

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **223780**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **402146**

(51) Int.Cl.
G01M 15/05 (2006.01)
G06F 19/00 (2011.01)

(22) Data zgłoszenia: **20.12.2012**

(54) **Sposób sporządzania charakterystyki dynamicznej zużycia paliwa**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
23.06.2014 BUP 13/14

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
31.10.2016 WUP 10/16

(73) Uprawniony z patentu:
**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:
PIOTR BERA, Kraków, PL

PL 223780 B1

Opis wynalazku

Wynalazek dotyczy charakterystyki dynamicznej zużycia paliwa a dokładniej sposobu określania charakterystyki zużycia paliwa w dynamicznych stanach pracy silnika, tj. przy dwóch zmiennych parametrach pracy mianowicie prędkości obrotowej i momencie obrotowym.

Znane jest z publikacji „Neutral network-based intelligent engine control for reducing NO_x and pm emissions from cid engines” autorstwa C. Atkinson West Virginia University zastosowanie sieci neuronowych do analizy wpływu parametrów pracy silnika (ciśnienia powietrza w kolektorze dolotowym, temperatury spalin, prędkości obrotowej itd.) m.in. na generowany moment obrotowy oraz emisję składników spalin w tym emisję CO₂ (równoznaczne ze zużyciem paliwa). Analiza odnosi się do wyników pomiarów przeprowadzanych na hamowni silnikowej. Uwzględniane są parametry z przedziałów czasu poprzedzających bieżącą chwilę, dla której obliczane (przewidywane) są wartości emisji.

Z publikacji „A neural network approach to fluid level measurement in dynamic environments using a single capacitive sensor” autorstwa Edin Terzic, Romesh Nagarajah, Muhammad Alamgir znane są sieci neuronowe wykorzystane do pomiaru ilości paliwa w zbiorniku paliwa, (zmiany poziomu paliwa w baku zależą w dużej mierze od przechyłów nadwozia, przez co sam poziom paliwa w baku nie może być wykorzystany do analizy chwilowego zużycia przez silnik).

Znane jest z patentu EP 0877309 B1 „Virtual vehicle sensors based on neural networks trained using data generated by simulation models” autorstwa Cheng Jie, Ann Arbor, LaCrosse, Stephanie Mary, Allen Park wykorzystanie sztucznej sieci neuronowej do sterowania pracą silnika spalinowego.

Zgodnie z Fig. 1 przedstawioną w patencie sieć neuronowa stanowi fragment jednostki sterującej pracą silnika (ECU), przez co jej rola polega na przetwarzaniu bieżących parametrów pracy i wysyłaniu sygnału do elementów sterujących pracą silnika.

W sposobie sporządzania charakterystyki dynamicznej zużycia paliwa według wynalazku za pomocą czujników prędkości obrotowej wału korbowego i czujników momentu obrotowego mierzy się wartość prędkości obrotowej i momentu obrotowego;

na podstawie sygnałów wytwarzanych przez czujniki prędkości obrotowej wału korbowego i momentu obrotowego reprezentujące wejścia do sieci neuronowej oraz na podstawie sygnału pochodzącego z fizycznego czujnika przepływu paliwa, reprezentującego wyjście sieci neuronowej, tworzy się sztuczną sieć neuronową;

za pomocą sztucznej sieci neuronowej wyznacza się nieliniową zależność funkcyjną wartości zużycia paliwa w pierwszym przedziale czasu ($t_i \rightarrow t_{i+1}$) o długości dt w zależności od wartości wejściowych będących wartościami prędkości obrotowej i momentu obrotowego w oknie czasowym obejmującym pierwszy przedział ($t_i \rightarrow t_{i+1}$) o długości dt i co najmniej jeden kolejny następujący po pierwszym przedziale przedział czasu ($t_{i+1} \rightarrow t_{i+2}$) o długości będącej wielokrotnością dt .

Korzystnie prędkość obrotową mierzy się za pomocą czujnika indukcyjnego zliczającego występy na kole z wycięciami znajdującym się na wale hamulca.

Korzystnie prędkość obrotową mierzy się za pomocą koła z wycięciami osadzonego na końcu wału silnika przy kole pasowym.

Korzystnie prędkość obrotową mierzy się za pomocą prądnic tachometrycznych.

Korzystnie moment obrotowy mierzy się za pomocą czujnika siły umieszczonego między nieruchomą, utwierdzoną do podłoża podstawą hamulca a wahliwie zamocowaną obudową, na którą w wyniku oddziaływania pola magnetycznego przenosi się moment obrotowy.

Korzystnie zużycie paliwa mierzy się za pomocą przepływomierzy turbinkowych zainstalowanych w przewodzie doprowadzającym paliwo do układu wtryskowego.

Korzystnie zużycie paliwa mierzy się za pomocą pomiaru czasu otwarcia wtryskiwaczy. Wymagana jest w tym przypadku charakterystyka wtryskiwacza czyli wiedza o ilości wtryskiwanego paliwa w zależności od czasu impulsu elektrycznego sterującego zaworem otwierającym wtryskiwacz.

Korzystnie zużycie paliwa mierzy się za pomocą pomiaru przepływu powietrza w kolektorze dolotowym z wykorzystaniem masowego przepływomierza (powietrza) i szerokopasmowej sondy lambda w kolektorze wylotowym mierzącej skład spalanej mieszanki.

