarejestrowanych wcześniej danych analizie w trybie „off line”. Widoczne na ekranie fragmenty przebiegów mogą być również zapisywane na dysk w postaci plików graficznych.

4. Analiza częstotliwościowa sygnałów

Trzecią funkcją programu LCTXR jest wykonywanie analizy częstotliwościowej zarejestrowanych przebiegów. Analizy widmowej dokonuje się rozkładając przebiegi dyskretnie w postaci ciągu $\{x_k\}$ złożonego z N próbek, na składowe harmoniczne o postaci:

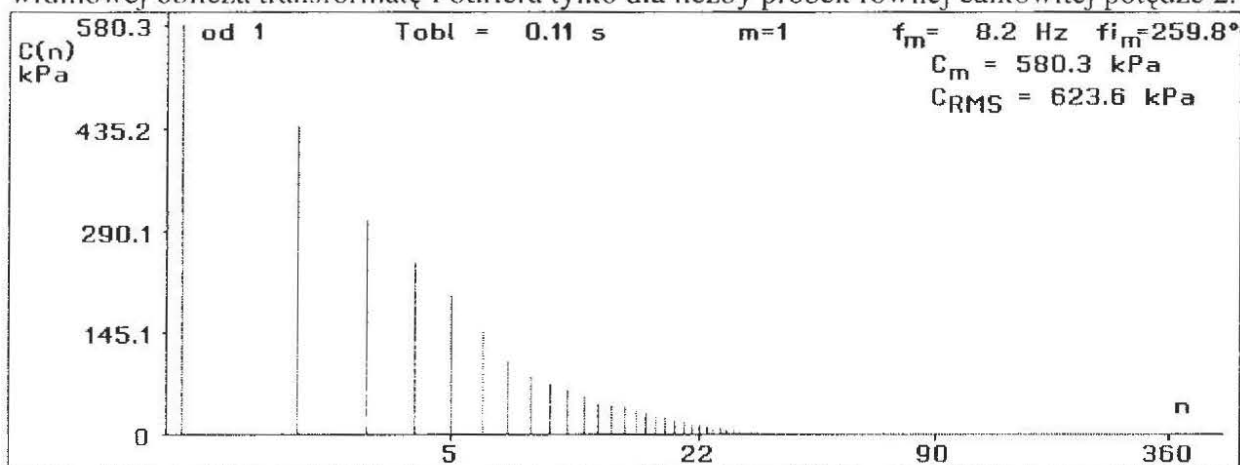
$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j2\pi nk/N} \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

W programie postać wykładnicza dyskretnej transformaty Fouriera (DFT) jest przekształcana do postaci trygonometrycznej a wyniki analizy są prezentowane w postaci dwóch widm prążkowych: amplitudowego c_n i fazowego ϕ_n złożonych z $N/2$ składowych.



Rys. 4. Widmo amplitudowe i fazowe jednego cyklu ciśnienia w skali logarytmicznej
Fig. 4. Magnitude and phase spectrum of one cycle cylinder pressure in logarithmic scale

W przypadku, gdy liczba próbek jest równa całkowitej potędze 2 ($N=2^n$) transformata jest obliczana według algorytmu szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Gdy liczba próbek nie spełnia warunku $N=2^n$ procedura analizy harmonicznego dzieli liczbę próbek przez 2 tyle razy (k), ile jest to możliwe. Następnie dla każdego uzyskanego ciągu częściowego złożonego z $M=2^k$ próbek, oblicza transformaty Fouriera zgodnie ze schematem FFT i łączy je w całość według algorytmu dyskretnej transformaty Fouriera. Jeśli liczba próbek nie jest podzielna przez 2 to obliczenia są wykonywane wg formuły DFT [2]. Dzięki zastosowaniu tego oryginalnego połączenia algorytmów FFT i DFT do wyznaczania transformaty Fouriera, uzyskuje się dużą efektywność obliczeń przy jednoczesnym zapewnieniu możliwości jej wykonania dla ciągu próbek o dowolnej długości, podczas gdy większość programów do analizy widmowej oblicza transformatę Fouriera tylko dla liczby próbek równej całkowitej potędze 2.



