

Stanisław DUER, Konrad ZAJKOWSKI, Stanisław SOKOŁOWSKI,
Dominik ŁYSKOJĆ, Kamil CZARNOWSKI

ALGORYTM PRACY STEROWNIKA SILNIKA BENZYNOWEGO TYPU MOTRONIC

Streszczenie

W artykule zaprezentowano problematykę organizacji algorytmu funkcjonowania sterownika silnika pojazdu samochodowego. Przedstawiono budowę sterownika oraz opis jego elementów składowych. Scharakteryzowano i opisano poszczególne fazy pracy silnika pojazdu. Ważną część stanowi zaprezentowana przykładowa struktura schematu algorytmu pracy sterownika pojazdu. Poznanie budowy i zasady pracy sterownika pojazdu jest podstawą jego badania i diagnostyki.

Słowa kluczowe: algorytm, sterownik silnika, motronic.

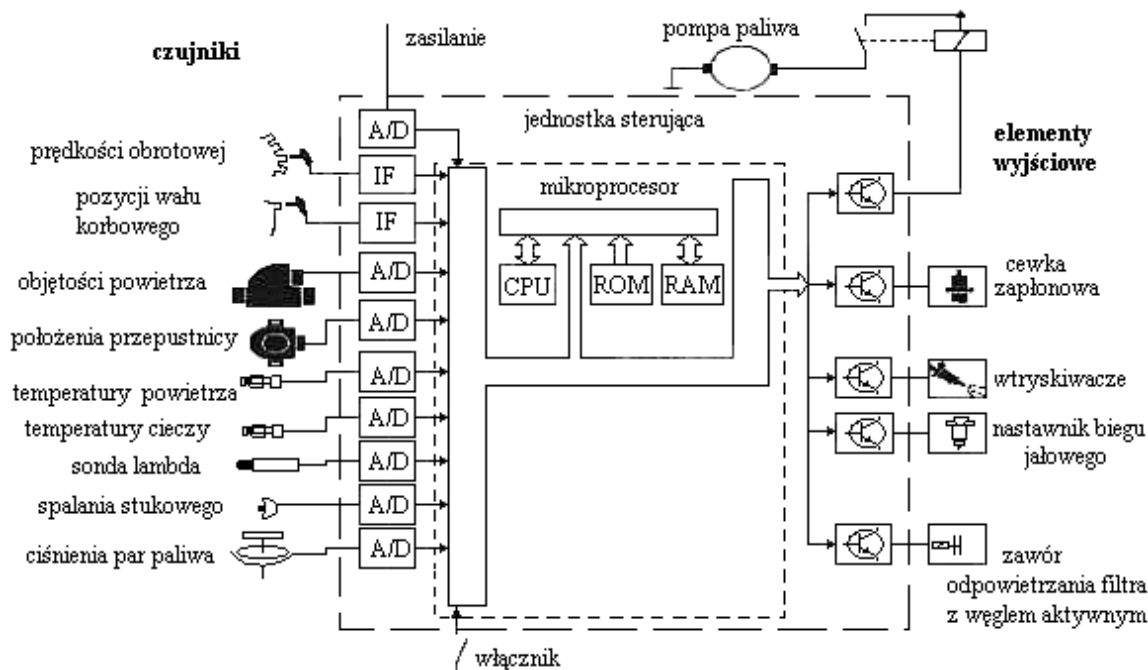
WSTĘP

Klasyczne układy zapłonowe czy też układy z modułami zapłonowymi sterowały tylko kątem wyprzedzenia zapłonu, rzadziej energią iskry w funkcji prędkości obrotowej i obciążenia silnika. Rozwój elektroniki samochodowej wymusił szersze jej stosowanie w procesie sterowania funkcjami pracy silników. Przystosowanie układów elektronicznych sterowanych komputerem do warunków pracy w pojazdach umożliwiło wprowadzenie wieloparametrowego sterowania silnika pojazdu z wykorzystaniem „map zapłonu” do sterowania wtryskiem i zapłonem przez sterowniki mikroprocesorowe. Mikrokomputer, jakim jest elektroniczny sterownik silnika spalinowego, otrzymuje informacje od kilkudziesięciu przetworników i czujników o chwilowym stanie pracy i sterowaniu przez kierowcę. Nadal głównymi parametrami sterującymi do wyznaczenia kąta wyprzedzenia zapłonu pozostały prędkość obrotowa (rys. 1) i obciążenie silnika. Jednakże coraz częściej wykorzystuje się detekcję spalania stukowego.