Korzystnie dt wynosi 0,1 s.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania jest uwidoczony na rysunku, na którym:

Fig. 1 przedstawia przykładowy cykl badawczy stanowiący część pomiarów niezbędnych do sporządzenia dynamicznej charakterystyki zużycia paliwa;

Fig. 2 – fragment hamowni silnikowej wykorzystanej do pomiaru;

Fig. 3 – wykres parametrów pracy silnika w czasie rzeczywistym;

Fig. 4 – przebieg prędkości obrotowej i momentu obrotowego oraz zużycia paliwa wyznaczonego z wykorzystaniem charakterystyki dynamicznej;

Fig. 5 – hamulec wykorzystany do przeprowadzenia badań w stanach dynamicznych;

Fig. 6 – przebieg parametrów pracy silnika w trakcie badań obrazujący opóźnienie reakcji układu na zwiększenie przepływu paliwa;

Fig. 7 – schemat uczenia sztucznej sieci neuronowej;

Fig. 8 – schemat sztucznej sieci neuronowej możliwej do zastosowania w obliczaniu zużycia paliwa w dynamicznych stanach pracy silnika;

Fig. 9 – sieć neuronowa wykorzystana w przykładzie do obliczania zużycia paliwa.

Na Fig. 1 przedstawiono jeden z przebiegów prędkości obrotowej i momentu obrotowego, jakie należy zrealizować, aby zebrać dane niezbędne do uczenia sztucznej sieci neuronowej.

Sposób sporządzania charakterystyki dynamicznej zużycia paliwa, będący przedmiotem niniejszego zgłoszenia, opiera się na danych zbieranych w trakcie pomiarów na hamowni silnikowej przedstawionej na Fig. 2. Aby możliwe było zebranie właściwych danych hamownia musi spełniać wszystkie 3 poniższe warunki:

1. Hamulec silnikowy musi wytwarzać moment obciążający silnik, którego wartość może być płynnie i w sposób ciągły regulowana czyli zmieniana w trakcie pomiaru.

2. Przepustnica (silniki ZI) lub dawkowanie (silniki ZS) musi mieć możliwość ciągłej i płynnej regulacji.

3. Układ sterowania hamulcem i przepustnicą musi zapewniać możliwość realizacji cykli badawczych, przy zmiennej prędkości obrotowej i zmiennym momencie obrotowym.

Pomiary powinny obejmować całe pole pracy silnika oraz obejmować wszystkie z 5 poniższych przypadków konfiguracji parametrów:

- | | |
|--|--|
| 1. $\frac{dn}{dt} > 0$; $\frac{dM}{dt} > 0$ | prędkość obrotowa i moment obrotowy narastające w czasie |
| 2. $\frac{dn}{dt} > 0$; $\frac{dM}{dt} < 0$ | narastająca prędkość obrotowa i malejący moment obrotowy |
| 3. $\frac{dn}{dt} < 0$; $\frac{dM}{dt} < 0$ | malejąca prędkość obrotowa i malejący moment obrotowy |
| 4. $\frac{dn}{dt} < 0$; $\frac{dM}{dt} > 0$ | malejąca prędkość obrotowa i narastający moment obrotowy |
| 5. $\frac{dn}{dt} = 0$; $\frac{dM}{dt} = 0$ | stałe wartości prędkości obrotowej i momentu obrotowego |

Układ pomiarowy musi umożliwiać pomiar w czasie rzeczywistym trzech parametrów:

a. Prędkość obrotowa – zazwyczaj pomiar odbywa się przy pomocy czujnika indukcyjnego zliczającego występy na kole z wycięciami znajdującym się na wale hamulca, ewentualnie zliczanie może odbywać się z wykorzystaniem takiego koła (z wycięciami) osadzonego na końcu wału silnika (przy kole pasowym) – znajdującego się seryjnie w każdym współcześnie produkowanym silniku. Możliwy jest także pomiar z wykorzystaniem innych metod na przykład prądnic tachometrycznych.

b. Moment obrotowy – pomiar odbywa się zazwyczaj za pomocą czujnika siły umieszczonego między nieruchomą, utwierdzoną do podłoża, podstawą hamulca, a wahliwie zamocowaną obudową, na którą w wyniku oddziaływania pola magnetycznego (w przypadku hamulców elektrowirowych – najczęściej stosowanych) przenosi się moment obrotowy.

c. Pomiar zużycia paliwa – z wykorzystaniem przepływomierzy turbinkowych zainstalowanych w przewodzie doprowadzającym paliwo do układu wtryskowego (gdy układ wtryskowy zawiera przewody zwrotne paliwa do baku, należą uwzględnić też tę masę paliwa) lub poprzez pomiar czasu otwarcia wtryskiwaczy (wymagana jest w tym przypadku charakterystyka wtryskiwacza – ilość wtryskiwanego paliwa w zależności od czasu impulsu elektrycznego sterującego zaworem otwierającym wtryskiwacz) – najczęstsze metody pomiaru.

Fig. 2 przedstawia część hamowni silnikowej, w której dokonywano pomiarów. Silnik 1 połączony jest wałem z kołem 5 z wycięciami, do którego dołączony jest czujnik prędkości obrotowej 6. Za kołem 5 umieszczona jest wahliwie zamocowana obudowa 4 hamulca a za nią czujnik siły 3 oraz podstawa hamulca silnikowego. Do badanego silnika 1 dołączony jest również silnik krokowy (silniki ZI) 7 sterujący otwarciem przepustnicy 8, a także wtryskiwacz paliwa 9, czujnik przepływu paliwa 10 i element doprowadzający 11 paliwo do silnika 1.

W sposobie według wynalazku nie jest uwzględniana temperatura silnika, dlatego badania należy przeprowadzać dla stałej – nominalnej temperatury pracy danego silnika, wynosi ona zwykle ok. 90°C.

W tym przypadku pomiary przeprowadzono z wykorzystaniem trzech czujników wytwarzających analogowy sygnał napięciowy ustalono częstotliwość próbkowania sygnałów na 200 Hz, czyli dane do pliku tekstowego są zapisywane co 0,005 sekundy.

Pliki zawierające dane z kilku lub kilkudziesięciu minut pomiaru należy następnie podzielić na mniejsze pliki obejmujące dane z kilku sekund pomiarów, tak aby możliwe było przeprowadzenie aproksymacji liniowej lub wielomianowej (w zależności od uzyskanego przebiegu charakterystyki), tak jak przedstawiono na fig. 3.