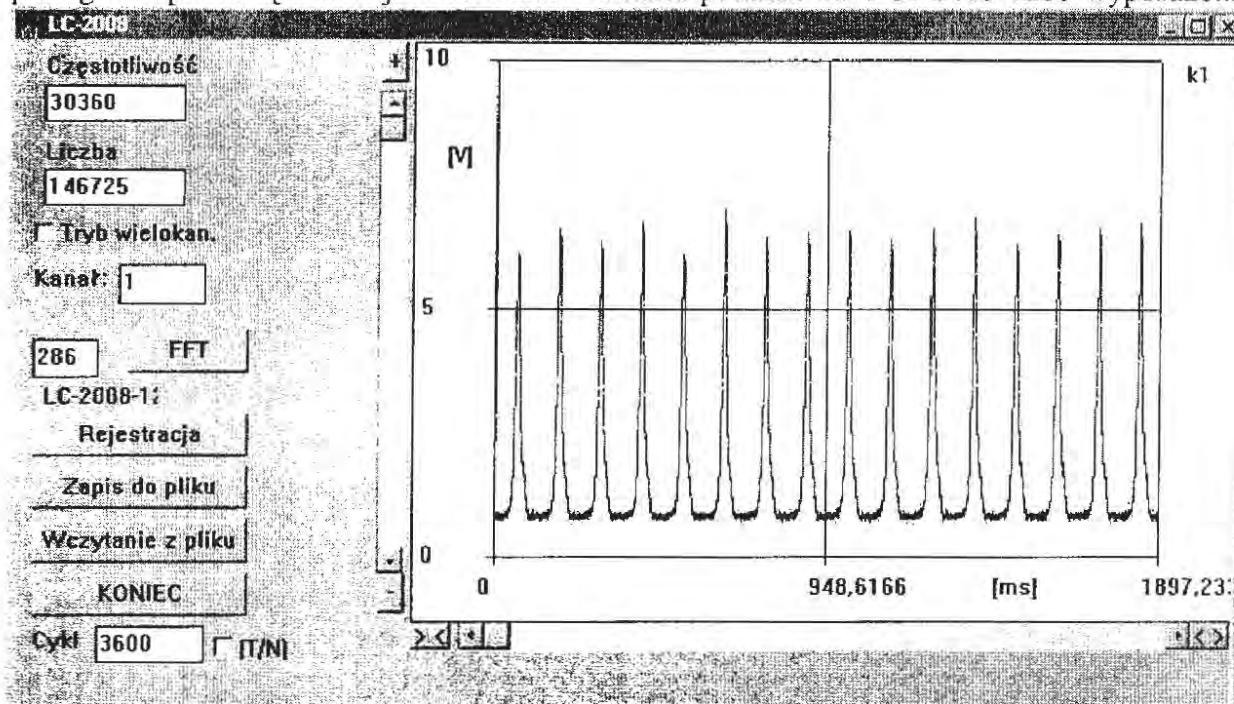
Rys. 5. Widmo amplitudowe jednego cyklu ciśnienia w skali liniowej
Fig. 5. Magnitude spectrum of one cycle cylinder pressure in line scale

Wyniki analizy w postaci widm amplitudowego i fazowego mogą być prezentowane zarówno w postaci graficznej (w skalach liniowej i logarytmicznej), jak również tekstowo oraz zapisywane do pliku. W przypadku przebiegów okresowych analiza harmoniczna może być wykonywana dla kolejnych cykli. Program LCTXR umożliwia również filtrację cyfrową przebiegów czasowych. Filtracja oparta jest na zerowaniu zadanych składowych harmonicznego widma sygnału i następnie obliczeniu odwrotnej transformaty Fouriera, dzięki temu można z przebiegu okresowego wyeliminować składowe harmoniczne z dowolnego zakresu częstotliwości, tzn. można realizować operacje filtracji dolnoprzepustowej, górnoprzepustowej i pasmowej. Ponieważ filtrowanie może być wykonywane ponownie na przebiegu wcześniej przefiltrowanym daje to możliwości stosowania filtrów o dowolnych charakterystykach. Przefiltrowane przebiegi mogą być oczywiście zapisane w postaci nowych plików danych. Jeżeli analizie częstotliwościowej poddawany jest ciąg próbek, którego długość nie jest całkowitą wielokrotnością okresu sygnału oryginalnego lub sygnał jest nieokresowy, to w celu zmniejszenia efektu przenikania (przecieku) [1] widma celowe jest użycie wygładzającego okna czasowego. Program LCTXR pozwala na zastosowanie takiego okna.

5. Nowe wersje programu

Te same funkcje, jakie zostały opisane powyżej dla programu LCTXR realizuje również program LC-2008, który obsługiwany jest przy wykorzystaniu graficznego interfejsu użytkownika systemu Windows. Program ten nie ma ograniczeń wynikających ze złożonego dostępu do rozszerzonej pamięci operacyjnej komputera w systemie MS-DOS, i dlatego umożliwia rejestrację znacznie większej liczby próbek od programu LCTXR. Przykład okna tej wersji programu - współpracującej z kartą LC-020 przedstawia rys.6. Istnieją również nowe wersje pro-