1. ALGORYTM PRACY STEROWNIKA W SILNIKU BENZYNOWYM TYPU MOTRONIC

System sterowania silnikiem benzynowym Motronic jest elektronicznym układem regulacji (rys. 1). Zadaniem systemu Motronic jest zintegrowane sterowanie dopływem powietrza i paliwa do silnika oraz elektroniczne optymalizowanie procesu zapłonu pod kątem aktualnego trybu jazdy [1-11]. System Motronic, w oparciu o dane z czujników, oblicza optymalne wartości dla każdego procesu wtrysku i spalania, czyli ponad 6 tys. razy na minutę. Zastosowano tu jedną elektroniczną jednostkę sterującą, jedną wiązkę sterującą i szereg czujników wspólnych

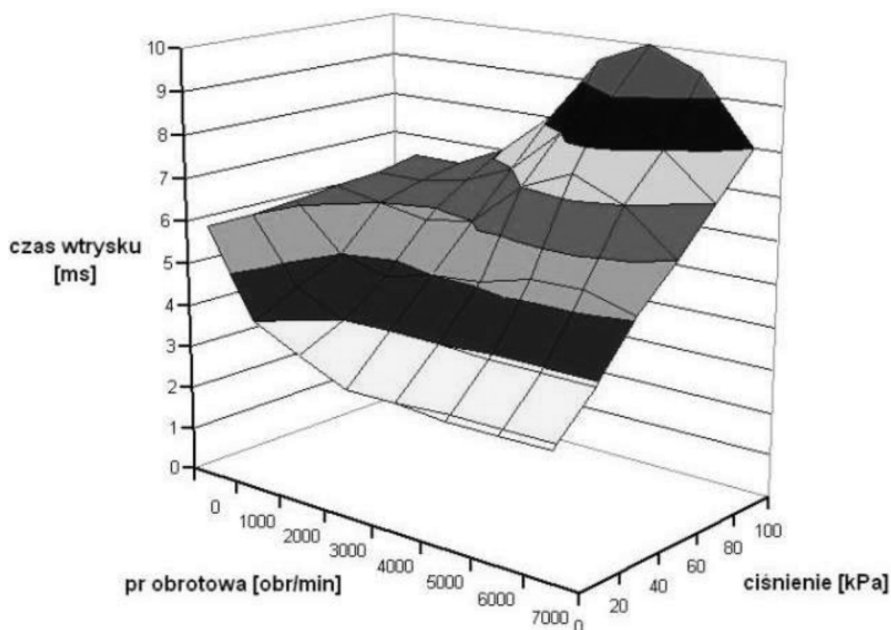
dla obu obwodów. Główny element systemu – sterownik elektroniczny, składa się z mikroprocesora (CPU) i pamięci (ROM i RAM). W pamięci ROM (*Read Only Memory*) przechowywany jest program pamięci trwałej w formie kilku trójwymiarowych map. Mapy te zostały dobrane eksperymentalnie na hamowni, aby zapewnić najkorzystniejsze parametry eksploatacji: niskie zużycie paliwa, małe zanieczyszczenia i odpowiednie przyspieszenie [1, 5, 8-11].



Rys. 1. Schemat funkcjonalny systemu sterowania Motronic, gdzie: A/D – przetwornik analogowo-cyfrowy, IF – układ formowania impulsów, CPU – mikroprocesor, ROM – pamięć stała, RAM – pamięć robocza

Źródło: Opracowanie własne.