Wykorzystując układ pokazany schematycznie na Fig. 2 uzyskano wyniki jak na Fig. 4, na której przedstawiono przebieg prędkości obrotowej i momentu oraz zużycia paliwa wyznaczone z wykorzystaniem charakterystyki dynamicznej. Oznacza to, że taki cykl nie był przeprowadzany w trakcie badań, a jest już symulacją sieci neuronowej przeprowadzaną na komputerze. Zdefiniowano przebieg prędkości obrotowej i momentu obrotowego, a zużycie paliwa obliczone zostało z wykorzystaniem sieci neuronowej. Jest to przykład wykorzystania sporządzonej charakterystyki dynamicznej.

Aproksymacja jest konieczna, gdyż zakłócenia powstające przy wytwarzaniu sygnałów napięciowych w czujnikach powodują, że jego analiza w pierwotnej formie jest niemożliwa. Linie – wyznaczające przebieg po aproksymacji, pozbawiony nagłych skoków wartości mierzonej, mogą być wykorzystane do dalszych obliczeń. Fig. 3 przedstawia wykres parametrów pracy silnika gdzie widoczne są dane z pomiarów, na tej Fig. pokazano jedynie, że sygnał z czujników przed dalszą analizą musi zostać aproksymowany odpowiednią funkcją.

W ten sposób uzyskuje się pliki z aproksymowanymi danymi znajdującymi się w trzech wierszach (3 parametry). Ponieważ wielomian jest funkcją ciągłą (zależną od czasu), która określa wartości parametrów dla wszystkich chwil czasu w przedziale obejmującym pomiar, dlatego należy określić jej wartości w równo oddalonych od siebie przedziałach czasu dt w celu przeprowadzenia dalszych obliczeń. Badania wskazują, że najkrótszy czas potrzebny do całkowitego wciśnięcia pedału gazu jest dłuższy od 0,1 sek. Oznacza to, że częstotliwości procesów w silniku są mniejsze niż 10 Hz. Ponadto analiza otrzymanych wykresów z badań pokazuje, że 0,1 s jest maksymalnym przedziałem czasu pomiędzy zmianą dawkowania paliwa, a wynikającą z tego zmianą parametrów pracy – prędkości obrotowej i momentu obrotowego.

W tym miejscu pomiarów pojawia się problem, na który odpowiedź znalazł twórca wynalazku. Należy zwrócić uwagę, że mimo iż pomiary mogą zostać bezproblemowo wykonane, o tyle pojawia się problem jak znaleźć funkcję, która łączyłaby wszystkie wyniki – aproksymowała je. Sposób według wynalazku stanowi rozwiązanie tego problemu. Funkcja zostanie wyznaczona z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej po wcześniejszym „przygotowaniu” danych do obliczeń.

Zużycie paliwa G należy zawsze rozpatrywać w przyjętych z góry przedziałach czasu dt ($G(t_0 \rightarrow t_1)$). Przyjęto, że $dt=0,1$ s, t_0 oznacza początek pierwszego przedziału czasu, a t_1 oznacza koniec pierwszego przedziału czasu i jednocześnie początek drugiego przedziału czasu, t_2 oznacza koniec drugiego przedziału czasu, w całym opisie t_2 oznacza chwilę czasu późniejszą niż t_1 , jedynie na Fig. 6 wynosi 0,1 s, ale ogólnie w opisie t_2 traktować należy jako kolejną chwilę czasu następującą po t_1 przesuniętą w czasie o wielokrotność przyjętego przedziału czasu dt więc może ono wynosić 0,1 s, 0,2 s, 0,3 s, itd.

Dla końców przedziału czasu o długości dt można określić parametry początkowe i końcowe – wartość początkowa prędkości obrotowej $n(t_0)$ i wartość końcowa prędkości obrotowej $n(t_1)$ i wartość początkowa momentu obrotowego $M(t_0)$ i wartość końcowa momentu obrotowego $M(t_1)$. W dalszej części zostanie opisany przypadek, w którym określono wartości początkowe momentu obrotowego $M(t_0)$ i prędkości obrotowej $n(t_0)$ i zmiana prędkości obrotowej $\Delta n(t_0 \rightarrow t_1)$ w czasie dt i zmiana momentu obrotowego $\Delta M(t_0 \rightarrow t_1)$ (ze względu na dokładność uczenia sieci neuronowej).

Istotną rolę odgrywa wpływ bezwładności elementów znajdujących się w ruchu obrotowym i posuwisto-zwrotnym oraz słupa powietrza w kolektorze dolotowym na sygnał sterowania – otwarcia przepustnicy (silniki ZI)/ zmiana położenia listwy sterującej (silniki ZS), co uwidoczniło na Fig. 6. Rozpoczęcie zwiększania wartości strumienia paliwa G w chwili t_1 nie wpływa przez przedział czasu $t_1 \rightarrow t_2$ na prędkość obrotową ani na moment obrotowy. Jest to czas zwłoki układu będący wynikiem bezwładności opisanych powyżej składowych. Widoczne jest zatem, że mimo iż prędkość obrotowa i moment w przedziale czasu $t_1 \rightarrow t_2$ są takie same jak we wcześniejszym przedziale $t_0 \rightarrow t_1$ to wartość zużycia paliwa $G(t_1 \rightarrow t_2)$ w drugim przedziale czasu jest większa niż wartość zużycia paliwa $G(t_0 \rightarrow t_1)$

w pierwszym przedziale czasu. Jest to dowód na to, że rozważając stany dynamiczne pracy nie można ograniczać się tylko do analizy parametrów w przedziale czasu, dla którego ma być obliczone zużycie paliwa. Należy uwzględniać parametry prędkości obrotowej i momentu w przedziałach czasu $t_1 \rightarrow t_2$ następujących po analizowanym pierwszym przedziale czasu $t_0 \rightarrow t_1$, dla którego obliczane jest zużycie paliwa G.

Długości kolejnych przedziałów czasu $t_1 \rightarrow t_2$ występujących po analizowanym pierwszym okresie czasu $t_0 \rightarrow t_1$ są całkowitą wielokrotnością przyjętego dt – wynika to z formy zapisu danych. W zależności od jednostki napędowej, na podstawie analizy zebranych danych, należy dobrać długość kolejnego przedziału czasu $t_1 \rightarrow t_2$. Można także zamiast jednego przedziału przykładowo wynoszącego $t_1 \rightarrow t_2 = 0,2$ sek.* przyjąć dwa przedziały $t_1 \rightarrow t_2 = 0,1$ sek i $t_2 \rightarrow t_3 = 0,1$ sek co da ten sam wynik, zwiększy jednak o 2 liczbę wejść do sieci (jedno dodatkowe wejście dla prędkości obrotowej $t_2 \rightarrow t_3$ i drugie dla dodatkowego wejścia dla momentu obrotowego – również $t_2 \rightarrow t_3$). Stąd w ogólnym przypadku należy uwzględnić co najmniej jeden przedział po pierwszym przedziale $t_0 \rightarrow t_1$ dla którego obliczane jest zużycie paliwa G co uwidoczniło na Fig. 8.

W opisanym przykładzie wykonania, na Fig. 9 przyjęto przedział czasu $dt=0,1$ s. (pierwszy przedział $t_0 \rightarrow t_1$, w którym obliczane jest zużycie paliwa) oraz drugi przedział $t_1 \rightarrow t_2$ równy 0,2 s. (dwukrotność pierwszego przedziału $dt=0,1$ s.).

Niemożliwe jest inne rozwiązanie tego problemu na przykład przez przyjęcie lub obliczenie stałej wartości opóźnienia i określenia jej wpływu na zużycie paliwa, gdyż zależy ona m.in. od prędkości obrotowej i obciążenia, tak więc uwzględnić ją można tylko przez dodanie dodatkowych wejść do sieci, która sama, w procesie uczenia, nauczy się zmian wartości parametrów (prędkości obrotowej i momentu obrotowego) w przedziale opóźnienia $t_1 \rightarrow t_2$.

Na tym etapie analizy dane uczące zapisane we wszystkich plikach mają postać macierzy trzyczłonowej \mathbf{U}_j ze zmiennymi: prędkość obrotowa (1/min) (1 wiersz), moment obrotowy (Nm) (drugi wiersz) i strumień paliwa (g/0,1 s.) (trzeci wiersz), które można rozdzielić na macierz wejściową \mathbf{X}_j (prędkość obrotowa i moment obrotowy) oraz macierz poprawnych odpowiedzi \mathbf{T}_j (strumień paliwa) i zapisać w następujący sposób tak, że: $\mathbf{U}_{j0} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_{j0} \\ \mathbf{T}_{j0} \end{bmatrix}$

$$\mathbf{X}_{j0} = \begin{bmatrix} 2082.2 & 2128.3 & 2161.0 & 2181.8 & 2192.4 & 2195.1 & 2192.5 \\ 11.5 & 12.5 & 13.6 & 14.7 & 15.9 & 17.0 & 18.0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T}_{j0} = [0.0466 \quad 0.0481 \quad 0.0494 \quad 0.0505 \quad 0.0514 \quad 0.0522 \quad 0.0531]$$

gdzie:

$j=1 \dots n$ oznacza numer pliku z danymi zawierającymi jedną charakterystykę dynamiczną lub statyczną

Oznacza to, że macierz parametrów wejściowych \mathbf{X}_{j0} składająca się obecnie z 2 wierszy – prędkość obrotowa i moment obrotowy musi zostać przekonwertowana na macierz sześciowierszową ($k \geq 2$, czyli minimum 6 wejść do sieci). Dla przedstawionego przykładu pokazanego na Fig. 9, jest to 6 wejść, mianowicie po trzy wejścia dla prędkości obrotowej z chwil czasowych t_0 , t_1 , t_2 (wejścia do sieci: 1, 2 i 3) i po trzy wejścia dla momentu obrotowego z chwil czasowych t_0 , t_1 , t_2 (wejścia do sieci: 4, 5 i 6). Pierwszy wiersz macierzy \mathbf{X}_{j0} staje się pierwszym wierszem macierzy \mathbf{X}_j , a drugi wiersz macierzy \mathbf{X}_{j0} staje się 4 wierszem macierzy \mathbf{X}_j . Wiersze 2 i 3 powstają przez odjęcie poszczególnych wartości z wiersza nr 1, a wiersze nr 5 i 6 powstają przez odjęcie odpowiednich wartości z wiersza nr 4. W wyniku takiej operacji macierz \mathbf{X}_j jest krótsza od macierzy \mathbf{X}_{j0} o 3 kolumny.

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{X}_{j^0} = \begin{bmatrix} n_i & n_{i+1} & n_{i+2} & n_{i+3} & n_{i+4} & n_{i+5} \\ M_i & M_{i+1} & M_{i+2} & M_{i+3} & M_{i+4} & M_{i+5} \end{bmatrix} \begin{array}{l} \xrightarrow{1} \\ \xrightarrow{2} \end{array} \\
 \\
 \begin{array}{c} \xrightarrow{1} \\ \xrightarrow{2} \end{array} \mathbf{X}_j = \begin{bmatrix} n_i & n_{i+1} & n_{i+2} & n_{i+3} & n_{i+4} & n_{i+5} \\ n_{i+1} - n_i & & & & & \\ n_{i+3} - n_{i+1} & \dots & & & & \\ M_i & M_{i+1} & M_{i+2} & M_{i+3} & M_{i+4} & M_{i+5} \\ M_{i+1} - M_i & & & & & \\ M_{i+3} - M_{i+1} & \dots & & & & \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Tak zbudowana macierz \mathbf{X}_j musi zostać poddana procesowi skalowania, aby dane we wszystkich wierszach 1–6 zawierały się w tych samych zakresach, w przykładzie przyjęto przedział $\langle -10; 10 \rangle$. Powszechnie przyjmuje się przedział $\langle -1; 1 \rangle$, jednak w tym przypadku okazał się zbyt mały i sieć generowała wyniki obciążone dużym błędem. Jest to równoznaczne z przemnożeniem wszystkich wartości z każdego wiersza, przez odpowiednią wartość stałą. Podobnie należy uczynić ze zbiorem \mathbf{T}_i – czyli ze zużyciem paliwa.

Następnie powstałe w ten sposób pliki $j=1 \dots n$ należy uporządkować jeden za drugim. W ten sposób powstanie zbiór uczący dla sieci $\mathbf{U} = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_j & \dots & X_n \\ T_1 & T_2 & \dots & T_j & \dots & T_n \end{bmatrix}$.

Przygotowany w ten sposób zbiór uczący zostaje już wprost wykorzystany do procesu uczenia sieci neuronowej.

Na Fig. 7 przedstawiono schemat uczenia się sztucznej sieci neuronowej.

Sieć posiada N wejść (w tym przykładzie $N=6$, na Fig. 9) i jedno wyjście zwracające wartość zużycia paliwa w przedziale czasu dt . Na wejścia podawane są kolumny z macierzy uczącej \mathbf{X} . Wszystkie linie łączące wejścia i neurony (kwadraty) to wagi – wartości liczbowe. Odpowiednie ich wartości gwarantują właściwą aproksymację danych ze zbioru uczącego. Ich prawidłowe wartości są obliczane w trakcie procesu uczenia sieci neuronowej. Ponieważ nie są one znane przed rozpoczęciem uczenia, dlatego początkowo są zadawane losowo.

W pierwszym kroku uczenia dane z kolumn macierzy \mathbf{X} są podawane na wejścia i przeliczane według aktualnych wartości wag. Odpowiedź \hat{y}_1 jest porównywana z wartością t – elementu macierzy \mathbf{T} odpowiadającą parametrom macierzy \mathbf{X} . Jeśli różnica $\delta^2 \neq 0$ wtedy wszystkie wagi są korygowane zgodnie z przyjętą metodą uczenia (w tym przykładzie zastosowano metodą gradientową) proporcjonalnie do wartości błędu. Proces pokazywania danych sieci trwa do momentu aż błąd średniokwadratowy dla całego zbioru nie osiągnie minimalnej wartości. Wtedy proces uczenia uważa się za zakończony, a uzyskane wagi aproksymują wszystkie dane zebrane w trakcie badań.

W tym momencie można podawać na wejścia wartości dowolne – tzn. takie które się nie znajdowały w zbiorze uczącym \mathbf{X} , a sieć i tak obliczy wartość zużycia paliwa (dzięki zdolności do uczenia i uogólniania nabytej wiedzy). Dzięki temu można symulować dowolne cykle pracy silnika. Wystarczy narysować przebieg parametrów w czasie, podzielić go na punkty czasowe co przedział czasu dt taki sam jak dla danych ze zbioru uczącego \mathbf{U} sieci i podać na wejścia sieci, która obliczy zużycie paliwa we wszystkich zdefiniowanych stanach pracy.

Sposób według wynalazku pozwala na utworzenie sieci neuronowej z wartościami wag wyznaczonymi w trakcie uczenia danymi pomiarowymi z badań na hamowni silnikowej, pozwala obliczać zużycie paliwa dla dowolnego przebiegu prędkości obrotowej i momentu obrotowego w czasie bez konieczności jego pomiaru z wykorzystaniem czujnika fizycznego. Charakterystyka ta pełni funkcję wirtualnego czujnika zużycia paliwa, obliczającego wartość chwilowego zużycia paliwa jedynie na podstawie rejestrowanego przebiegu prędkości obrotowej i momentu obrotowego silnika.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób sporządzania charakterystyki dynamicznej zużycia paliwa, **znamienny tym**, że za pomocą czujników prędkości obrotowej wału korbowego i czujników momentu obrotowego mierzy się wartość prędkości obrotowej i momentu obrotowego;
na podstawie sygnałów wytwarzanych przez czujniki prędkości obrotowej wału korbowego i momentu obrotowego reprezentujące wejścia do sieci neuronowej oraz na podstawie sygnału pochodzącego z fizycznego czujnika przepływu paliwa, reprezentującego wyjście sieci neuronowej, tworzy się sztuczną sieć neuronową;
za pomocą sztucznej sieci neuronowej wyznacza się nieliniową zależność funkcyjną wartości zużycia paliwa w pierwszym przedziale czasu ($t_i \rightarrow t_{i+1}$) o długości dt w zależności od wartości wejściowych będących wartościami prędkości obrotowej i momentu obrotowego w oknie czasowym obejmującym pierwszy przedział ($t_i \rightarrow t_{i+1}$) o długości dt i co najmniej jeden kolejny następujący po pierwszym przedziale przedział czasu ($t_{i+1} \rightarrow t_{i+2}$) o długości będącej wielokrotnością dt .
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że prędkość obrotową mierzy się za pomocą czujnika indukcyjnego zliczającego występy na kole z wycięciami znajdującym się na wale hamulca.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że prędkość obrotową mierzy się za pomocą koła z wycięciami osadzonego na końcu wału silnika przy kole pasowym.
4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że prędkość obrotową mierzy się za pomocą prądnic tachometrycznych.
5. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że moment obrotowy mierzy się za pomocą czujnika siły umieszczonego między nieruchomą, utwierdzoną do podłoża podstawą hamulca a wahliwie zamocowaną obudową, na którą w wyniku oddziaływania pola magnetycznego przenosi się moment obrotowy.
6. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zużycie paliwa mierzy się za pomocą przepływomierzy turbinkowych zainstalowanych w przewodzie doprowadzającym paliwo do układu wtryskowego.
7. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zużycie paliwa mierzy się za pomocą pomiaru czasu otwarcia wtryskiwaczy.
8. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zużycie paliwa mierzy się za pomocą pomiaru przepływu powietrza w kolektorze dolotowym z wykorzystaniem masowego przepływomierza i szerokokopasmowej sondy lambda w kolektorze wylotowym mierzącej skład spalanej mieszanki.
9. Sposób według jednego z poprzednich zastrz., **znamienny tym**, że dt wynosi 0,1 s.