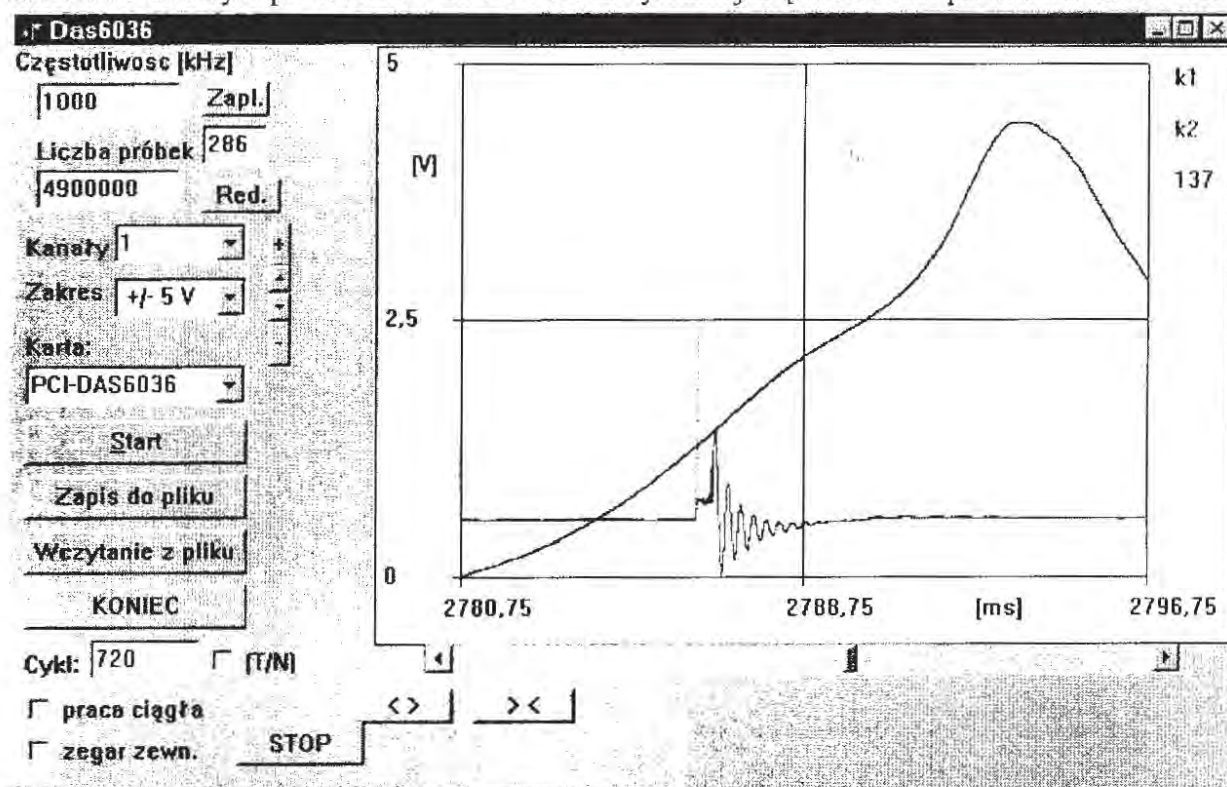
gramu współpracujące z rodziną kart akwizycji danych PCI DAS firmy Measurement Computing Corp. Jedną z nich jest 16 kanałowa karta pomiarowa PCI DAS-1200 wyposażona



Rys.6. Przykład rejestracji ciśnienia w cylindrze silnika programem LC-2008

Fig.6. The example of cylinder pressure cycles recorded with LC-2008 program

w 12 bitowy przetwornik A/C o maksymalnej częstotliwości próbkowania 330kHz. Inne karty obsługiwane przez program to – ultraszybka karta PCI DAS-4020 z czterema 12 bitowymi przetwornikami A/C o maksymalnej częstotliwości próbkowania 20MHz, i PCI DAS-6036 – karta z 16 bitowym przetwornikiem A/C o maksymalnej częstotliwości próbkowania 200kHz.



Rys. 7. Przykład rejestracji ciśnienia i sygnału zapłonu programem Das6036

Fig. 7. The example of cylinder pressure and spark current recorded with Das6036 program

Obecnie trwają prace nad nową wersją programu, która umożliwi jednoczesną rejestrację i analizę w czasie rzeczywistym wykresu indykatorowego dla silnika spalinowego. Analiza przebiegu ciśnienia w cylindrze w czasie rzeczywistym oznacza w tym przypadku, że natychmiast po zakończeniu rejestracji dla danego cyklu zostaną wykonane dla niego niezbędne obliczenia i zaprezentowane ich wyniki. Oczywiście w tym samym czasie równolegle trwa rejestracja następnego cyklu – dlatego karta pomiarowa musi posiadać możliwość dokonywania akwizycji sygnałów w tle pracy programu do analizy. Kolejne cykle oczywiście są zapisywane w pamięci operacyjnej i po zakończeniu rejestracji mogą być poddane ponownej analizie w trybie „off line” lub zapisane do pliku.

Przedstawiony program jest bardzo efektywnym narzędziem i z powodzeniem używany jest od wielu lat do badań silnikowych w Instytucie Maszyn Tłokowych i Techniki Sterowania Politechniki Częstochowskiej.

Literatura

- [1] Björck Å., Dahlquist G.: *Metody numeryczne*, PWN 1987, Warszawa
- [2] Lyons R.G.: *Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów*, WKiŁ 1999
- [3] Ozimek E.: *Podstawy teoretyczne analizy widmowej sygnałów*, PWN 1985
- [4] Zieliński T.P.: *Od teorii do cyfrowego przetwarzania sygnałów*, AGH 2002, Kraków