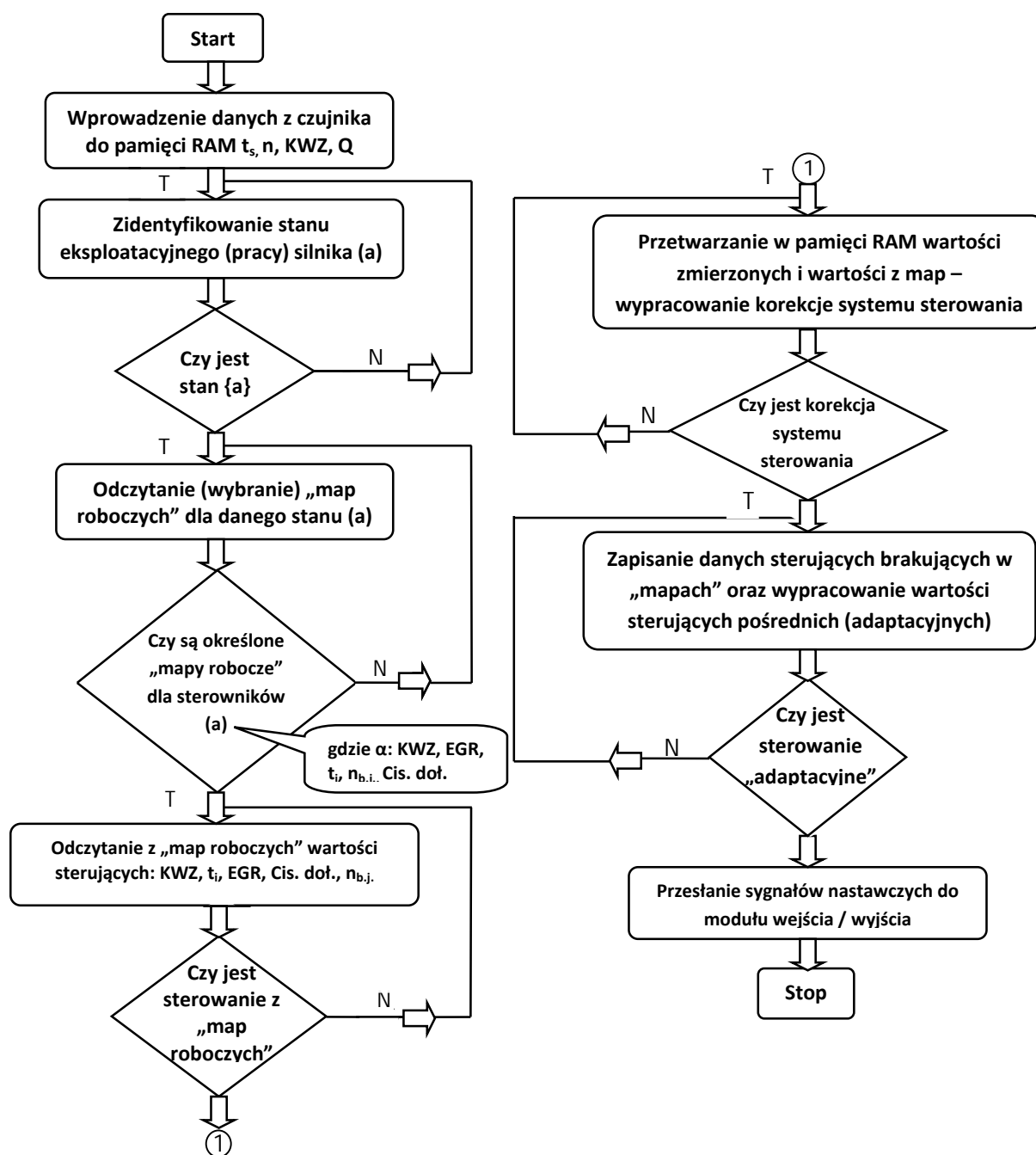
Urządzenie sterujące odczytuje z nich wymagane wartości kąta wyprzedzenia zapłonu i czasu trwania wtrysku benzyny, odpowiadające występującym w danej chwili wartościom prędkości i obciążenia silnika. „Pobieranie” danych z map (rys. 2) jest znacznie szybsze niż ich obliczanie. Jeżeli urządzenie jest dobrze zaprojektowane, to mapa danych sterujących będzie zawierać praktycznie wszystkie możliwe kombinacje wartości sterowania dla obciążenia i prędkości silnika. Mapa ze wszystkimi możliwymi wartościami prędkości obrotowej i obciążenia silnika byłaby olbrzymia. Dlatego wartości prędkości obrotowej podaje się na mapie co 5 [obr/min] (podobnie wpisuje się wartości obciążenia). Dla obszarów wartości nieujemnych w mapie urządzenie sterujące dokonuje interpolacji. W ten sposób wszystkie praktycznie możliwe wartości są przez urządzenie sterujące uwzględnione.