Rysunki

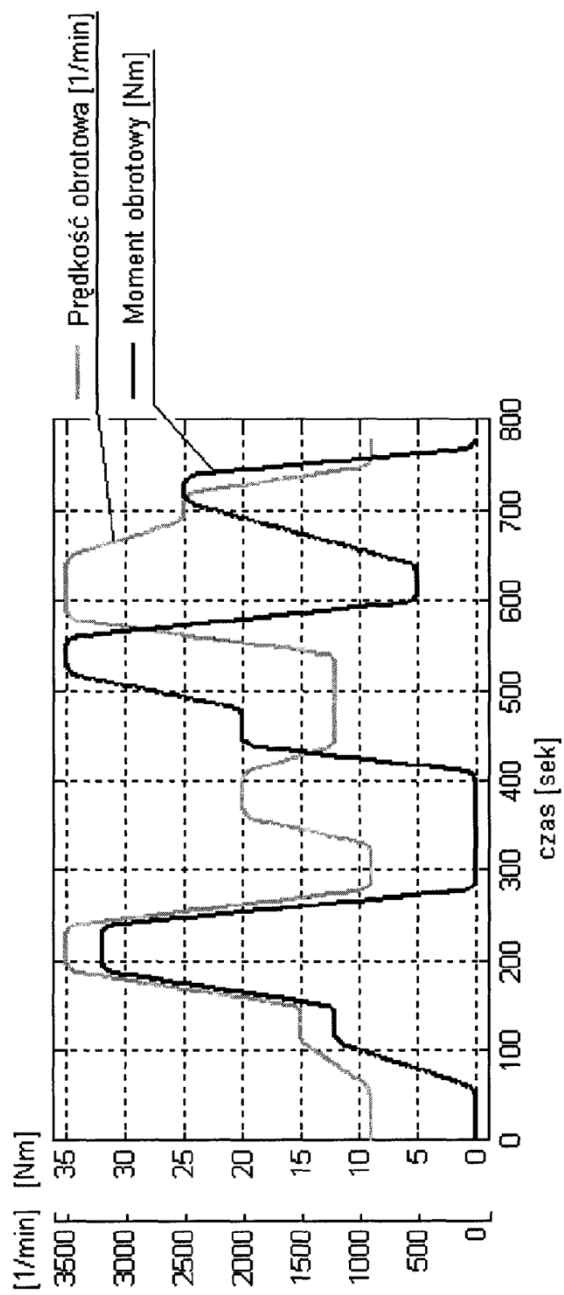


Fig.1

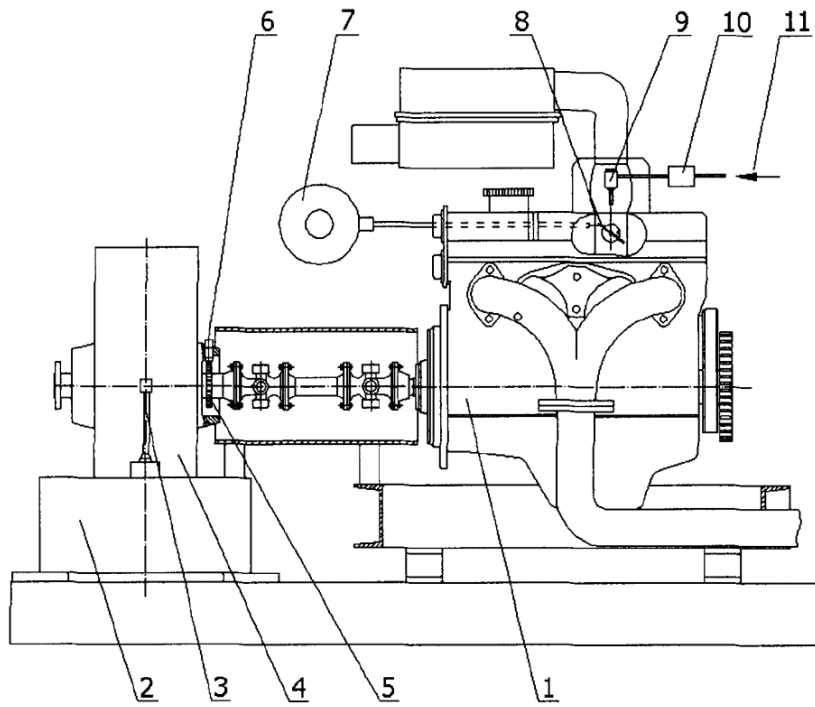


Fig.2

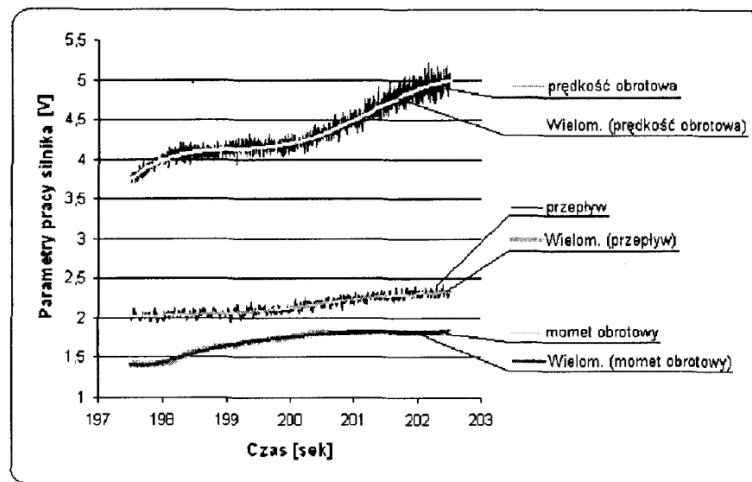


Fig.3

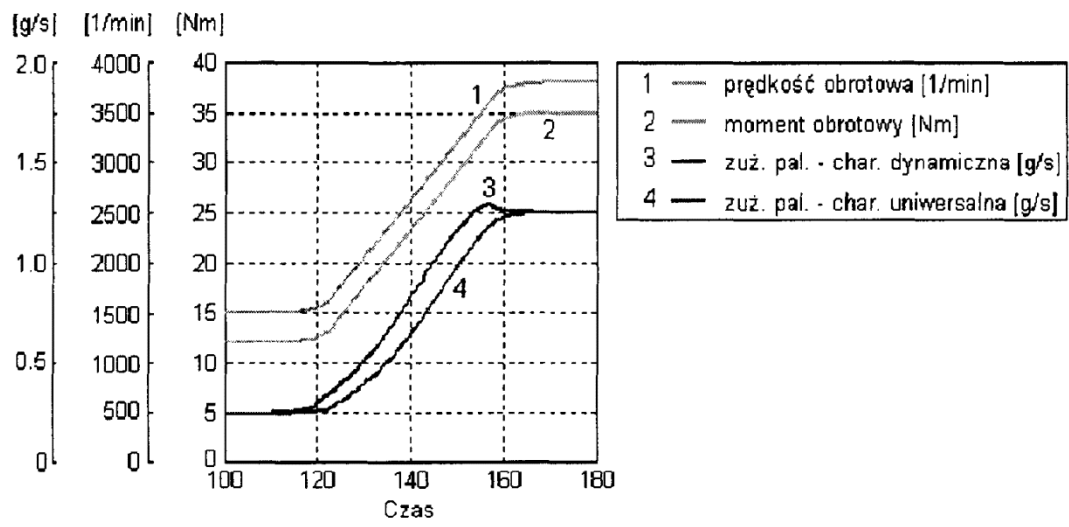


Fig.4

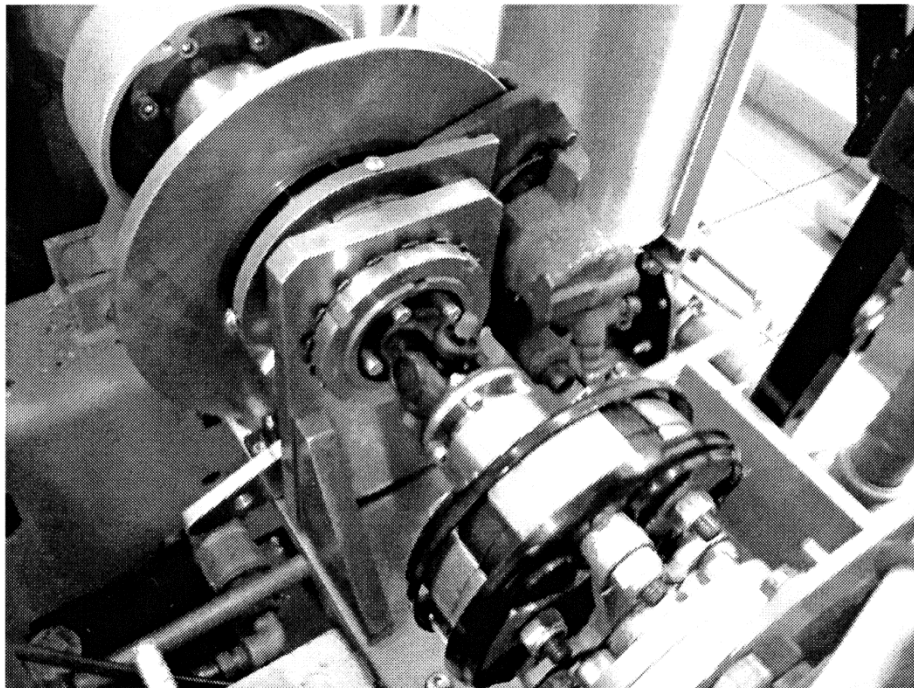


Fig. 5

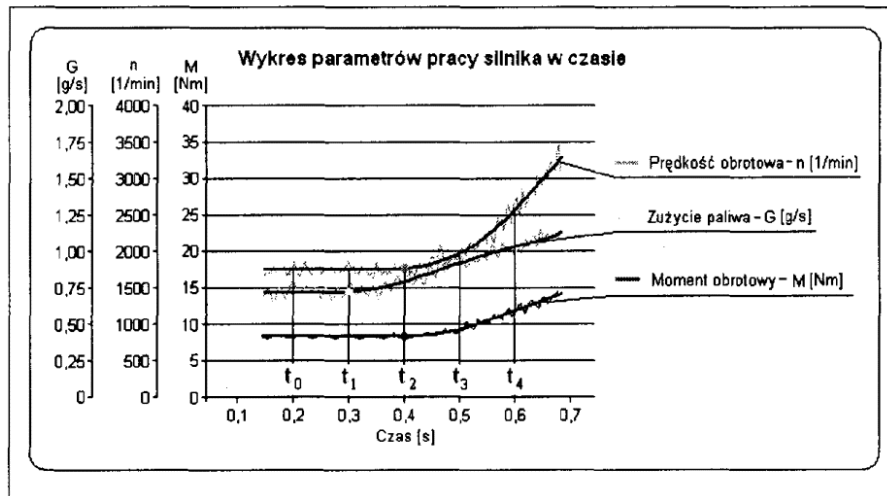
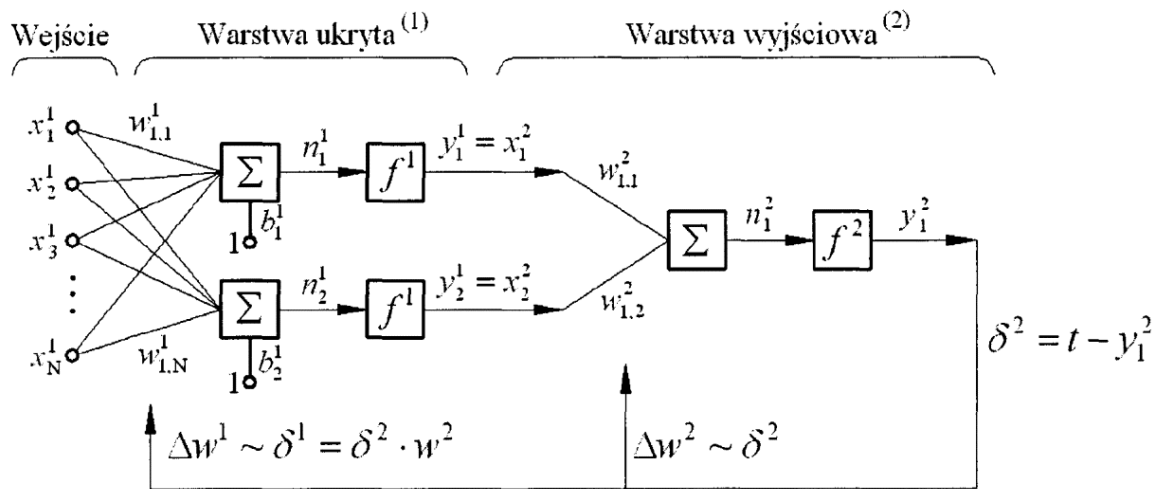


Fig.6



x - element macierzy **X**
 t - element macierzy **T**

Fig.7

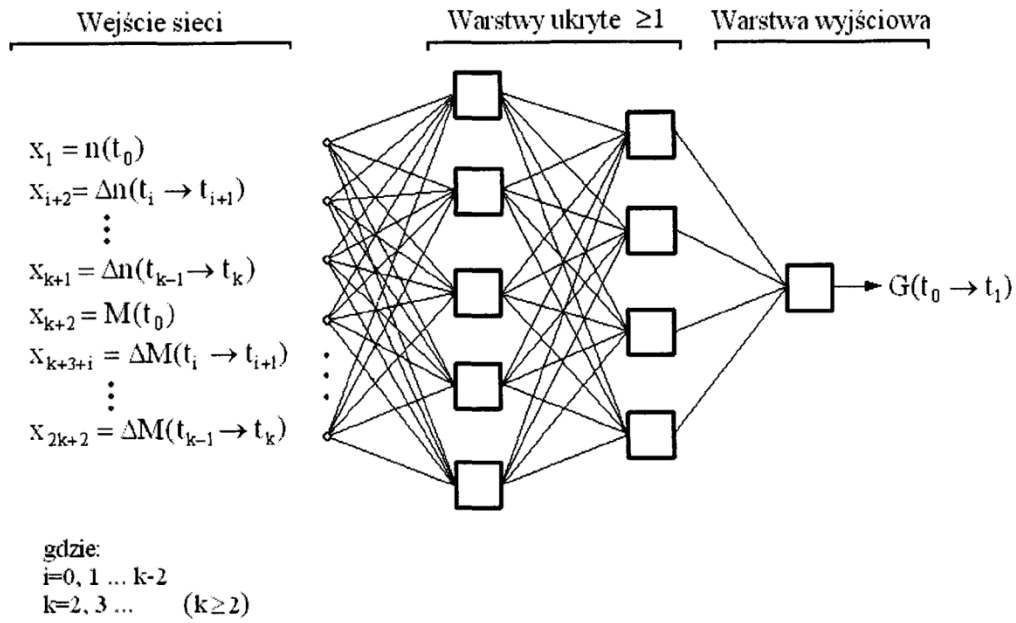


Fig.8

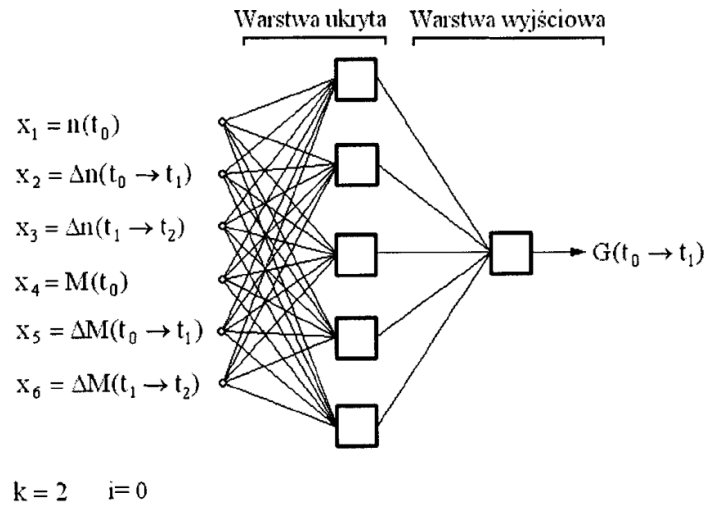


Fig. 9