Rys. 2. Przykład „mapy roboczej” czasu wtrysku paliwa

Źródło: Opracowanie własne.

Systemy elektroniczne – sterowniki silnika w pojeździe samochodowym pracują zawsze na tej samej zasadzie: warunki bądź stany pracy sterowanego zespołu są rejestrowane przez przetworniki i przekazywane do urządzenia sterującego. Te warunki lub stany stanowią sygnały wejściowe dla urządzenia sterującego. Sygnały wejściowe mogą być sygnałami analogowymi lub cyfrowymi. Sygnały analogowe mogą przyjmować nieskończenie wiele wartości, są to sygnały o charakterze ciągłym. Sygnały cyfrowe mają postać impulsów, charakteryzują je dwa stany: wysoki (włączony) lub niski (wyłączony). Do określenia wartości sygnału jest wykorzystywana ich szerokość lub częstotliwość. Ponieważ urządzenie sterujące z cyfrowym przetwarzaniem danych rozpoznaje tylko stany „0” i „1”, sygnały elektryczne przekazywane przez czujniki muszą zostać odpowiednio przekształcone. Sygnały analogowe w sygnały cyfrowe przekształca przetwornik analogowo-cyfrowy (A/D). Są to np. sygnał z przepływomierza powietrza, sygnał czujnika temperatury zasysanego powietrza. Układ formowania impulsów (IF) przekształca dowolne sygnały w impulsy prostokątne. Przykładami sygnałów przechodzących przez układ formowania impulsów są: sygnał nadajnika prędkości obrotowej, sygnał nadajnika położenia wału. Sygnały wejściowe wywołują w urządzeniu sterującym określone kroki przetwarzania, które następują według zaprogramowanego przebiegu. Przetwarzanie danych przez mikroprocesor (CPU, *Control Procesor Unit*) według algorytmu na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat algorytmu sterownika w silniku typu MOTRONIC, gdzie: a – stany pracy silnika: a₁ – bieg jałowy, a₂ – obciążenie częściowe, a₃ – pełne obciążenie, a₄ – Rozruch, a₅ – faza nagrzewania, a₆ – przyspieszenie, a₇ – hamowanie silnikiem, Q – masa powietrza z przepływomierza, KWZ – kąt wyprzedzenia zapłonu, α – czas zwarcia cewki zapłonu, t_i – czas wtrysku paliwa, n_{b.j.} – prędkość obrotowa biegu jałowego, EGR – zasilenie zaworu recykulacji spalin, Cis._{Doł.} – zasilenie zaworu ciśnienia doładowania

Źródło: Opracowanie własne.

Schemat pracy algorytmu sterownika pracy silnika (rys. 3) można podzielić na następujące etapy:

- zidentyfikowanie stanów eksploatacyjnych w zależności od tych wartości,
- przejście z programu pamięci (ROM) wartości charakterystyki wykreślonej dotyczącej zidentyfikowanych stanów eksploatacyjnych,

- przetworzenie wartości zmierzonych i wartości charakterystyki wykreślnej według zapisanych w pamięci algorytmów obliczeniowych,
- obliczenie na podstawie wartości pośrednich i wyników pomiaru wartości sygnałów nastawczych,
- przesłanie sygnałów nastawczych do modułu wejście/wyjście (I/O).

Na końcu procesu przetwarzania powstaje sygnał wyjściowy. Ten sygnał albo kilka takich sygnałów wyjściowych działa na przetworniki, np. silniki sterujące, zawory elektromagnetyczne itp. Ponieważ wychodzące z jednostki centralnej sygnały są za słabe do sterowania członów wykonawczych zostają one wzmocnione w tzw. stopniach końcowych mocy w postaci tranzystorów lub tyrystorów [1, 5, 8-11]. Elementy wykonawcze uruchamiane przez końcowe stopnie mocy, to:

- wtryskiwacze,
- nastawnik obrotów biegu jałowego,
- cewka zapłonowa,
- pompa paliwa,
- zawór odpowietrzania filtra z węglem aktywnym,
- zawór regulacji recyrkulacji spalin,
- zawór układu dotłaczania dodatkowego powietrza.

W algorytmie sterownika silnika wyróżniono następujące a-stany (fazy) jego pracy:

1. **Podczas rozruchu silnika** sygnał obciążenia z przepływomierza powietrza nie jest brany pod uwagę. Czas wtrysku jest określany na podstawie temperatury cieczy chłodzącej, prędkości obrotowej oraz liczby obrotów wału korbowego. Wzbogacenie mieszanki następuje tak długo, aż zostanie przekroczony próg prędkości obrotowej uzależniony od temperatury silnika. Po rozruchu dawka paliwa jest stopniowo zmniejszana do dawki podstawowej zgodnie z zaprogramowaną stałą czasową.
2. **W fazie nagrzewania silnika** wzbogacenie mieszanki następuje w zależności od temperatury silnika. Jeżeli temperatura cieczy chłodzącej jest niższa niż 60°C to dawka wtryskiwanego paliwa jest zwiększana. Dodatkowo brane są pod uwagę obciążenie i prędkość obrotowa silnika.
3. **Wzbogacenie mieszanki podczas przyspieszania.** Jednostka sterująca rozpoznaje przyspieszenie na podstawie przyrostu wartości sygnału napięciowego przepływomierza powietrza w stałym przedziale czasowym. Dodatkowa ilość paliwa zależy od temperatury cieczy chłodzącej, prędkości obrotowej i obciążenia silnika.
4. **Bieg jałowy.** Gdy styk biegu jałowego w czujniku położenia przepustnicy jest zamknięty (połączony z masą) oraz prędkość obrotowa silnika osiąga poziom, poniżej którego następuje odłączanie wtrysku paliwa parametry wtrysku nie są wyznaczone na podstawie ogólnego programu charakterystyki wykreślnej. Czas otwarcia wtryskiwaczy jest określany w funkcji prędkości obrotowej.
5. **Obciążenie częściowe** jest rozpoznawane przez jednostkę sterującą na podstawie otwartych styków biegu jałowego oraz pełnego obciążenia w czujniku położenia przepustnicy. W takiej sytuacji sygnał wtrysku składa się z sygnału podstawowego oraz sygnału korekcyjnego układu regulacyjnego lambda.
6. **Przy pełnym obciążeniu** – styk pełnego obciążenia w przepustnicy zamknięty – regulacja lambda jest wyłączana oraz następuje wzbogacenie mieszanki. Ilość wymaganego paliwa określana jest na podstawie charakterystyki korekcyjnej w zależności od prędkości obrotowej.
7. **W przypadku hamowania silnikiem** wtrysk paliwa jest przerywany. Warunkiem jest zamknięty styk biegu jałowego przełącznika przepustnicy. Prędkość obrotowa, przy której następuje odcięcie wtrysku zależy od temperatury silnika. Jeżeli temperatura płynu chłodzącego jest niska to odcięcie dopływu paliwa następuje przy większej prędkości obrotowej.

8. **Korekcja wahań napięcia zasilania.** Czas przyciągania i zwalniania iglicy wtryskiwacza zależy od napięcia akumulatora. Aby zapewnić właściwy skład mieszanki paliwowo-powietrznej przy niskim napięciu pokładowym urządzenie sterujące wydłuża odpowiednio czas otwarcia wtryskiwaczy.

Korekcja wtrysku zależy od **temperatury powietrza dolotowego**. Wraz ze zmianami temperatury zmienia się objętość i gęstość powietrza. Wpływa to na współczynnik nadmiaru powietrza. Przy wyższej temperaturze powietrza niż 20°C czas otwarcia wtryskiwaczy jest skrącany. Gdy temperatura jest niższa jest wydłużany [1, 5, 8].

PODSUMOWANIE

Wykorzystanie mikrokomputera do sterowania silnikiem pojazdu stwarza dogodne warunki do optymalizacji sterowania oraz do realizacji samodiagnostyki. Sterownik na bieżąco sprawdza pozyskiwane sygnały z sensorów (czujników) i porównuje je z sygnałami zapisanymi w pamięci. Jeżeli zostanie wykryte uszkodzenie któregoś z czujników, elektroniczne urządzenie sterujące zastąpi dane wysyłane przez ten uszkodzony czujnik, danymi zapisanymi w swojej pamięci (recovery). Po wykryciu uszkodzenia będzie ono zapisane trwale w pamięci, a sygnał z uszkodzonego czujnika nie będzie brany pod uwagę do momentu, aż jego wartość stanie się znów możliwa do przyjęcia. W pamięci urządzenia sterującego Motronic wersji np. ML 4.1 przechowywanych jest pięć wartości zastępczych: przepływomierz powietrza – kąt zapłonu 20°OKW, przepływomierz powietrza – czas wtrysku 4,8 ms; temperatura powietrza: 19,9°C, temperatura cieczy chłodzącej: 80°C, sonda lambda: dane sondy lambda są ignorowane (obwód otwarty) dla napięcia czujnika > 1,099 V lub napięcia utrzymującego się pomiędzy 0,400 i 0,518 V dla czasu dłuższego niż 2,55 s, czujnik spalania stukowego: wyprzedzenie zapłonu jest obliczane w zależności od temperatury płynu chłodzącego i temperatury powietrza.

BIBLIOGRAFIA

1. Duer S., *Laboratorium Elektrotechniki samochodowej*. Tom I, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2009.
2. Duer S., Duer R., Duer P., *Tor pomiarowy dla systemu diagnozującego układ sterowania silnikiem samochodowym typu Motronic*. XII Forum Motoryzacji „Innowacje w motoryzacji dla ochrony środowiska”, Słupsk 21-22 maja 2009.
3. Duer S., Zajkowski K., Duer R., *Diagnostyka w układzie zasilania elektrycznego pojazdu samochodowego*. „ZKwE 2010”. Poznan University of Technology, Poznan, April 19-21, 2010.
4. Duer S., *Artificial Neural Network-based technique for operation process control of a technical object*. Defence Science Journal, DESIDOC, vol. 59, No. 3, May 2009.
5. Duer S., Zajkowski K., *Laboratorium Elektrotechniki samochodowej*. Tom II. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2010.
6. Duer S., *Diagnostic system with an artificial neural network in diagnostics of an analogue technical object*. Neural Computing & Applications, 2010, vol. 19, No. 1.
7. Duer S., *Artificial neural network in the control process of object's states basis for organization of a servicing system of a technical objects*. Neural Computing & Applications 2012, vol. 21, No. 1.
8. Informatory techniczne BOSCH, *Czujniki w pojazdach samochodowych*. WKŁ, Warszawa 2004.
9. Gajek A., Juda Z., *Czujniki*. WKŁ, Warszawa 2008.

10. Gładyszek J., Gładyszek M., *Poradnik diagnostyki samochodowej*. Wyd. Bosch, Kraków 2008.
11. www.auto-online.pl.

WORK ALGORITHM DRIVER TYPE MOTRONIC GASOLINE

Abstract

The article presents the problems of organization of motor control algorithm for operation of the vehicle. The paper presents the construction of the driver and a description of its components. Characterized and described the different phases of the motor vehicle. An important part of the material presented in the article is to present an exemplary structure of the PLC algorithm scheme of the vehicle. Knowing the principles of operation of the controller and the vehicle is based on his research and diagnostics.

Key words: algorithm, motor controller, motronic.

Autorzy:

dr inż. **Stanisław Duer** – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny

dr inż. **Konrad Zajkowski** – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny

dr inż. **Stanisław Sokolowski** – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny

mgr inż. **Dominik Łyskojć** – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny

Kamil Czarnowski – Naukowe Koło Studentów „AutoElektro”, Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny