

Spis treści

Wprowadzenie	4
1 Cel i zakres pracy	4
 I Przykłady rozwiązań układów wtryskowo-zapłonowych	5
2 Bosch Motronic	6
2.1 Mono-Motronic	6
2.2 Motronic ML 4.1	9
3 Ford EEC	11
 II Silnik jako obiekt sterowania	14
4 Silnik 126.A 076 jako obiekt sterowania	15
5 Założenia upraszczające	17
 III Koncepcja zintegrowanego układu wtryskowo-zapłonowego do silnika 126.A 076	19
6 Wielkości sterujące	20
6.1 Masa zasysanego powietrza	20
6.2 Prędkość obrotowa	21
6.3 Kąt obrotu wału korbowego	22

7	Wielkości korekcyjne	23
7.1	Pętla regulacji λ	23
7.2	Kąt otwarcia przepustnicy	24
7.3	Temperatura silnika	24
7.4	Napięcie zasilania	25
IV	Realizacja praktyczna	26
8	Jednostka sterująca	27
8.1	Budowa	27
8.2	Realizowane funkcje	28
8.3	Program sterujący	29
8.3.1	Schemat blokowy algorytmu	31
8.3.1.1	Spis zmiennych	31
8.3.1.2	Uproszczony schemat algorytmu	33
9	Elementy katalogowe	34
9.1	Moduł zapłonowy	34
9.2	Wtryskiwacze	35
9.3	Termoanemometr	36
9.4	Czujnik położenia wału korbowego	37
9.5	Czujnik kąta otwarcia przepustnicy	37
9.6	Silnik krokowy kanału powietrza dodatkowego	37
V	Badania układu	39
9.7	Identyfikacja elementów składowych	40
9.7.1	Wtryskiwacze	40
9.7.1.1	Cel i plan badań	40
9.7.1.2	Stanowisko pomiarowe	41
9.7.1.3	Wyniki	42
9.7.1.4	Obserwacje i wnioski	44
9.7.2	Termoanemometr	46
9.7.3	Czujnik temperatury silnika	47
9.7.4	Czujnik kąta otwarcia przepustnicy	48
9.8	Próby z wykorzystaniem symulatora silnika spalinowego	48
9.8.1	Koncepcja i konstrukcja stanowiska	48
9.8.2	Wyniki badań układu na symulatorze	50
9.9	Badania wstępne silnika	51
9.9.1	Badania silnika z zasilaniem gaźnikowym	51
9.9.2	Badania silnika z zasilaniem wtryskowym	53

VI Obserwacje i wnioski	59
Bibliografia	62
Załączniki	64

1

Cel i zakres pracy

Celem pracy jest opracowanie autorskiego układu wtryskowo-zapłonowego do silnika o zapłonie iskrowym. Układ ten ma zastąpić zasilanie gaźnikowe oraz mechaniczny układ zapłonowy.

Dąży się do osiągnięcia:

- większej niezawodności silnika,
- poprawy wskaźników eksploatacyjnych: mocy, momentu obrotowego, zużycia paliwa oraz elastyczności,
- braku konieczności okresowej regulacji układu,
- łatwego uruchamiania silnika.

Praca obejmuje czynności konieczne do zbudowania prototypowego układu wtryskowo-zapłonowego i uruchomienia go na rzeczywistym silniku. Elementem pracy nie jest jednak przystosowanie silnika do nowego typu zasilania. Jako obiekt wykorzystano silnik samochodu małolitrażowego Fiat 126p, znajdujący się w Katedrze Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn.

By umożliwić zbudowanie układu należało przyjąć koncepcję działania, wybrać elementy składowe i dokonać połączeń elektrycznych. Dodatkowo konieczne było opracowanie algorytmu i napisanie programu sterującego. Układ powinien być rozwiązaniem całkowicie samodzielnym, wykorzystującym tylko sygnały pochodzące ze silnika.

Do znajomości działania układu wymagane były badania niektórych elementów składowych oraz badania symulacyjne całego układu. Z tego powodu w zakresie pracy mieści się także zaprojektowanie stanowiska do badań symulacyjnych.

Ocena prawidłowości pracy układu wymaga wykonania wstępnych badań stanowiskowych na hamowni silnikowej.

Część I

Przykłady rozwiązań układów wtryskowo-zaplonowych

2

Bosch Motronic

Zintegrowane rozwiązania przejęły funkcje oddzielnych układów wtryskowych oraz zapłonowych. Dzięki temu, że do obliczenia chwili zapłonu oraz czasu i chwili wtrysku wykorzystywana jest część tych samych czujników, możliwe jest uproszczenie układu [11]. Pomiary nie muszą być wykonywane podwójnie, a wymiana danych jest mniej skomplikowana.

Nazwa *Motronic* dotyczy całej rodziny układów wtryskowo-zapłonowych firmy Bosch. Motronic powstał w wyniku rozbudowania [7] układów wtryskowych Jetronic o funkcje sterowania zapłonem.

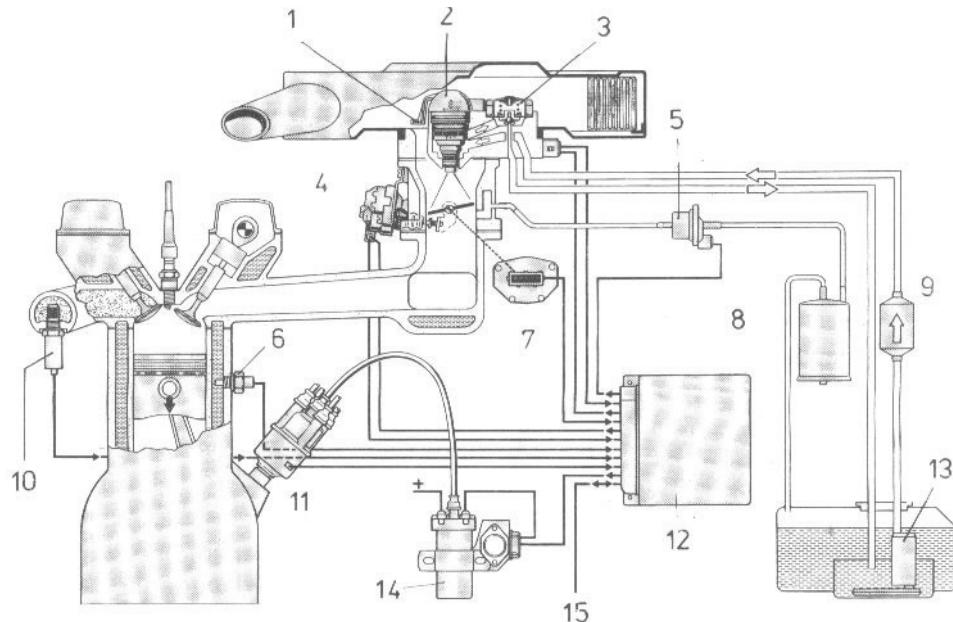
Ponadto niektóre odmiany Motronic mogą sterować także [2] m. in.:

- zaworem recyrkulacji spalin,
- zmianą długości przewodu dolotowego,
- nastawnikiem faz rozrządu,
- ciśnieniem doładowania.

2.1 Mono-Motronic

Układ Mono-Motronic [7] powstał w wyniku modyfikacji Mono-Jetronic. Do pamięci urządzenia sterującego wprowadzono charakterystykę kąta wyprzedzenia zapłonu. Mono-Motronic stosowany był w silnikach o małych pojemnościach skokowych.

Rysunek 2.1 przedstawia schemat układu. Paliwo wtryskiwane jest przez pojedynczy wtryskiwacz (2) umieszczony przed przepustnicą. Oznaczony numerem (4) nastawnik przepustnicy ma za zadanie regulować jej położenie podczas pracy silnika na biegu jałowym.



Rysunek 2.1: Bosch Mono-Motronic [7]

Paliwo dostarczane jest pod ciśnieniem rzędu 100 kPa przez pompę (13) umieszczoną w zbiorniku. Ciśnienie ograniczane jest przez regulator (3). Za eliminowanie par paliw odpowiada zawór (5) oraz pojedniak z węglem aktywnym (8). Wysokiego napięcie dostarczane jest do świecy zapłonowej przez cewkę (14) oraz rozdzielacz (11).

Z rozdzielacza pochodzi również informacja o położeniu wału korbowego. Przekazywana jest ona do jednostki centralnej (12), która także pobiera sygnały z czujników: kąta otwarcia przepustnicy (7), temperatury cieczy chłodzącej (6), temperatury powietrza (1) oraz z sondy lambda (10).

Mono-Motronic szacuje ilość zasysanego powietrza na podstawie kąta uchylenia przepustnicy i prędkości obrotowej silnika. Stąd używana jest nazwa "sterowanie α/n ", gdzie " α " oznacza kąt otwarcia przepustnicy a " n " prędkość obrotową [11].

Pojedynczy, wspólny dla wszystkich cylindrów, wtryskiwacz umieszczony został na początku kolektora dolotowego. Zaletą takiego rozwiązania jest znaczną odległość do komory spalania - kropelki paliwa mają wystarczającą ilość czasu na odparowanie i wymieszanie się z powietrzem. Natomiast za wadę należy uznać trudności z równomiernym zasilaniem poszczególnych cylindrów.

Wykorzystywane sygnały wejściowe

Sygnal prędkosci obrotowej pobierany jest z czujnika zamontowanego w rozdzielaczu zapłonu.

Wartość kąta otwarcia przepustnicy określana za pomocą potencjometru zamontowanego na osi przepustnicy. Posiada on dwie bieżnie, jedną dla małych kątów otwarcia przepustnicy, drugą dla wyższych wartości. Taki podział ma za zadanie zwiększyć dokładność pomiaru dla niewielkich otwarć, gdzie mała zmiana kąta powoduje dużą zmianę stopnia napełnienia cylindrów.

Temperatura silnika. Jako temperaturę silnika należy właściwie rozumieć temperaturę cieczy chłodzącej. Jej pomiar odbywa się za pomocą rezystora NTC. Czujnik umieszczony jest w kadłubie silnika.

Temperatura zasysanego powietrza mierzona za pomocą rezystora NTC umieszczonego w zespole wtryskowym. Gęstość powietrza jest zależna m. in. od jego temperatury. Stąd temperatura jest uwzględniana przez urządzenie sterujące przy obliczaniu dawki wtryskiwanego paliwa.

Napięcie w instalacji elektrycznej. Jego wartość ma wpływ m. in. na czas otwierania wtryskiwacza¹. Oprócz tego zbyt niskie napięcie zasilanie może wpływać na ciśnienie wytwarzane przez pompę paliwa.

Napięcie z sondy lambda informujące o aktualnej wartości współczynnika nadmiaru powietrza. Wykorzystywane jest dwustanowa sonda lambda. Oscylacje napięcia pozwalają na utrzymanie współczynnika $\lambda=1$ z dokładnością ok. 1%.

Sposób sterowania dawką wtrysku

Z uwagi na stabilizowane ciśnienie wtrysku dawką wtryskiwanego paliwa steruję się za pomocą czasu otwarcia wtryskiwacza. Jak wcześniej wspomniano, do określenia czasu otwarcia wtryskiwacza wykorzystywana jest prędkość obrotowa silnika i kąt otwarcia przepustnicy. Te dwie wielkości tworzą dwuwymiarową mapę czasów wtrysku. Jest ona ściśle przyporządkowana do określonego silnika i może powstać tylko w wyniku dokładnych prób stanowiskowych.

Wielkość pobrana z mapy może być skorygowana [7]:

- zależnie od napięcia na sondzie lambda. Regulacja λ pozwala na zachowanie składu mieszanek paliwo-powietrznej zbliżonego do stochiometrycznego.
- przy rozruchu i podczas rozgrzewania silnika. Wtedy znaczna część wtryskiwanego paliwa osiada na zimnych ściankach kanałów dolotowych oraz na gładzi cylindrów. Wymusza zwiększenie dawki wtrysku tak aby w mieszance pozostała ilość paliwa potrzebna do pracy silnika,

¹Czas od podania napięcia na wtryskiwacz do jego pełnego otwarcia.

- podczas przyspieszania samochodu lub jazdy z prędkością maksymalną, kiedy wymagamy pełnej mocy silnika. Uzyskiwana jest ona przy mieszankach o składzie “bogatszym” od stekiometrycznego,
- podczas hamowania silnikiem, gdy paliwo nie musi być podawane dla podtrzymywania pracy silnika.

Sterowanie zapłonem

Układ Mono-Motronic odróżnia od Mono-Jetronic sposób sterowanie kątem wyprzedzenia zapłonu. Zamiast mechanicznych regulatorów, zależnego od podciśnienia w kolektorze dolotowym i drugiego zależnego od prędkości obrotowej (odśrodkowego) zastosowano mapę kąta wyprzedzenia zapłonu.

Istnieje odmiana układu nie posiadająca rozdzielača, lecz wykorzystująca dwie cewki zapłonowe [13]. W tym przypadku sygnał położenia wału korbowego jest pobierany z czujnika współpracującego z wieńcem na wale korbowym.

Funkcje dodatkowe

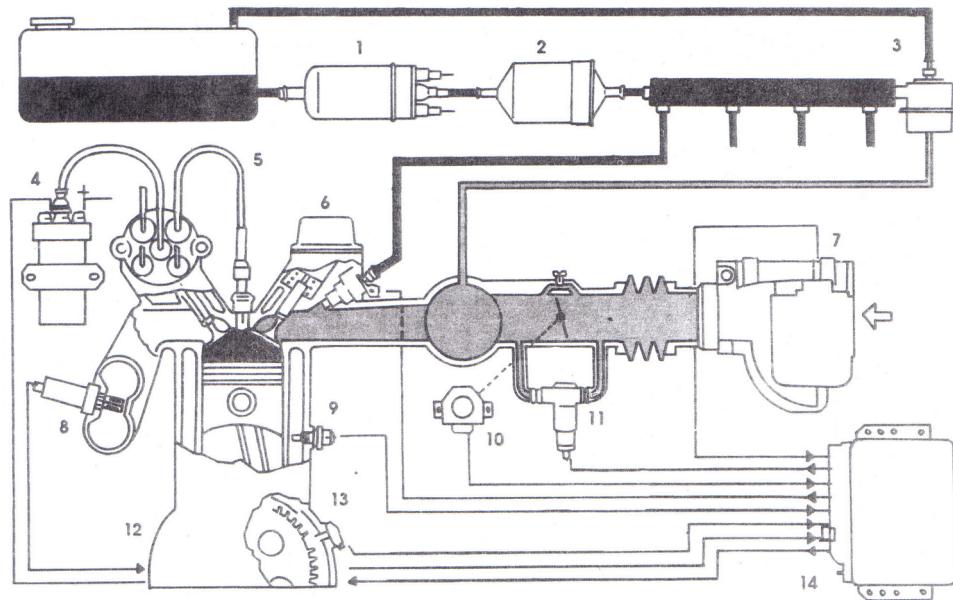
Mono-Motronic posiada system samoadaptacji i samodiagnozy. Samoadaptacja pozwala na skorygowanie danych zapisanych w pamięci sterownika. Mogą one być optymalne, z uwagi na rozrzuty wykonawcze, dla danego egzemplarza silnika.

Samodiagnoza pozwala na wykrywanie usterek w układzie i pozostawianie informacji o nich, które mogą być odczytane przez urządzenie diagnostyczne.

2.2 Motronic ML 4.1

Motronic ML 4.1, przedstawiony na rysunku 2.2, jest połączeniem rozdzielačowego układu zapłonowego i układu wielopunktowego wtrysku benzyny.

W odróżnieniu od wcześniej omówionego Mono-Motronic, ML 4.1 wykorzystuje pomiar ilości zasysanego powietrza przy pomocy przepływowomierza objętościowego [3]. Odchylana przez powietrze tarcza spiętrzająca połączona jest z potencjometrem. Uzyskuje się w ten sposób objętościowe natężenie przepływu. By poznać masę pobranego powietrza, wykorzystywany jest dodatkowo czujnik temperatury [6]. Przepustnica posiada dwa styczniiki, jeden zwierany przy położeniu całkowicie zamkniętym, drugi przy położeniu całkowicie otwartym.



Rysunek 2.2: Motronic ML 4.1 [12]

1 - pompka paliwa, 2 - filtr paliwa, 3 - regulator ciśnienia paliwa, 4 - cewka zapłonowa, 5 - świeca zapłonowa, 6 - wtryskiwacz, 7 - przepływowomierz powietrza, 8 - sonda lambda, 9 - czujnik temperatury silnika, 10 - czujnik położenia przepustnicy, 11 - regulator biegu jałowego, 12 - wieniec zębaty, 13 - czujnik prędkości obrotowej i położenia wału korbowego, 14 - centralne urządzenie sterujące

Sposób pracy układu [3]

Cewki wszystkich czterech wtryskiwaczy połączone są równolegle, realizowany jest wtrysk jednoczesny. Podczas normalnej pracy układu wtrysk następuje jeden raz na obrót wału korbowego, czyli co drugi impuls zapłonowy. Natomiast przy rozruchu silnika paliwo wtryskiwane jest dwa razy częściej.

Układ regulacji λ wykorzystuje sondę dwustanową. Jej wskazania uwzględniane są przy temperaturze silnika przekraczającej 20°C . Poniżej tej wartości czas wtrysku jest korygowany zależnie od temperatury silnika. Pozwala to na wzbogocenie mieszanki podczas rozgrzewania jednostki napędowej. Regulacja λ odłączana jest także przy maksymalnym otwarciu przepustnicy.

Prędkość i kąt obrotu wału korbowego mierzone są za pomocą czujnika magnetoindukcyjnego. Sygnał wykorzystywany jest przez urządzenie sterujące. Do obliczenia kąta wyprzedzenia zapłonu uwzględnia ono: prędkość obrotową silnika, temperaturę powietrza, temperaturę silnika, kąt otwarcia przepustnicy, obciążenie silnika. Rozdzielał iskry odbywa się za pomocą rozdzielacza mechanicznego.

3

Ford EEC

Układy wtryskowo-zapłonowe EEC są szeroko stosowane w samochodach marki Ford. Niżej zostanie omówiona odmiana EEC IV współpracująca z silnikami ZETA [5]. Rysunek 3.1 przedstawia elementy składowe układu.

Sygnały wejściowe

Układ EEC IV uwzględnia wiele wielkości wejściowych. Do najważniejszych należy zaliczyć:

Sygnal prędkości i kąta obrotu wału korbowego. Jego odczyt dokonywany jest przy pomocy czujnika magnetoindukcyjnego współpracującego z tarczą podstałą w wyniku usunięcia jednego zęba z tarczy o ich 36 zębach. Dzięki pojedynczemu większemu odstępowi możliwe jest określenie położenia wału korbowego.

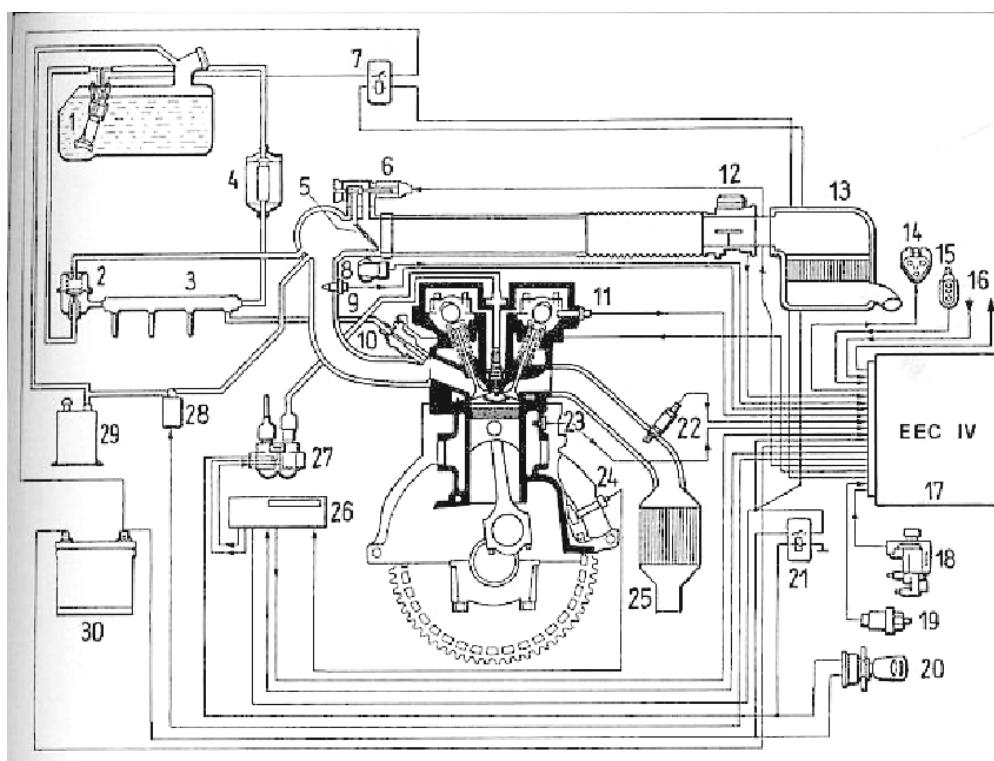
Sygnal położenia wałka rozrządu pozwala na realizację wielopunktowego wtrysku sekwencyjnego. Ideę wtrysku sekwencyjnego przedstawia rysunek 3.2.

Masa zasysanego powietrza mierzona jest za pomocą przepływomierza powietrza (12).

Temperatura zasysanego powietrza.

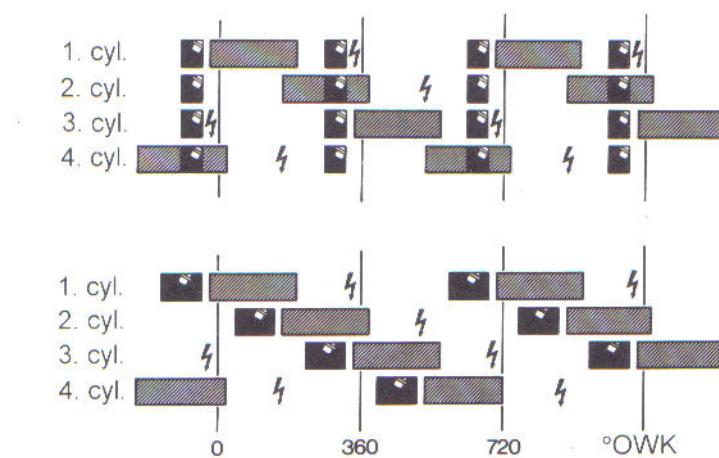
Temperatura silnika. Pomiar odbywa się za pomocą czujnika (23) zanurzonego w cieczy chłodzącej.

Napięcie na sondzie lambda.



Rysunek 3.1: Układ Ford EEC IV [5]

1 - pompa paliwa, 2 - regulator ciśnienia, 3 - kolektor wtryskiwaczy, 4 - filtr paliwa, 5 - zespół przepustnicy, 6 - regulator biegu jałowego, 7 - przekaźnik pompy paliwa, 8 - czujnik położenia przepustnicy, 9 - czujnik temperatury powietrza, 10 - wtryskiwacz, 11 - czujnik położenia wałka rozrządu, 12 - przepływowomierz powietrza, 13 - filtr powietrza, 14 - gniazdo diagnostyczne, 15 - korektor od liczby oktanowej paliwa, 16 - połączenie z układem klimatyzacji, 17 - urządzenie sterujące, 18 - elektrozawór zasysania powietrza, 19 - czujnik ciśnienia w układzie wspomagania kierownicy, 20 - wyłącznik zapłonu, 21 - przekaźnik główny, 22 - sonda lambda, 23 - czujnik temperatury płynu chłodniczego, 24 - czujnik położenia i prędkości wału korbowego, 25 - katalizator, 26 - moduł zapłonowy, 27 - cewka zapłonowa, 28 - elektrozawór odprowadzania par paliwa, 29 - filtr z węglem aktywnym, 30 - akumulator.



Rysunek 3.2: Porównanie pracy wtrysku semisekwencyjnego i sekwencyjnego [7]

Tryby pracy układu

Przy rozruchu wszystkie wtryskiwacze uruchamiane są jednocześnie. Po przekroczeniu $600 \frac{obr.}{min}$ uwzględniony zostaje sygnał z czujnika wałka rozrządu i wtrysk odbywa się sekwencyjnie [5]. W przypadku tzw. hamowania silnikiem paliwo nie jest wtryskiwane, pod warunkiem, że prędkość obrotowa jest wyższa od $1500 \frac{obr.}{min}$.

Sterowanie zapłonem

Układ EEC IV nie wykorzystuje rozdzielača zapłonu. Jest to możliwe dzięki użyciu dwóch cewek zapłonowych, z których każda obsługuje dwa cylindry. Jedna iskra zapala mieszankę cylindrze w którym dobiega końcowi suw sprężania. Druga występuje w innym cylindrze pod koniec suwu wydechu [4].

Cechą charakterystyczną układu Forda jest oddzielenie modułu zapłonowego EDIS4 od jednostki sterującej. Oprócz uruchamiania cewek realizuje on dwie dodatkowe funkcje:

- odbiór i obróbka sygnału z czujnika położenia wału korbowego. Już przekształcony sygnał, w formie przebiegu prostokątnego, przesyłany jest do jednostki sterującej,
- regulacja kąta wyprzedzenia zapłonu na bazie sygnału sterującego otrzymanego z jednostki centralnej.

Część II

Silnik jako obiekt sterowania

4

Silnik 126.A 076 jako obiekt sterowania

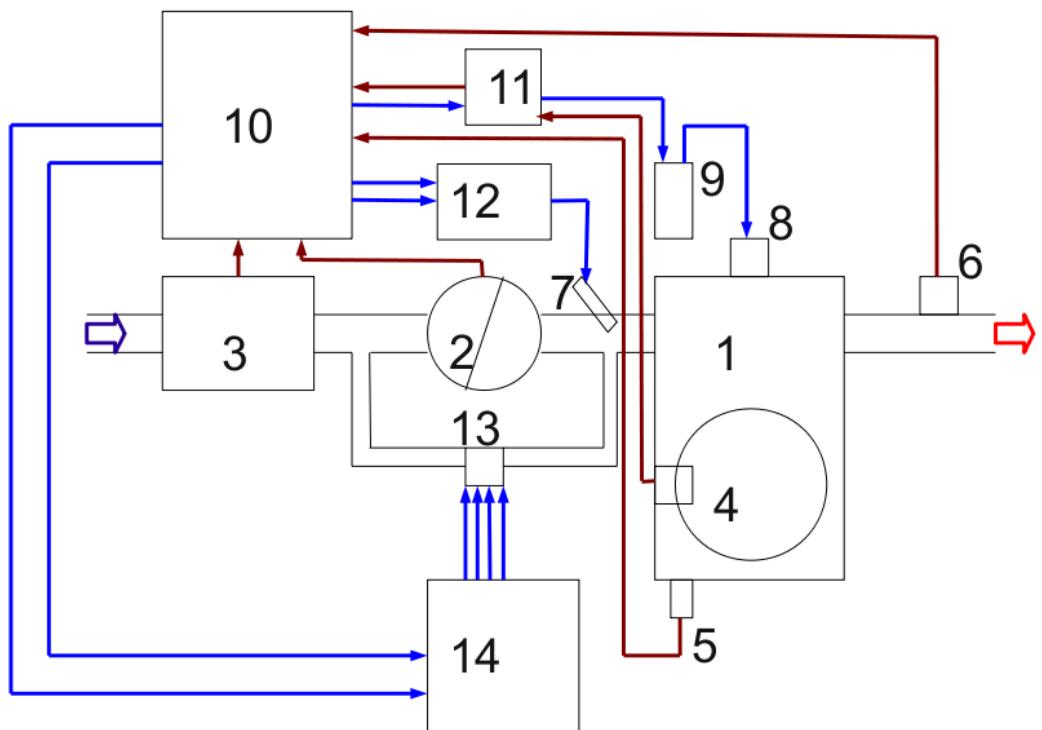
Obiektem sterowania jest dwucylindrowy rzędowy silnik czterosuwowy o oznaczeniu 126.A 076. Jednostka ta montowana była w samochodzie małolitrażowym Fiat 126p. W rozwiązaniu oryginalnym silnik wyposażono w zasilanie gaźnikowe. Podstawowe dane techniczne przedstawia tabela¹ 4.1.

W rozwiązaniu docelowym z silnika usunięto elementy zasilania gaźnikowego: gaźnik, przerywacz, cewkę zapłonową, część układu dolotowego. W ich miejsce zastosowano opracowany system wtryskowo-zapłonowy. Układ wylotowy silnika nie został wyposażony w katalizator.

Pojemność skokowa [cm^3]	652
Liczba cylindrów	2
Liczba zaworów na cylinder	2
Rodzaj rozrządu	górnozaworowy, z walkiem w kadłubie
Średnica cylindra [mm]	77
Skok tłoka [mm]	70
Moc maksymalna [kW]	17,7 przy 4500 $\frac{obr.}{min}$
Maksymalny moment obrotowy [Nm]	42 przy 3000 $\frac{obr.}{min}$
Rodzaj chłodzenia	powietrzem, wymuszone

Tablica 4.1: Dane techniczne silnika 126.A 076

¹Wartości mocy i momentu obrotowego dotyczą zasilania gaźnikowego.



Rysunek 4.1: Schemat blokowy układu wtryskowo-zapłonowego

1 - silnik, 2 - przepustnica z czujnikiem poł., 3 - termoanemometr, 4 - tarcza zębata z czujnikiem magnetoindukcyjnym, 5 - czujnik temperatury, 6 - sonda lambda, 7 - wtryskiwacz, 8 - świeca zapłonowa, 9 - cewka zapłonowa, 10 - jednostka sterująca, 11 - moduł zapłonowy, 12 - końcówka mocy, 13 - silnik krokowy (kanał obejściowy), 14 - sterownik silnika krokkowego

Zaproponowano układ przedstawiony na schemacie 4.1. Układ wyposażono w dwa wtryskiwacze (7), po jednym na cylinder, umieszczone w przewodach dolotowych silnika (1). Za zapłon mieszanki odpowiada cewka dwubiegunkowa (9) współpracująca z dwoma świecami zapłonowymi (8).

Sygnał z czujnika indukcyjnego (4), informujący o położeniu wału korbowego, przesyłany jest do modułu zapłonowego (11). Tam zostaje wstępnie obrobiony i przekazany do jednostki sterującej (10). Jednostka ta pobiera dodatkowo informacje od przepływomierza masowego (3), czujnika położenia przepustnicy (2), czujnika temperatury oleju (5) oraz od sondy lambda (6). Jednostka sterująca wysyła impulsy do modułu zapłonowego, końcówki mocy (12) i sterownika silnika krokkowego (14). Dodatkowo mierzone jest napięcie zasilania układu.

5

Założenia upraszczające

Przy opracowywaniu układu przyjęto szereg założeń upraszczających.

- Wykorzystano już istniejący silnik, który wcześniej pracował z zasilaniem gaźnikowym.
- Pominięto kwestie emisji szkodliwych składników spalin i współpracy z katalitycznymi układami oczyszczania. Nie wprowadzono także funkcji kontroli przewietrzania skrzyni korbowej.
- Moduł zapłonowy został zaadaptowany z istniejącego rozwiązania układu wtryskowo-zapłonowego. Budowa takiego modułu, jako elementu wysokoenergetycznego, mogłaby spowodować trudności natury elektrycznej. Przy tym samo zastosowanie gotowego elementu nie ogranicza w żaden sposób możliwości algorytmu sterującego, gdyż moduł jest tylko wykonawcą instrukcji z jednostki sterującej.
- Nie wprowadzono systemu diagnostyki i pomijania sygnałów z nieprawidłowo działających czujników.
- Z uwagi na użytą hamownię obciążeniową, nie był możliwy pomiar parametrów silnika w pracy w warunkach nieustalonych. Dlatego algorytm sterujący obejmuje tylko pracę w warunkach ustalonych.

Aplikacja do produkcji masowej

Układ ma charakter prototypowy. Zbudowano go w sposób umożliwiający łatwe wprowadzanie poprawek i modyfikację pełnionych funkcji. W przypadku opracowywania seryjnej wersji układu należałoby zwiększyć skalę integracji projektu. Konieczne byłoby opracowanie dedykowanej obudowy i płytka drukowanej.

Kolejnym problemem do rozwiązania, w przypadku produkcji seryjnej, jest integracja z istniejącą instalacją elektryczną samochodu. Konieczne jest zaplanowanie umieszczenia bezpieczników zasilających układ. Dodatkowo należy dokonać modyfikacji mających na celu zwiększenie układu na zakłócenia, w przypadku codziennego użytkowania samochodu.

Część III

**Koncepcja zintegrowanego
układu
wtryskowo-zapłonowego do
silnika 126.A 076**

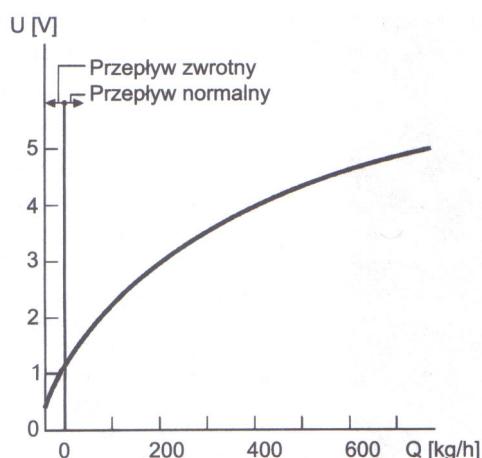
6

Wielkości sterujące

6.1 Masa zasysanego powietrza

Do określenie obciążenia silnika z zapłonem iskrowym można wykorzystać ilość zasysanego powietrza. Zakładając regulację ilościową, podczas której współczynnik nadmiaru powietrza λ jest stały i wynosi 1, można określić ilość spalonego paliwa. Będzie ona wprost proporcjonalna do ilości pobranego powietrza. Oczywiście w rzeczywistym silniku wartość λ ulega zmianom, jednak nie są one na tyle znaczące by uniemożliwić wyznaczanie obciążenia silnika za pomocą pomiaru masy zasysanego powietrza.

Układ bada wielkość strumienia masy powietrza określonego w $\frac{kg}{h}$. Pomiar możliwy jest dzięki wykorzystaniu termoanemometru zamontowanego w przewodzie dolotowym silnika. Uzyskiwany jest sygnał napięciowy, który może być odczytany przez jednostkę centralną.

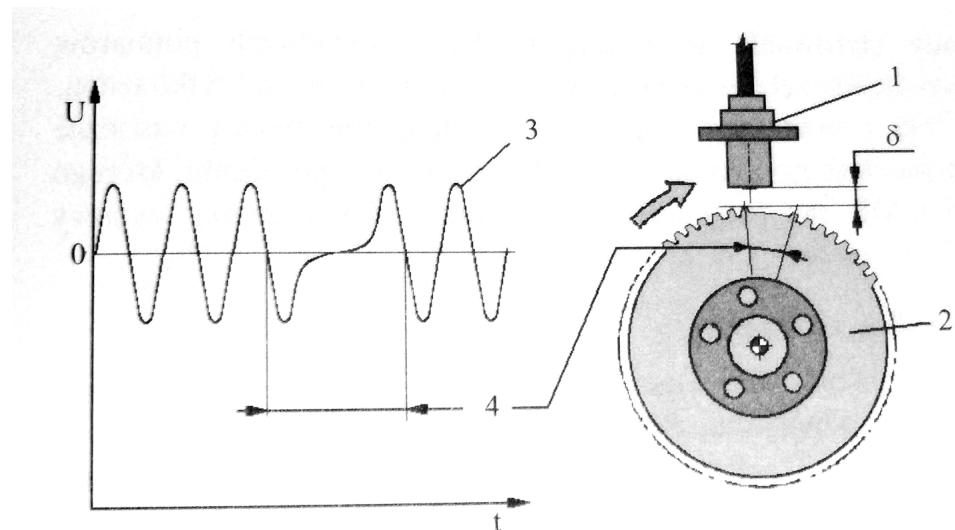


Rysunek 6.1: Sygnał na wyjściu z termoanemometru[6]

Rysunek 6.1 przedstawia typową zależność poziomu sygnału napięciowego od strumienia masy przepływającego powietrza. Jest ona nieliniowa, w skutek czego możliwe jest uzyskanie większej czułości dla małych przepływów. Poniżej pewnej określonej wartości napięcia (najczęściej 1 V) znajduje się zakres tzw. przepływów zwrotnych. Wtedy ruch powietrza następuje w kierunku przeciwnym do normalnego, od cylindra do filtra powietrza, co zmniejsza współczynnik napełnienia. Znajomość kierunku ruchu pozwala na dokładniejszą ocenę ilości pobieranego przez silnik powietrza. Zasada działania termoanemometru została przedstawiona w rozdziale 9.3.

6.2 Prędkość obrotowa

Prędkość obrotowa jest podstawową wielkością sterującą. Bez niej nie jest możliwa praca jakiegokolwiek układu wtryskowo-zaplonowego.



Rysunek 6.2: Pomiar prędkości obrotowej z wykorzystaniem czujnika magnetoindukcyjnego[10]

1 - czujnik, 2 - tarcza zębata, 3 - przebieg sygnału, 4 - część reprezentująca większą odległość pomiędzy parą zębów

Jak wcześniej wspomniano jej pomiar konieczny jest do określenia pozycji w mapach wtrysku i zapłonu. Rysunek 6.2 ukazuje sposób pomiaru prędkości obrotowej. Wykorzystano czujnik magnetoindukcyjny współpracujący z tarczą zębataą.

Czujnik posiada wbudowany magnes, który wytwarza pole magnetyczne o liniach przecinających zwoje cewki. Ruch tarczy zbudowanej z materiału ferromagnetycznego powoduje zmianę wartości strumienia ϕ magnetycznego wytwarzanego przez magnes stały. Wartość siły elektromotorycznej E indukowanej w uzwojeniu może być wyrażona wzorem [6]:

$$E = -z \frac{d\phi}{dt}, \text{ gdzie: } z - \text{ ilość zwojów.}$$

Sinusoidalny przebieg napięcia z czujnika zostaje obrobiony w module zapłonowym. Powstaje przebieg prostokątny o wypełnieniu 50% i dwóch pełnych okresach na obrót wału korbowego. W dalszej kolejności jednostka sterująca reaguje na opadające zbocze sygnału, które powoduje wystąpienia przerwania w programie. Pomiar czasu pomiędzy dwoma przerwaniami pozwala na określenia prędkości obrotowej. Brak jednego z zębów, nie jest wymagany do pomiaru prędkości, lecz służy do określenia położenia wału korbowego.

6.3 Kąt obrotu wału korbowego

Znajomość aktualnego położenia wału korbowego jest konieczna do określenia chwili zapłonu oraz początku wtrysku. Położenie OWK może być wyznaczone dzięki znajomości prędkości obrotowej silnika i czasu, który upłynął od minięcia przez czujnik określonego miejsca na tarczy zębatej.

Wykorzystano wydłużoną szczelinę pomiędzy jedną parą zębów, która odpowiada usunięciu jednego z nich. Znieksztalcenie sygnału (4) widoczne jest na rysunku 6.2. Z uwagi na nierównomierność biegu silnika prędkość obrotowa musi analizowana częściej niż raz na obrót wału silnika. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu większej ilości zębów.

7

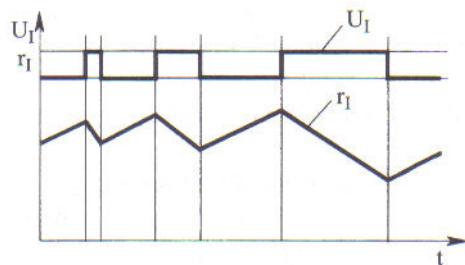
Wielkości korekcyjne

7.1 Pętla regulacji λ

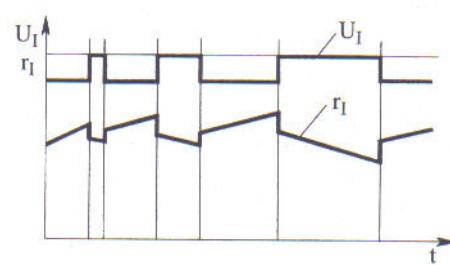
Dawka wtryskiwanego paliwa jest wstępnie określana według mapy zapisanej w pamięci układu sterującego. W ramach tolerancji wykonania czy zużycia elementów, dawka podawanego paliwa może nie być optymalna. Potrzebne jest rozwiązywanie kontrolujące przebieg spalania a w szczególności skład mieszanki paliwowo-powietrznej. Do jej określenia wykorzystuje się badanie ilości tlenu w spalinach.

Ilość tlenu mniejsza od określonej wartości oznacza zbyt bogatą mieszankę. Wtedy należy zmniejszać ilość doprowadzanego paliwa aż do chwili osiągnięcia założonego poziomu. W przypadku zbyt dużej ilości tlenu postępuje się w odwrotny sposób.

Omawiana koncepcja zakłada wykorzystanie dwustanowego czujnika tlenu. Informuje on tylko o obecności, bądź braku tlenu w spalinach. W takim przypadku najczęściej stosuje się jedną z dwóch metod regulacji przedstawionych na rysunku 7.1.



(a) Regulacja typu I



(b) Regulacja typu PI

Rysunek 7.1: Sposoby regulacji λ [10]

U_I - napięcie na sondzie lambda, r_I - dawka paliwa

Wykres przedstawia regulację typu I (całkującą) oraz PI (proporcjonalno-całkującą). Regulacja PI jest popularniejsza, ponieważ umożliwia zmniejszenie uchybów i pozwala na czętszą regulację składu mieszanki [10]. Za zastosowaniem regulacji typu I przemawia natomiast możliwość uproszczenia algorytmu sterującego.

7.2 Kąt otwarcia przepustnicy

W niektórych rozwiązańach kąt otwarcia przepustnicy jest główną wielkością informującą o obciążeniu silnika. W przypadku układów wykorzystujących pomiar masy, bądź objętości pobieranego powietrza, rola kąta otwarcia przepustnicy ulega znacznemu zredukowaniu.

Odczytanie kąta wychylenia przepustnicy pozwala poznać zamiary kierowcy. Gwałtowne lub pełne otwarcie oznacza potrzebę uzyskania całkowitej mocy silnika. W takim przypadku należy zwiększyć czas wtrysku jednocześnie ignorując sygnał ze sondy lambda. Z kolei całkowite zamknięcie powinno uruchomić proces stabilizacji prędkości biegu jałowego.

Pomiaru kąta dokonuje się przy pomocy potencjometru zamontowanego na osi przepustnicy. Wykorzystując go jako dzielnik napięcia można uzyskać łatwy w obróbce sygnał napięciowy.

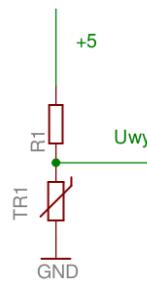
7.3 Temperatura silnika

Pomiar temperatury silnika jest szczególnie przydatny w fazie uruchamiania i rozgrzewania. Zachodzi wtedy konieczność wzbogacania mieszanki paliwowo-powietrznej. Należy uwzględnić skraplanie się paliwa na ściankach kanałów dolotowych i powierzchni cylindrów. Jednocześnie nie można korzystać z regulacji λ , ponieważ sonda nie osiągnęła jeszcze właściwej temperatury i jej wskazania nie są wiarygodne.

Wykorzystany silnik posiada bezpośredni układ chłodzenie tj. chłodzenie powietrzem omywającym cylindry i głowice. Utrudnia to pomiar temperatury silnika (brak cieczy chłodzącej). Rozwiązaniem jest pomiar temperatury oleju w misce olejowej.

W przypadku pomiarów temperatury, w zastosowaniach motoryzacyjnych, wykorzystuje się głównie termistory NTC (negative temperature coefficient). Cechą charakterystyczną tych termistorów jest obniżanie rezystancji wskutek wzrostu temperatury.

Zaproponowano szeregowe połączenie termistora z dodatkowym rezystorem, widoczne na rysunku 7.2. Przy zasilaniu takiego układu stabilizowa-



Rysunek 7.2: Połączenie szeregową termistora z rezystorem dodatkowym

nym napięciem można odczytać spadek napięcia na termistorze. Będzie on zależny od jego temperatury.

7.4 Napięcie zasilania

Napięcie zasilania układu może mieć znaczący wpływ na pracę wtryskiwaczy. Obniżenie napięcia, np. na skutek częściowego rozładowania akumulatora, powoduje wydłużenie czasu podnoszenia iglicy wtryskiwacza. Z drugiej strony, zmniejszenie znaczenia zjawiska samoindukcji spowoduje szybsze zamykanie wtryskiwacza. Badania wtryskiwaczy pod kątem reakcji na zmianę napięcia zasilania zamieszczone w rozdziale 9.7.1.1.

Wszystkie elementy układu wtryskowo-zapłonowego muszą mieć możliwość pracy w określonym zakresie napięć. Dolną granicę określa napięcie przy rozruchu w niskiej temperaturze, w trudnych warunkach. Jako górną można przyjąć maksymalne napięcie ładowania, zależne od ustawień regulatora napięcia alternatora.

Część IV

Realizacja praktyczna

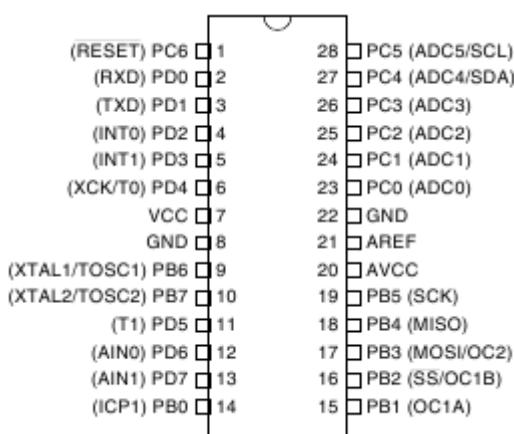
8

Jednostka sterująca

8.1 Budowa

Jednostka sterująca wykorzystuje, przedstawiony na rysunku 8.1, mikrokontroler Atmega8 [1]. Posiada on m.in.:

- 10-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy, umożliwiający pomiar do 6 napięć,
- dwa liczniki 8-bitowe, które w omawianej koncepcji mają odliczać długość impulsu wtryskowego oraz sygnału sterującego do modułu zapłonowego,
- licznik 16-bitowy, który został wykorzystany w procesie obliczania prędkości obrotowej,
- 8KB programowalnej pamięci Flash,



Rysunek 8.1: Wyprowadzenia układu Atmega8[1]

- możliwość taktowania częstotliwościami do 16 MHz.

Ważnym czynnikiem przemawiającym za wykorzystaniem układu była możliwość tzw. programowania “w układzie”, czyli bez wyjmowania z podstawki lub wyłączania napięcia zasilającego.

Nie bez znaczenia jest także możliwość wykorzystania programów pisanych w przyjaznym języku Bascom AVR. Istnieje wiele aplikacji, które pozwalają na poznanie funkcji układów Atmega. Język jest dobrze udokumentowany a środowisko programistyczne posiada rozbudowany system pomocy.

Układ Atmega8 jest łatwo dostępny na rynku. Można nabycь także jeden z wielu zestawów uruchomieniowych, pomagających w szybkim uruchomieniu prototypowej aplikacji. Układ wyjść Atmega8 jest zgodny z kilkoma innymi mikrokontrolerami AVR. Dzięki temu można zastosować np. Atmega168 wyposażony w dwukrotnie większą ilość pamięci Flash.

Jednostka sterująca współpracuje z końcówką mocy opartą na dwóch układach scalonych BTS. Ich zadaniem jest podawanie impulsów sterujących na wtryskiwacze. Schemat elektryczny jednostki sterującej wraz z końcówką mocy można znaleźć w załączniku 5.

8.2 Realizowane funkcje

Główne funkcje realizowane przez jednostkę sterującą to:

- zbieranie informacji z czujników,
- wyliczanie wymaganej dawki paliwa i kąta wyprzedzenia zapłonu,
- wysyłanie sygnałów sterujących do wtryskiwaczy, modułu zapłonowego oraz sterownika silnika krokowego.

Informacje z termoanemometru, sondy lambda, czujnika położenia przepustnicy oraz czujnika temperatury podawane są w postaci sygnału napięciowego. Za jego obróbkę odpowiada przetwornik analogowo-cyfrowy wbudowany w układ. W ten sam sposób mierzone jest napięcie w instalacji elektrycznej samochodu.

8.3 Program sterujący

Sposób wyliczania długości impulsów: wtrysku oraz sterującego modułem zapłonowym

Program posiada dwie tablice: zawierającą wielkości reprezentujące czas wtrysku oraz drugą służącą do wyznaczenia kąta wyprzedzenia zapłonu. Położenie elementu w tablicy określone jest za pomocą masy zasysanego powietrza i prędkości obrotowej silnika. Numer kolumny zależy od liczby całkowitej uzyskanej z przetwornika analogowo-cyfrowego jednostki centralnej. Numer wiersza koresponduje z prędkością obrotową.

		<i>V</i>	0 1 1, 2 ...
		<i>kolumna \ wiersz</i>	0 1 2 ...
<i>obr. min</i>			
0	0	20 34 45	
330	1	15 21 36	
660	2	12 17 23	
:	:		..

Elementami tablic są stałe typy *Byte*, będące liczbami całkowitymi z zakresu 0-255. Po dodaniu wartości korekcyjnych, wybrana element tablicy zostaje odjęty od 255. Uzyskana liczba ładowana jest jako wartość jednego z liczników 8-bitowych (*Timer0* dla impulsu zapłonowego lub *Timer2* dla wtryskowego). Następnie licznik ten jest uruchamiany. Jednocześnie na jednym z portów ustawiany jest stan wysoki. Po przepełnieniu licznika następuje ustalenie stanu niskiego na wcześniej wybranym porcie i zatrzymanie licznika. Okres trwania impulsu sterowania wtryskiwaczami równy jest czasowi przez który minął od wystartowania licznika do jego przepełnienia.

Sposób wyliczania długości impulsu sterującego zapłonem przedstawiono w dziale 9.1.

Korekcja dawki wtrysku od napięcia zasilania

Program sterujący, podczas wyliczania czasu trwania impulsu wtrysku, musi uwzględnić wartość napięcia zasilania. Problem rozwiązano poprzez wprowadzenie wartości korekcyjnej dodawanej do podstawowego okresu impulsu. Napięcie podawane z instalacji elektrycznej samochodu jest redukowane na dzielниku napięcia. Jest to konieczne z uwagi na ograniczenie wielkości mierzonych przez blok analogowo-cyfrowy jednostki sterującej do poziomu 5V. Wartości korekcyjne wyrażone są cyklach licznika wtrysku. Z uwagi na nielinową zależność pomiędzy czasem korekcji a napięciem zasilania, wartości korekcyjne zostały umieszczone w instrukcji wyboru.

Korekcja dawki wtrysku od temperatury

W przypadku tej korekcji wykorzystywana jest jednowymiarowa tablica. Dodawana wielkość zależna jest od temperatury silnika.

Określenie początku impulsów wtrysku i sterującego modułem zapłonowym

W programie znajduje się przerwanie uruchamiane dwukrotnie na obrót wału korbowego. Przy wystąpieniu przerwania ustawiana jest zmienna *Odczaj*. W głównej pętli znajduje się instrukcja warunkowa sprawdzająca stan tej zmiennej. Jeśli równa się ona 1 to uruchamiane są liczniki *Timer0* i *Timer2*.

Sygnal pochodzący z modułu zapłonowego ma kształt przebiegu prostokątnego. Dzięki temu może być on podawany na wejście cyfrowe oznaczone (rys. 8.1) *INT0*. Spadek z poziomu wysokiego na niski powoduje wywołanie przerwania.

Regulacja prędkości biegu jałowego

Gdy przepustnica pozostaje zamknięta program sprawdza wartość prędkości obrotowej. Jej spadek poniżej pewnego poziomu powoduje ruch silniczka krokowego w celu zwiększenia ilości doprowadzanego powietrza. Dodatkowo zwiększana jest dawka paliwa w stosunku do poprzedniego wtrysku.

Po przekroczeniu górnej granicy prędkości obrotowej biegu jałowego podejmowane są przeciwnie działania.

Regulacja λ

Zależnie od napięcia na sondzie, dawka jest zwiększana lub zmniejszana. Zmiana dokonywana jest co kilka wtrysków, przy czym wartość korekcji nie może przekroczyć założonego poziomu. Regulacja nie działa przy niskiej temperaturze silnika, podczas pracy na biegu jałowym oraz podczas pracy w trybie mocy maksymalnej, czyli po pełnym otwarciu przepustnicy.

Procedura rozruchowa

Przez pierwsze kilkadziesiąt obrotów wału korbowego wielkości informacje z większości czujników nie są wykorzystywane. Program decyduje o dawce w zależności od ilości obrotów wału, które nastąpiły od początku rozruchu. Początkowo dawka jest stała, następnie jej wartość spada liniowo.

By zapewnić ciśnienie w układzie, po włączeniu zapłonu, uruchamiana jest na 3 s pompa paliwa. Po tym czasie pozostaje ona nieaktywna, aż do rozpoczęcia rozruchu.

Ogranicznik prędkości obrotowej

By zapobiec rozbieganiu się silnika, zastosowano instrukcję warunkową pełniący rolę ogranicznika prędkości obrotowej. Po przekroczeniu dopuszczalnej wartości wyłączone zostają impulsy wtryskowe.

8.3.1 Schemat blokowy algorytmu

Pełny schemat algorytmu sterującego znajduje się w załączniku 1 do niniejszej pracy.

8.3.1.1 Spis zmiennych

Dawka4(256) - tablica czasów trwania impulsów otwarcia wtryskiwacza,

Dawka4paliwa - czas trwania impulsu otwarcia wtryskiwacza w cyklach licznika, dla dawki odpowiadającej $\frac{1}{4}$ dawki na pełny cykl,

Dawkawolne - czas trwania impulsu otwarcia wtryskiwacza podczas pracy na biegu jałowym

Herce(12) - tablica częstotliwości impulsów z modułu zapłonowego

$$\left(Herce [Hz] = \frac{n}{30} \left[\frac{obr.}{min} \right] \right)$$

Herces - suma elementów tablicy Herce(12), jako średnia z 6 ostatnich obrotów wału

Hercewolne - suma z Herce (11) + Herce (12), jako średnia z ostatniego obrotu wału

Lambda - wartość z przetwornika analogowo-cyfrowego dla sondy lambda

Lambdakorek - wartość korekcji czasu otwarcia wtryskiwacza zależnie od regulacji λ

Kornap - korekcja od napięcia zasilania

Ntckorek(16) - tablica korekcji od temperatury silnika

Ntckor - korekcja od temperatury silnika

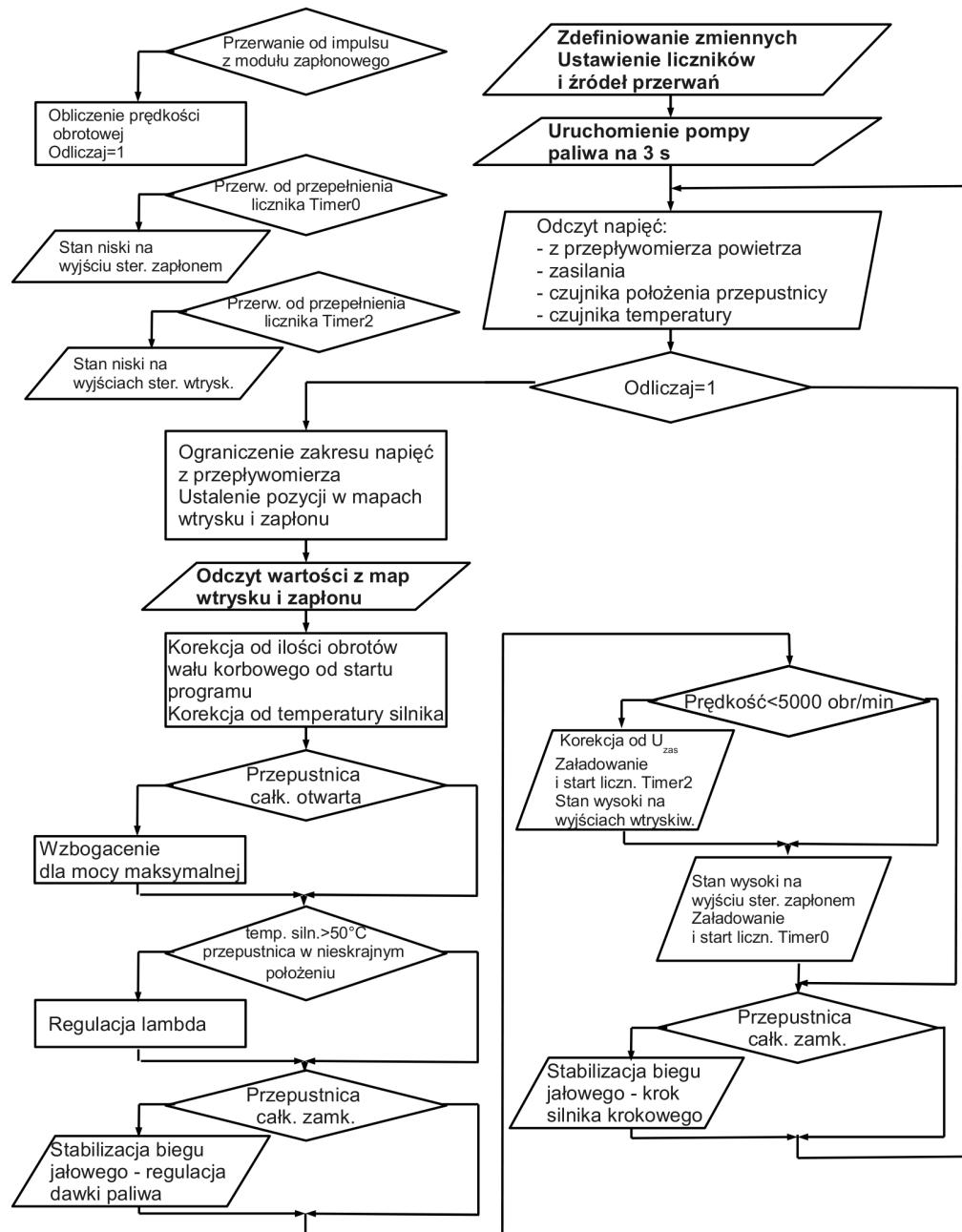
Ntcnap - wartość z przetwornika analogowo-cyfrowego dla czujnika temperatury

Obrstart - ilość przejść, od uruchomienia silnika, pętli uruchamiającej wtryskiwacze

Odliczaj - zmienna decydująca czy ma być wykonana pętla uruchamiająca wtryskiwacze

- Pierwszy - bit przyjmujący wartość 1 dla co drugiego przejścia pętli uruchamiającej wtryskiwacze
- Poznap(5) - tablica wartości z przetwornika analogowo-cyfrowego dla napięcia zasilania
- Poznapsr - suma elementów tablicy Poznap(5)
- Pozntc - pozycja w tablicy korekcji od temperatury
- Pozycjah - numer kolumny w tablicach wtrysku i zapłonu
- Pozycjav - numer wiersza w tablicach wtrysku i zapłonu
- Pozycja - numer elementu w tablicy
- Propskok - krok o który zmieniana jest dawka w regulacji λ
- Przeplyw - wartość z przetwornika analogowo-cyfrowego dla napięcia z przepływomierza
- Przepustnap - wartość z przetwornika analogowo-cyfrowego dla napięcia z przepustnicy
- Wypzap - czas impulsu sterującego modułem zapłonowym
- Wzap(256) - tablica czasów impulsów sterujących modułem zapłonowym

8.3.1.2 Uproszczony schemat algorytmu



9

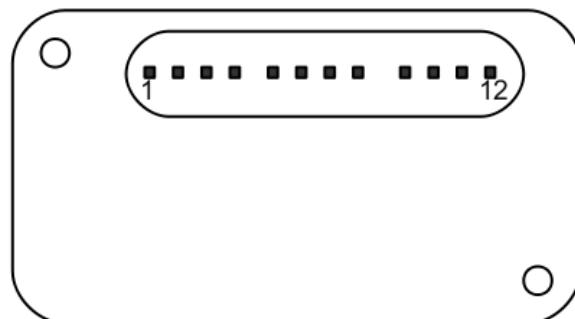
Elementy katalogowe

9.1 Moduł zapłonowy

Wykorzystano moduł zapłonowy EDIS4 (Electronic Distributorless Ignition System) Motorcraft 91AB-12K072-AA. Stosowany jest on w czterocylindrowych rzędowych silnikach samochodów marki Ford. Jak wspomniano wcześniej w rozdziale 3, EDIS4 wysyła impulsy na cewki zapłonowe oraz pełni rolę elementu pośredniczącego pomiędzy czujnikiem położenia wału korbowego a jednostką sterującą.

Moduł posiada 12 wyprowadzeń ułożonych w kolejności przedstawionej na rysunku 9.1:

1. PIP (Profile Ignition Pickup) - sygnał wyjściowy wysyłany do jednostki sterującej. Ma charakter 12 V przebiegu prostokątnego o wypełnieniu 50% i dwóch pełnych okresach na pełen obrót wału.
2. IDM (Ignition Diagnostic Monitor) - sygnał diagnostyczny. Przy zatrzymanym silniku ma kształt impulsów o długości 64 μs . Podczas



Rysunek 9.1: Układ wyprowadzeń modułu EDIS4

prawidłowej pracy układu długość impulsu wynosi $1024 \mu s$. W przypadku nieprawidłowego podłączenia cewki zapłonowej impuls ulega zanikowi.

3. SAW (Spark Angle Word) - sygnał wejściowy, pobierany od jednostki sterującej. Jego długość decyduje o kącie wyprzedzenia zapłonu.
4. Masa w oryginalnym rozwiązaniu połączona z jednostką sterującą. W układzie będącym przedmiotem pracy pin 4 nie jest podłączony.
5. Pierwsze wejście czujnika magnetoindukcyjnego.
6. Drugie wejście czujnika.
7. Wyjście osłony przewodu czujnika.
8. Zasilanie 12 V.
9. Masa.
10. Wyjście pierwszej cewki zapłonowej.
11. Wyjście dla obrotomierza. Przebieg ma charakter impulsów pojawiających się w chwili uruchamiania cewek zapłonowych.
12. Wyjście do drugiej cewki zapłonowej. W przypadku silnika dwucylindrowego, nie jest ono wykorzystywane.

Długość impulsu sterującego może być wyliczona z równania:

$$SAW [\mu s] = 1280 - 25,6 \times \text{kąt wyprzedzenia zapłonu} [{}^\circ]$$

9.2 Wtryskiwacze

Układ wykorzystuje dwa wtryskiwacze elektromagnetyczne, po jednym na cylinder. Wtrysk prowadzony jest do kanałów dolotowych. Rozwiązanie takie pozwala na skrócenie drogi mieszanki paliwo-powietrznej. Obniża to czas reakcji silnika na zmianę obciążenia.

Według [8] wykorzystanie takiego układu ma nad wtryskiem jednopunktowym następujące zalety:

- równiejszy skład mieszanki w różnych cylindrach,
- dużą powtarzalność napełnienia cylindrów,
- większy stopień napełnienia, dzięki odparowywaniu części mieszanki dopiero w cylindrach - możliwe zwiększenie mocy silnika,

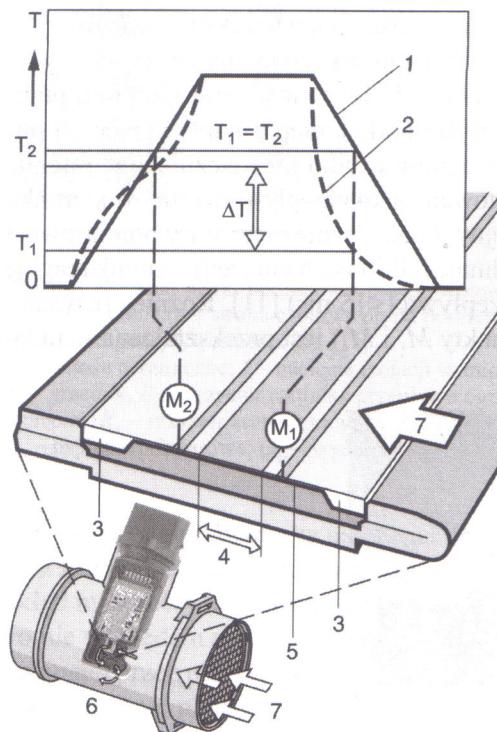
- obniżenie temperatury obiegu, co pozwala na obniżenie emisji tlenków azotu i zwiększenie sprawności ogólnej.

Do wad należy przede wszystkim zaliczyć krótki czas na odparowanie paliwa. Szczególnie przy wysokich prędkościach obrotowych może okazać się on niewystarczający, co wpłynie na pogorszenie procesu spalania.

Zastosowano dwa wtryskiwacze elektromagnetyczne Magneti-Marelli IWP065. Wydajność statyczna wynosi $158 \frac{cm^3}{min}$ przy ciśnieniu paliwa wynoszącym 0,3 MPa [9]. Wtryskiwacze charakteryzują się wysoką rezystancją, wynoszącą $14,5 \Omega$. Rozpylacz wyposażono w jeden otwór, paliwo tworzy strugę w kształcie stożka.

9.3 Termoanemometr

Wykorzystano termoanemometr Bosch 0 280 217 121. Jest to masowy przepływomierz powietrza typu HFM5 z wkładem o znaczeniu PBT-GF30.



Rysunek 9.2: Zasada działania termoanemometru HFM5[6]

1 - przebieg temperatury bez przepływu powietrza, 2 - przebieg temperatury z przepływem powietrza, 3 - rezistory pomiarowe, 4 - strefa nagrzewania, 5 - element grzejny, 6 - czujnik HFM5, 7 - strumień powietrza

Rysunek 9.2 przedstawia ideę przepływomierza HFM5. Wkład termoanemometru wyposażony jest w kanał z elementem pomiarowym. Element

ten składa się z centralnego elementu grzewczego (5) i dwóch rezystorów mierzących temperaturę (3). Punkty pomiaru temperatury oznaczono jako M_1 i M_2

W przypadku braku ruchu powietrza oba rezystory posiadają tę samą temperaturę. Jeśli jedna następuje przepływ powietrza to pierwszy rezistor, licząc od wlotu powietrza, ulega schłodzeniu [6]. W przypadku przepływów zwrotnych obniżeniu ulega temperatura drugiego rezystora.

Gniazdo elektryczne posiada pięć ponumerowanych wyjść:

1. wyjście czujnika temperatury, w tym modelu nieużywane,
2. wejście zasilania 8-17 V,
3. masa,
4. wejście napięcia referencyjnego, stabilizowanego na poziomie 5 V
5. wyjście sygnału 0-5 V.

9.4 Czujnik położenia wału korbowego

Wykorzystano czujnik magnetoindukcyjny pochodzący z silnika samochodu marki Ford Escort.

9.5 Czujnik kąta otwarcia przepustnicy

Kąt otwarcia przepustnicy mierzony jest za pomocą potencjometru Weber PF-2C zamocowanego na jej osi. Posiada on pojedynczą ścieżkę. Układ wyprowadzeń (licząc od strony przepustnicy):

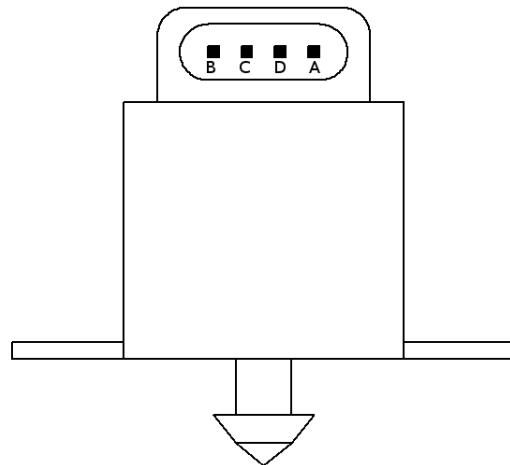
1. masa,
2. zasilanie,
3. wyjście sygnału.

9.6 Silnik krokowy kanału powietrza dodatkowego

W celu zapewnienia regulacji prędkości obrotowej biegu jałowego wykorzystano kanał powietrza dodatkowego, omijającego przepustnicę. Jego przekrój jest regulowany poprzez wsuwanie trzpienia. Ruch trzpienia możliwy

jest dzięki osadzeniu go, przy pomocy połączenia gwintowego, na osi silnika krokowego. Rozwiążanie takie pozwala na dużą dokładność regulacji.

Wykorzystano bipolarny, czterofazowy silnik krokowy Weber B01. Kolejność podłączenia poszczególnych faz (A, B, C, D) reprezentuje rysunek 9.3.



Rysunek 9.3: Silnik krokowy

Zbudowano sterownik silnika krokowego oparty na układach scalonych L297 oraz L298. Wymaga on podania, z jednostki sterującej, impulsu kroku i informacji o kierunku obrotu. Schemat elektryczny znajduje się w załączniku 5.

Część V

Badania układu

9.7 Identyfikacja elementów składowych

9.7.1 Wtryskiwacze

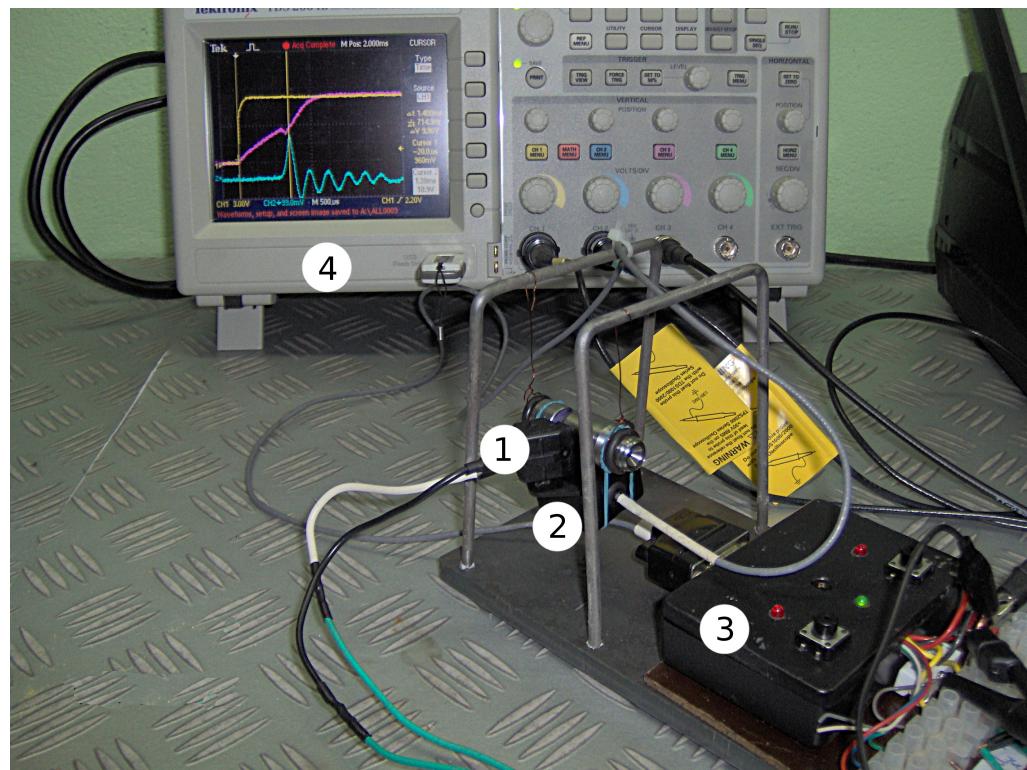
9.7.1.1 Cel i plan badań

Przy tym samej długości impulsu sterującego, wydajność wtryskiwaczy może się zmieniać w zależności od warunków pracy silnika. Znajomość zakresu oraz charakteru tych zmian konieczna jest do zapewnienia prawidłowej pracy układu.

Przeprowadzono szereg badań wtryskiwaczy:

- zmiany czasu otwierania w zależności od poziomu napięcia zasilającego w zakresie 6-15 V,
- zmiany czasu zamykania w zależności od poziomu napięcia zasilającego w zakresie 6-15 V,
- zmiany oporu uzwojenia w zależności od temperatury w zakresie 45-78 °C,
- zmiany czasu otwierania w zależności od temperatury w zakresie 45-78 °C.

9.7.1.2 Stanowisko pomiarowe



Rysunek 9.4: Przyrząd do badań wtryskiwaczy

1 - wtryskiwacz, 2 - akcelerometr, 3 - końcówka mocy z przyciskami wyzwalającymi, 4 - oscyloskop

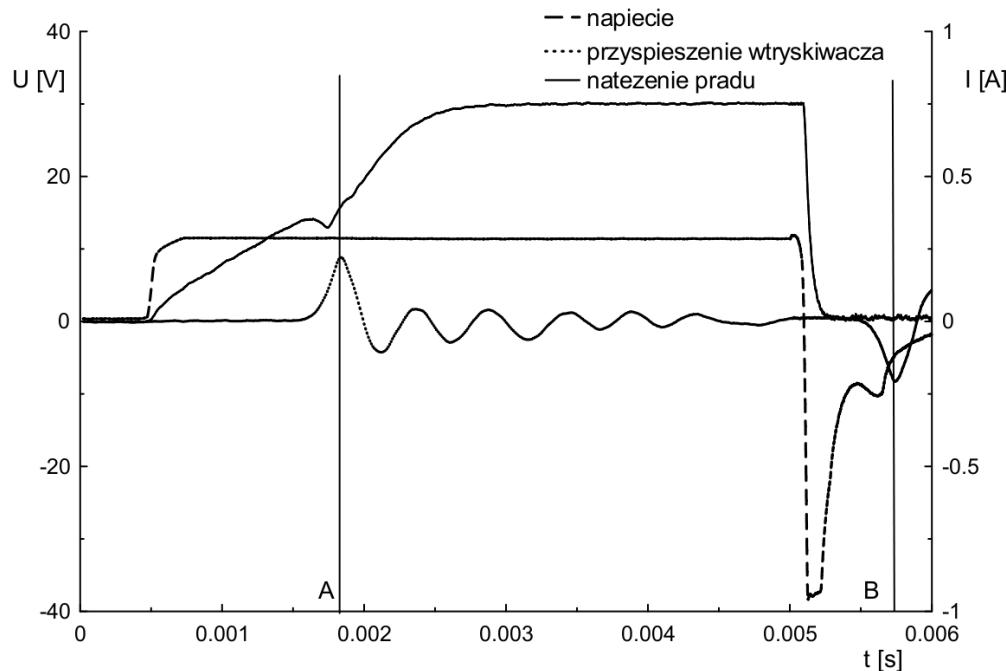
W celu umożliwienia badań, zbudowano układ pomiarowy przedstawiony na rysunku 9.4. Umożliwia on wahliwe zawieszenie wtryskiwacza i sterowanie jego otwarciem przy pomocy wyłącznika lub zewnętrznego sygnału cyfrowego. Do wtryskiwacza przy mocowano akcelerometr, który umożliwił wykrycie ruchu iglicy. Dodatkowo mierzono napięcie i natężenie prądu podawanego na wtryskiwacz. Pomiar natężenia prądu był możliwy dzięki szeregowemułączeniu opornika $0,1 \Omega$. Mierząc spadek napięcia na rezystorze i znając jego oporność, można wyliczyć natężenie przepływającego prądu. Schemat elektryczny układu znajduje się w załączniku 3. Wyniki obserwowano i rejestrowano za pomocą oscyloskopu.

W przypadku jednego z wtryskiwaczy sprawdzono także wpływ temperatury. W tym celu umieszczono wtryskiwacz w naczyniu z rozgrzanym olejem. Pomiarów temperatury oleju dokonywano przy pomocy termometru rtęciowego.

9.7.1.3 Wyniki

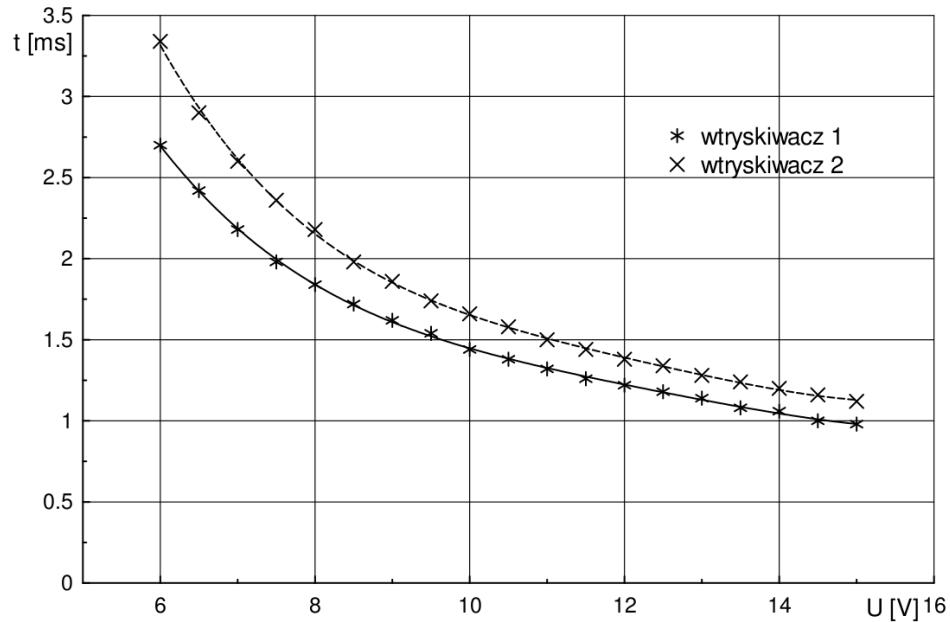
Na rysunku 9.5 widoczne są przykładowe wartości zarejestrowane przez oscyloskop. Jako chwilę pełnego wzniosu iglicy zinterpretowano punkt maksymalnego przyspieszenia zmierzonego przez akcelerometr (linia A). Koresponduje on z charakterystycznym załamaniem na wykresie natężenia prądu.

Podobnie wyznaczono czas zamykania wtryskiwaczy (linia B).

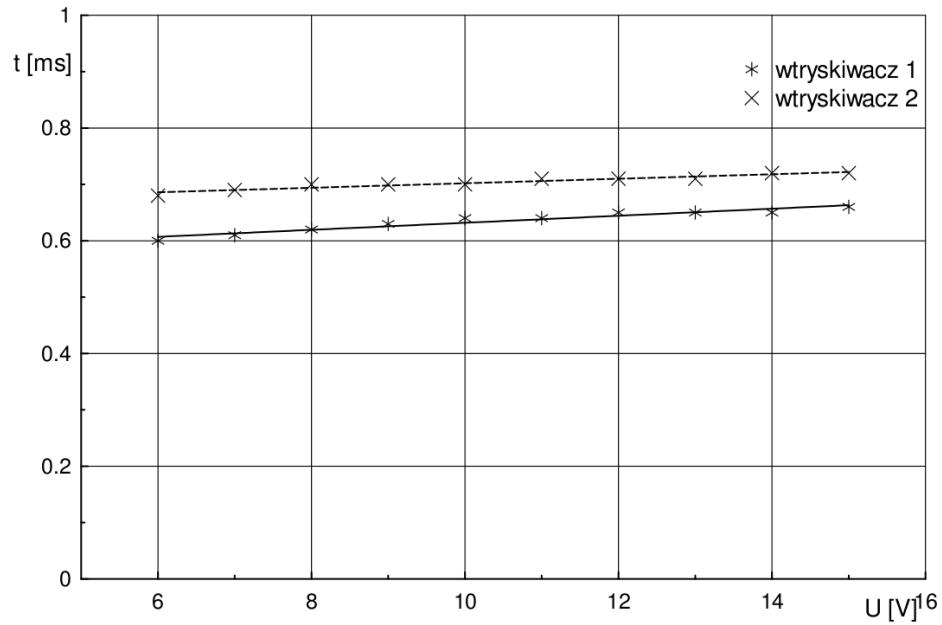


Rysunek 9.5: Przykładowy wynik badań wtryskiwacza

Reprezentacja graficzna czasów otwierania wtryskiwaczy znajduje się na rysunku 9.6.



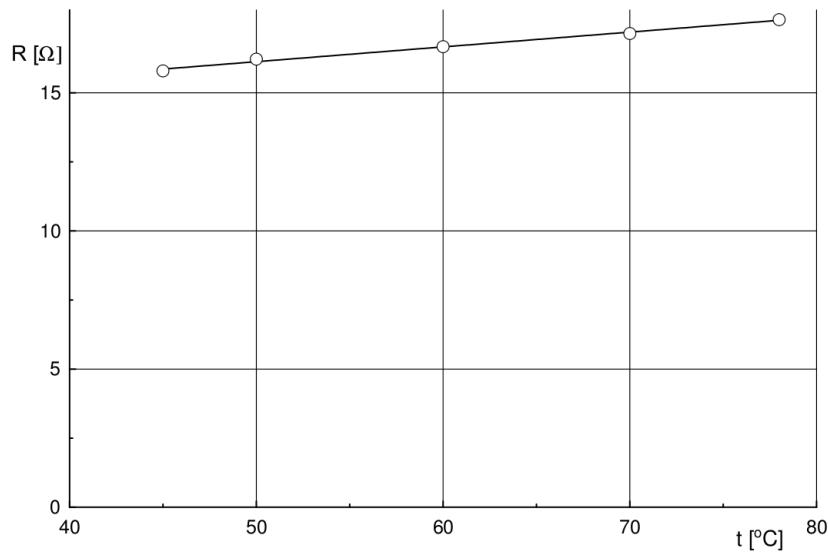
Rysunek 9.6: Charakterystyka czasu otwierania wtryskiwaczy



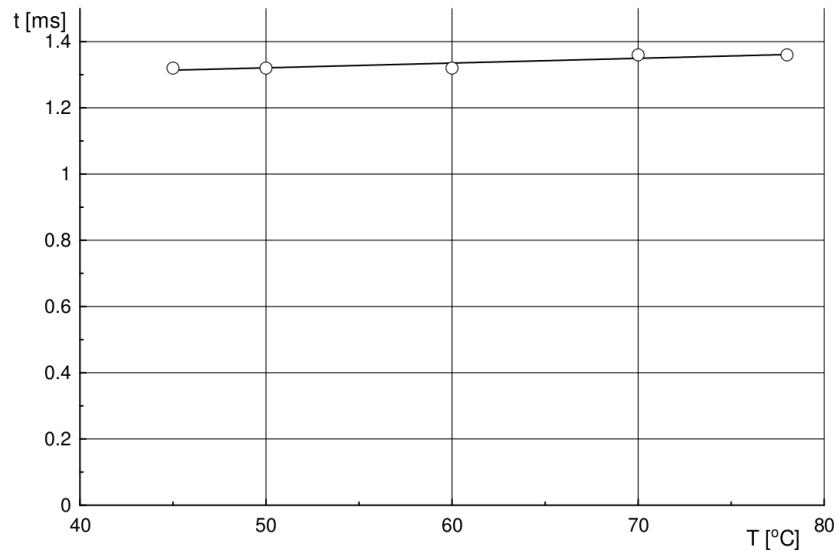
Rysunek 9.7: Charakterystyka czasu zamykania wtryskiwaczy

Czasy zamykania (rysunek 9.7) nie ulegają znaczącym zmianom.

Wpływ temperatury na rezystancję uzwojenia i na czas otwierania wtryskiwacza przedstawiają rysunki odpowiednio: 9.8a oraz 9.8b.



(a) Zmiana rezystancji uzwojenia



(b) Zmiana czasu otwierania

Rysunek 9.8: Charakterystyki wtryskiwacza w zależności od temperatury

Tabele zawierające zebrane wyniki badań znajdują się w załączniku 4.

9.7.1.4 Obserwacje i wnioski

Można zauważyć, że po podaniu napięcia na wtryskiwacz, natężenie wzrasta płynnie przez ok. 2 s. Jest to spowodowane znaczną indukcyjnością uzwojenia wtryskiwacza.

Widoczny jest również znaczny spadek napięcia po wyłączeniu sygnału sterującego. Spadek ten jest wynikiem zjawiska samoindukcji występującej w uzwojeniu wtryskiwacza. Ograniczenie na poziomie ok. -40 V jest wprowadzone przez przełącznik BTS będący elementem końcówki mocy.

Zależność czasu otwierania od napięcia zasilania przyjmuje kształt zbliżony do hiperboli. Należy uznać, że napięcie zasilania ma znaczący wpływ na czas otwierania wtryskiwacza, co będzie rzutowało na dawkę wtrysku. Wymusza to badanie napięcia zasilania i stosowanie wartości korekcyjnych. Zależność czasu otwierania od napięcia jest wystarczająco regularna by móc ją przybliżyć za pomocą funkcji:

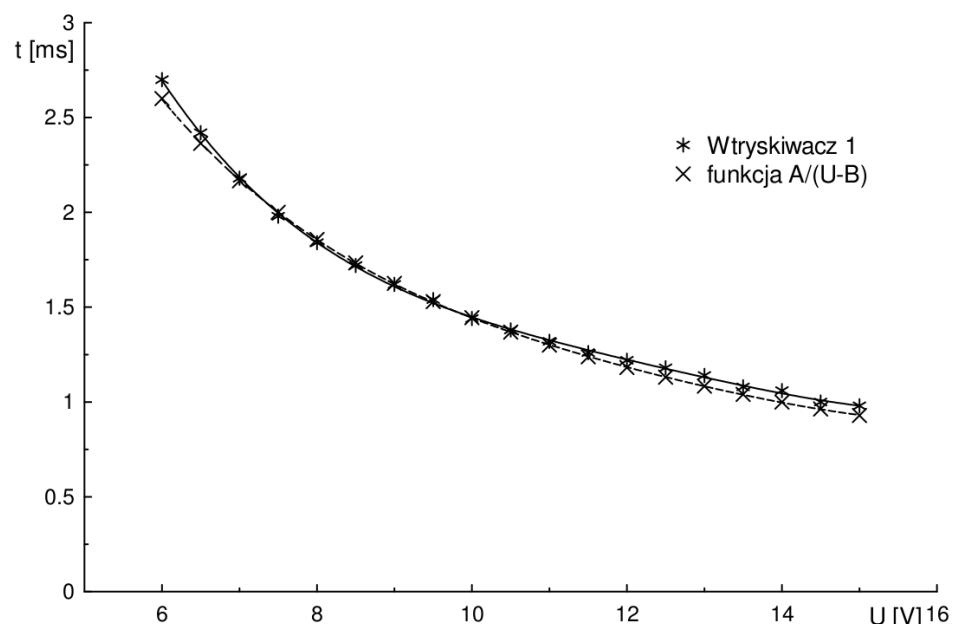
$$T = \frac{A}{U-B}, \text{ gdzie:}$$

T okres otwierania,

A, B wartości stałe,

U napięcie zasilania.

Próbę takiego przybliżenia pokazuje rysunek 9.9.



Rysunek 9.9: Przybliżenie charakterystyki otwierania wtryskiwacza

Wpływ napięcia zasilania na czas zamykania jest niewielki. Z uwagi na to, że będzie on wpływał na zwiększenie dawki wtryskiwanego paliwa, można jednak zastosować korekcję. W tym przypadku wystarczy jednak, od bazowego czasu wtrysku lub od korekcji czasu otwierania, odejmować wartość stałą.

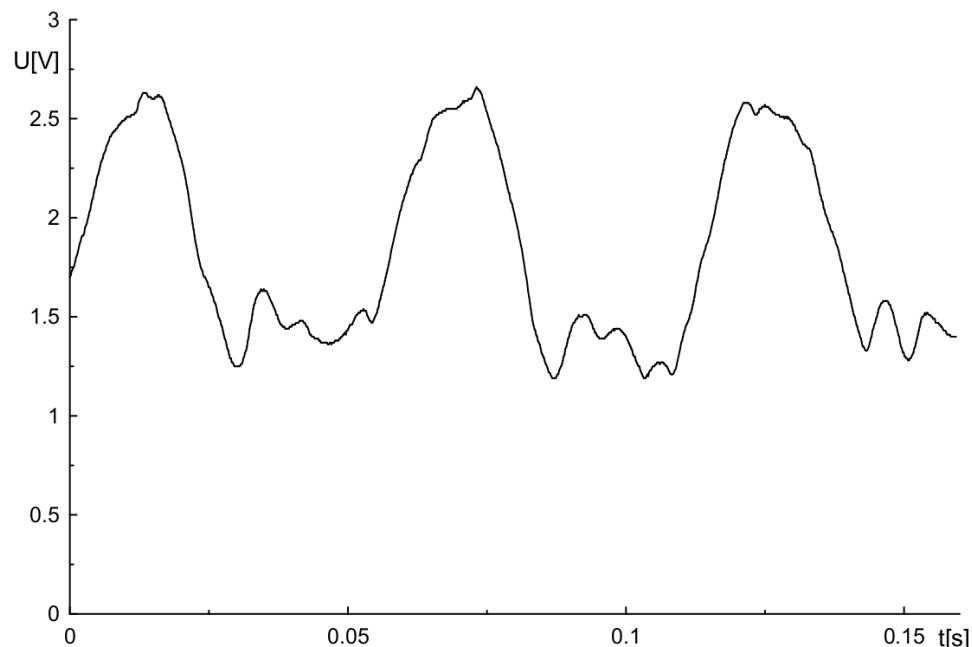
Wzrost temperatury powoduje tylko niewielkie zwiększenie czasu otwierania. Dzieje się tak pomimo wyraźnego wpływu temperatury na rezystancję uzwojenia. Nie stwierdzono konieczności monitorowania temperatury wtryskiwaczy w silniku.

9.7.2 Termoanemometr

Po zainstalowaniu termoanemometry na silniku zaobserwowano, że wartość sygnału napięciowego wynosi:

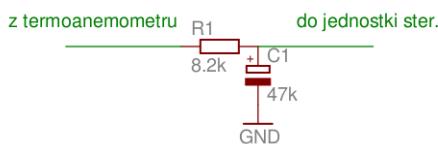
- 1 V dla zatrzymanego silnika,
- ok. 1,2 V dla pracy na biegu jałowym,
- ok. 2,9 V dla maksymalnego obciążenia przy $5000 \frac{\text{obr.}}{\text{min}}$.

Powyzsze wartości są uśrednione. Dokładny kształt sygnału przedstawia rysunek 9.10. Nierównomierność spowodowana jest pulsacją powietrza w kanale dolotowym. Nasila się ona przy wysokich prędkościach obrotowych i znacznych otwarciach przepustnicy.



Rysunek 9.10: Sygnał z termoanemometru przy wysokich obciążeniach

Jako rozwiązanie problemu zaproponowano zastosowanie członu inercyjnego I-rzędu. Schemat elektryczny przedstawia rysunek 9.11. Przepływy zwrotne, reprezentowane przez napięcia poniżej 1 V, można było zaobserwować przy niskich prędkościach obrotowych.



Rysunek 9.11: Cząłon inercyjny I-rzędu

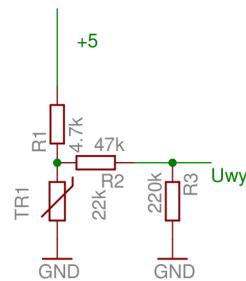
9.7.3 Czujnik temperatury silnika

Jako czujnik temperatury silnika wykorzystano termistor NTC $2\ k\Omega$ o klasie dokładności 5%. Został on zatopiony w rurce, która jednocześnie ma pełnić rolę wskaźnika poziomu oleju silnikowego.

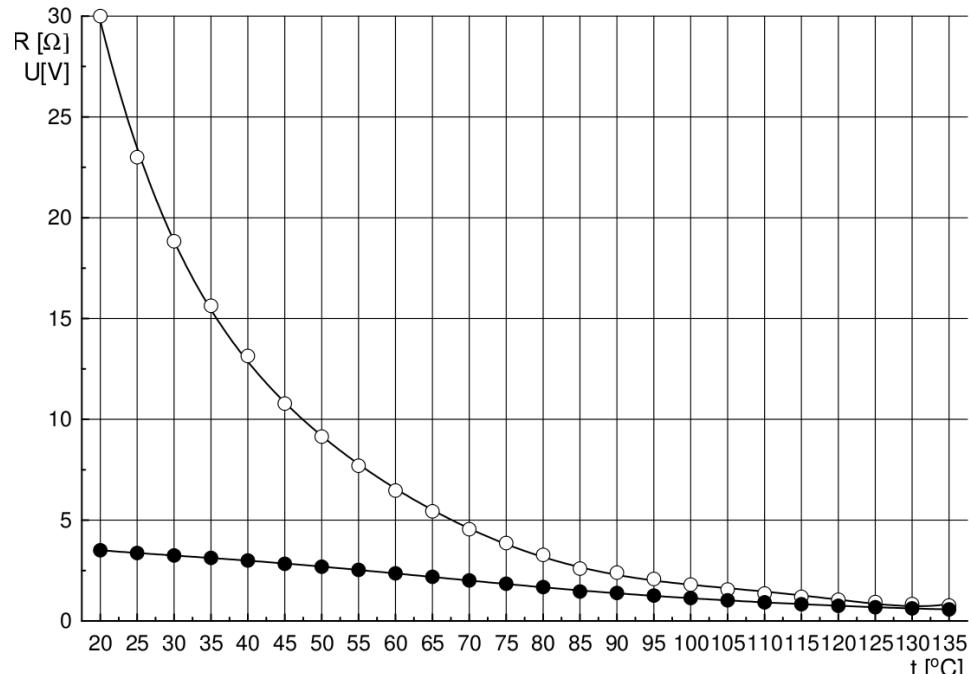
Przeprowadzono wzorcowanie w zakresie $20\text{--}135\ ^\circ\text{C}$. W tym celu podgrzano olej w naczyniu do temperatury przekraczającej $135\ ^\circ\text{C}$ i badano rezystancję termistora podczas powolnego oziębiania. Jako element wzorcowy posłużyła termopara umieszczona w analogicznej rurce, w tym samym obszarze naczynia.

Tabela z wynikami stanowi załącznik 6 do niniejszej pracy.

By otrzymać liniową charakterystykę napięciową zbudowano układ rezystorów przedstawiony na rysunku 9.12. Na 9.13 pokazano zależność rezystancji od temperatury. Widoczna jest tam również wartość napięcia wyjściowego U_{wy} przy zasilaniu układu oporników 5 V.



Rysunek 9.12: Układ oporników współpracujących z termistorem NTC



Rysunek 9.13: Rezystancja termistora oraz napięcie wyjściowe z układu rezistorów w zależności od temperatury

○- rezystancja, ●- napięcie wyjściowe

9.7.4 Czujnik kąta otwarcia przepustnicy

Przy zasilaniu równym 5 V napięcie wyjściowe wynosi 2,6 V dla pozycji zamkniętej i 4,44 V dla całkowicie otwartej. Rezystancja pomiędzy wyjściem a masą wynosi odpowiednio, dla obu pozycji: 1,25 $k\Omega$ i 2,1 $k\Omega$.

9.8 Próby z wykorzystaniem symulatora silnika spalinowego

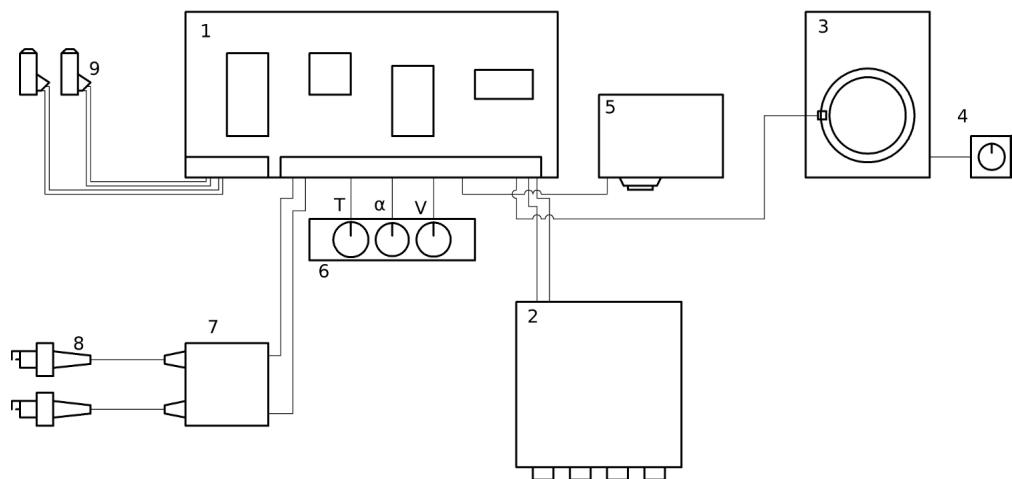
9.8.1 Koncepcja i konstrukcja stanowiska

Przed zamontowaniem opisywanego układu zapłonowo-wtryskowego na obiekcie, należy mieć pewność co do działania jednostki sterującej oraz elementów wykonawczych. Konieczne jest także sprawdzenie reakcji układu na zmiany sygnałów pochodzących z czujników: kąta obrotu i prędkości wału korbowego, natężenia przepływu powietrza, temperatury, położenia przepustnicy oraz z sondy lambda.

By ułatwić opracowanie i testowanie zintegrowanego układu wtryskowo-zapłonowego, zbudowano symulator silnika spalinowego (rys. 9.14).

Wykorzystuje on:

- koło zębate współpracujące z czujnikiem indukcyjnym, odpowiadające kołu zamontowanemu na wale korbowym silnika,
- potencjometry (6) dostarczające sygnał napięciowy odpowiadający sygnałom z: termoanemometru, czujnika położenia przepustnicy i czujnika temperatury oleju,
- generator (5) przebiegu prostokątnego reprezentującego sygnał z sondy lambda.



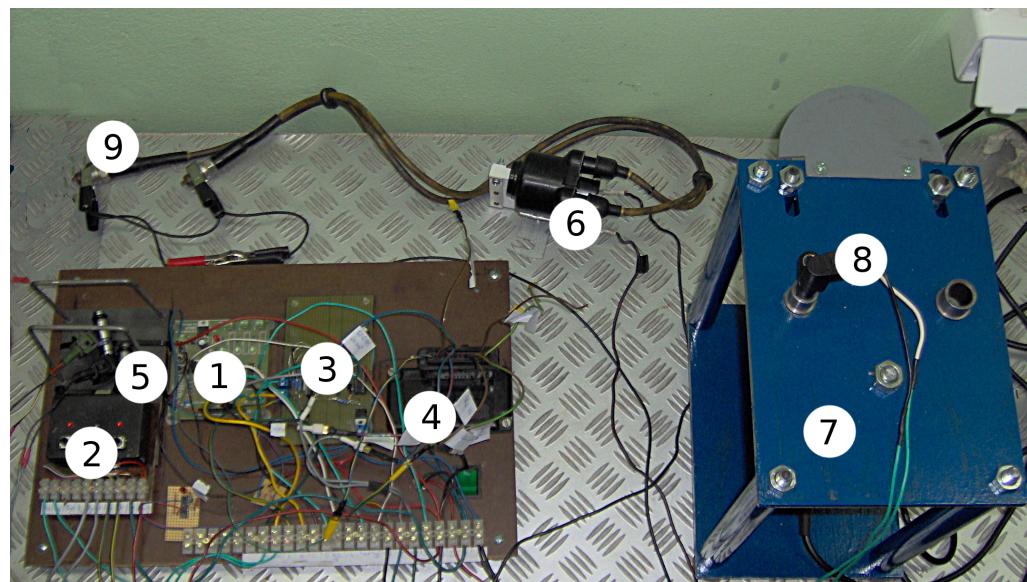
Rysunek 9.14: Uproszczony schemat symulatora silnika spalinowego

1 - sterownik układu wtryskowo-zapłonowego, 2 - zasilacz o regulowanym napięciu wyjściowym, 3 - wirująca tarcza zębata i czujnik magnetoindukcyjny, 4 - regulator prędkości obrotowej tarczy, 5 - generator symulujący sondę lambda, 6 - potencjometry odpowiadające: czujnikowi temperatury oleju, czujnikowi położenia przepustnicy, termoanemometrowi, 7 - cewka zapłonowa, 8 - świece zapłonowe, 9 - wtryskiwacze

Symulator wału korbowego w tarczę o dwukrotnie większej ilości zębów niż w przypadku koła zamontowanego na wale korbowym silnika. Ułatwia to symulację silnika dla wysokich prędkości obrotowych. Tarcza współpracuje z magnetoindukcyjnym czujnikiem położenia wału korbowego.

Źródłem napędu jest silnik elektryczny o regulowanej prędkości obrotowej. Moment przekazywany jest przez przekładnię pasową o przełożeniu 0,75. Możliwa jest symulacja silnika spalinowego pracującego w zakresie 0-7700 $\frac{obr.}{min}$.

9.8.2 Wyniki badań układu na symulatorze



Rysunek 9.15: Układ przed zamontowaniem na silniku

1 - jednostka sterująca, 2 - końcówka mocy wtryskiwaczy, 3 - sterownik silnika krokowego, 4 - moduł zapłonowy, 5 - wtryskiwacze, 6 - cewka zapłonowa, 7 - symulator wału korbowego, 8 - czujnik położenia wału korbowego, 9 - świece zapłonowe

Badania na symulatorze, układu widocznego na 9.15, były dokonywane równolegle z procesem tworzenia programu sterującego. W trakcie badań sprawdzono reakcję układu na każdy z sygnałów wejściowych. Jednocześnie sprawdzono czy prędkość działania algorytmu sterującego jest wystarczająco wysoka by umożliwić pracę silnika z maksymalną prędkością obrotową.

Badanie te pozwoliły na usunięcie z algorytmu błędów natury programistycznej. Wykonano następujące testy:

1. sprawdzenie reakcji układu na sygnał napięciowy odpowiadający położeniu przepustnicy,
2. sprawdzenie reakcji układu na sygnał napięciowy odpowiadający przepływowi masy powietrza,
3. sprawdzenie reakcji układu na sygnał napięciowy odpowiadający temperaturze silnika,
4. sprawdzenie reakcji układu na zmianę napięcia zasilania,
5. pracy układu przy maksymalnej prędkości obrotowej wynoszącej $5000 \frac{\text{obr.}}{\text{min}}$,
6. sterowania silniczkiem kroиковym przy prędkościach biegu jałowego.

Po pozytywnym przejściu powyższych testów zdecydowano o przeniesieniu układu na rzeczywisty silnik.

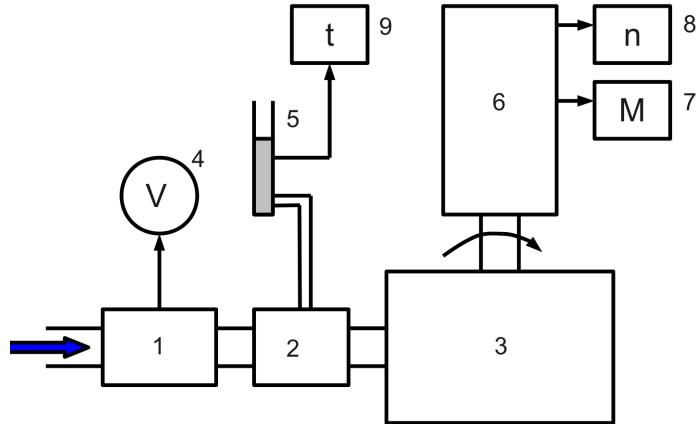
9.9 Badania wstępne silnika¹

9.9.1 Badania silnika z zasilaniem gaźnikowym

W celu wstępnego określenia zawartości map wtrysku i zapłonu wykonano badania silnika pracującego z zasilaniem gaźnikowym.

Ustalenie wartości mapy wtrysku

Wykonano charakterystykę ogólną silnika na zasilaniu gaźnikowym. Jednostkę wyposażono dodatkowo w przepływomierz powietrza używany później w omawianym układzie wtryskowo-zapłonowym. Schemat układu pomiarowego przedstawia rysunek 9.16. Mierzono prędkość obrotową, sygnał z termoanemometru oraz czas zużycia pomiarowej dawki paliwa. Wielkości te umożliwiły określenie wymaganej dawki wtrysku paliwa dla każdego z punktów charakterystyki silnika.



Rysunek 9.16: Uproszczony schemat układu pomiarowego

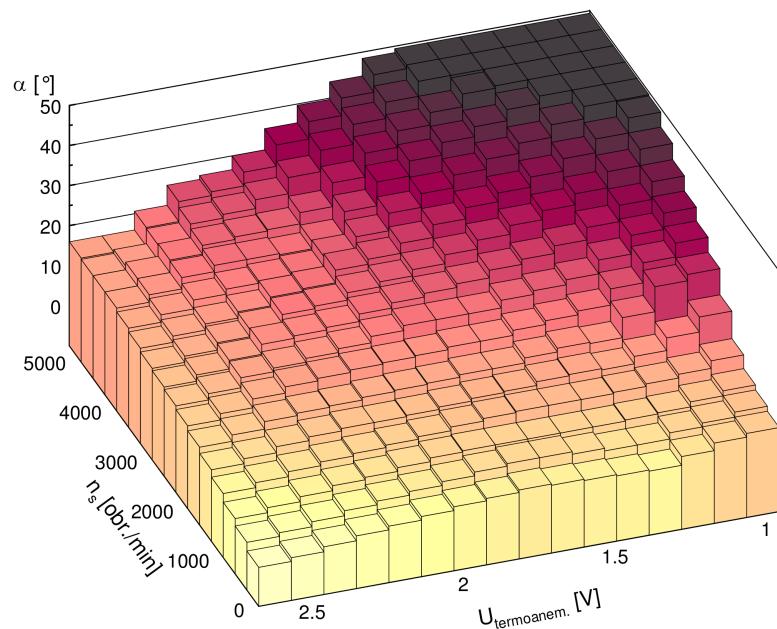
1 - przepływomierz, 2 - gaźnik, 3 - silnik, 4 - woltomierz, 5 - miernica z pomiarową dawką paliwa, 6 - hamulec z pomiarem momentu i prędkości obrotowej, 7 - wyświetlacz wartości momentu obrotowego, 8 - wyświetlacz prędkości obrotowej, 9 - licznik czasu zużycia pomiarowej dawki paliwa

¹ Wykresy z badań wykonano z wykorzystaniem wyników pracy magisterskiej Dariusza Kolanka "Badania silnika 126A.076 z wielopunktowym wtryskiem paliwa - dobór wielkości regulacyjnych sterownika" z roku 2010.

Ustalenie wartości mapy zapłonu

Na silniku zamontowano część opracowanego układu odpowiadającą za sterowanie zapłonem. Użyto programu sterującego, zamieszczonego w załączniku 7, który umożliwiał ręczne ustawianie kąta wyprzedzenia zapłonu. Badano osiągany moment obrotowy. Kąt przy którym moment ten był najwyższy, uznawano za optymalny.

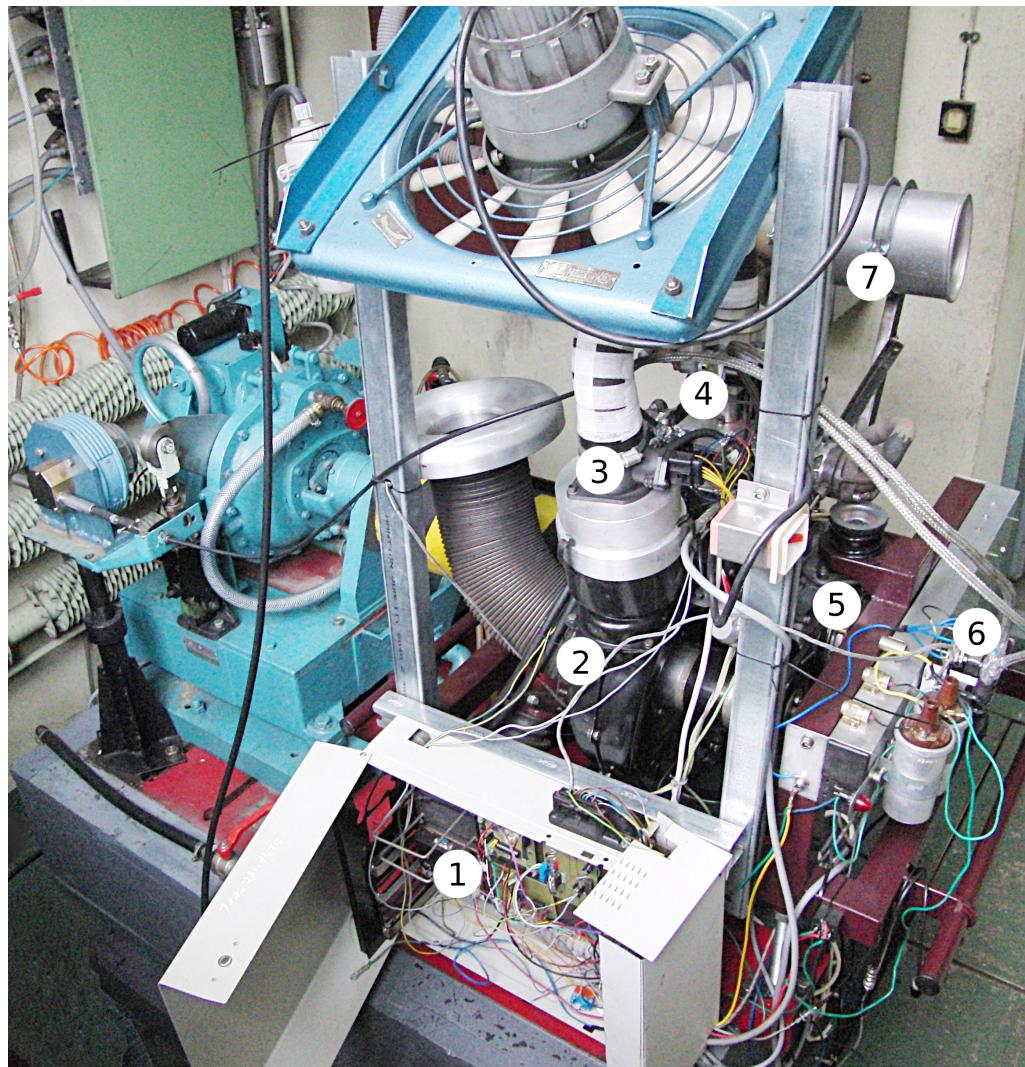
Wartości kątów wyprzedzenia zapłonu (wyrażonych w stopniach OWK), w zależności od sygnału z termoanemometru i prędkości obrotowej silnika przedstawia rysunek 9.17. Nie dokonywano przeliczenia napięcie na odpowiadający mu strumień przepływu powietrza, gdyż znajomość jego wartości nie jest konieczne do pracy sterownika. Przechowuje on mapy bezpośrednio w funkcji napięcia co ogranicza ilość wykonywanych operacji.



Rysunek 9.17: Mapa kąta wyprzedzenia zapłonu

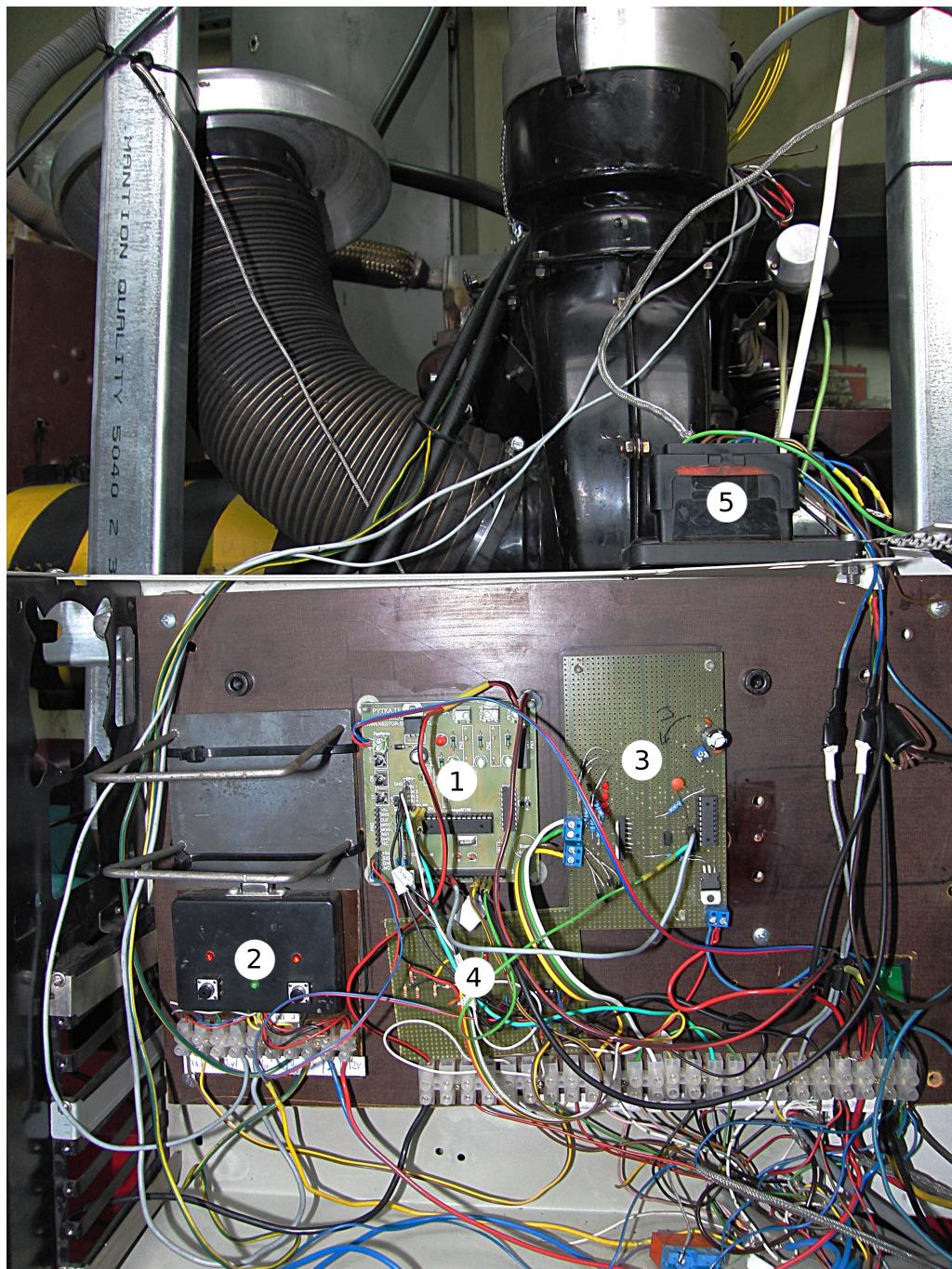
9.9.2 Badania silnika z zasilaniem wtryskowym

Silnik wyposażony w zintegrowany układ wtryskowo-zapłonowy przedstawiają zdjęcia 9.18 oraz 9.19.



Rysunek 9.18: Silnik z zamontowanym układem wtryskowo-zapłonowym

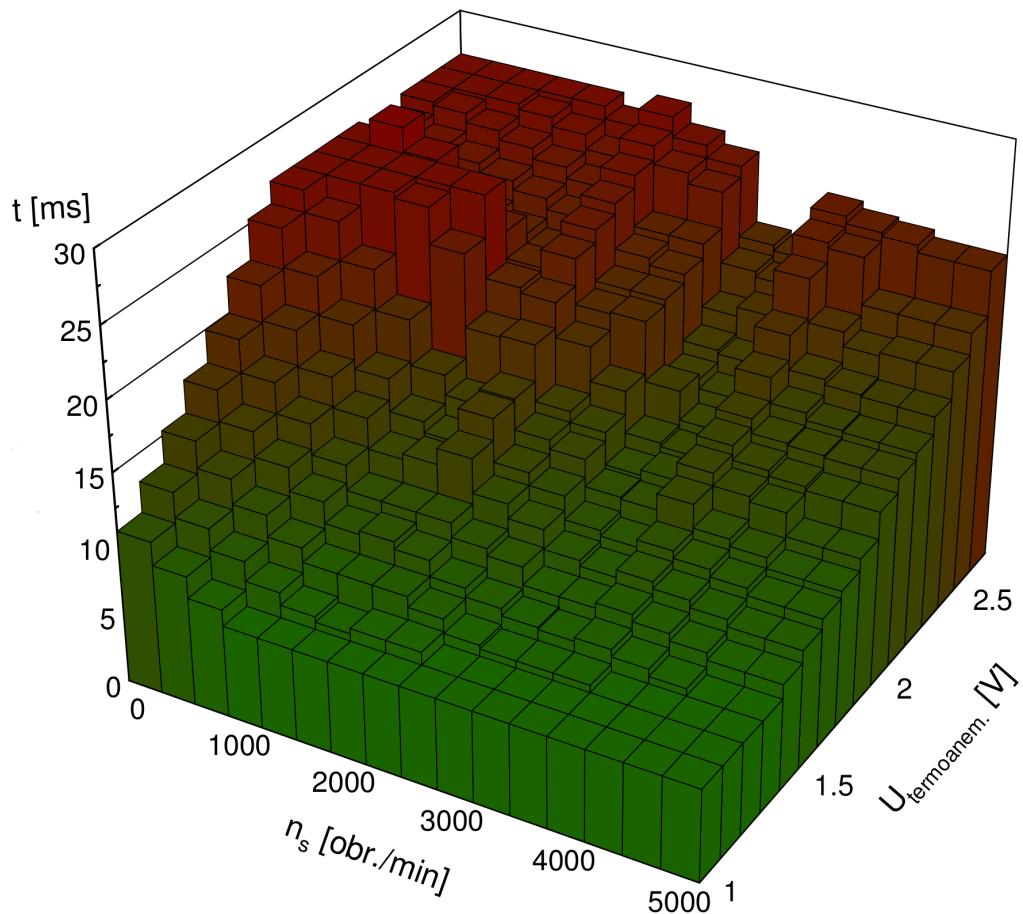
1 - zespół sterujący układu wtryskowo-zapłonowego, 2 - silnik, 3 - termoanemometr, 4 - zespół przepustnicy i wtryskiwacze, 5 - czujnik i tarcza położenia wału korbowego, 6 - cewka zapłonowa, 7 - układ wydechowy wyposażony w sondę lambda



Rysunek 9.19: Zespół sterujący układu wtryskowo-zapłonowego

1 - jednostka sterująca z mikrokontrolerem Atmega8, 2 - końcówka mocy wtryskiwaczy, 3 - sterownik silnika krokowego, 4 - płytka z elementami dopasowującymi sygnały, 5 - moduł zapłonowy

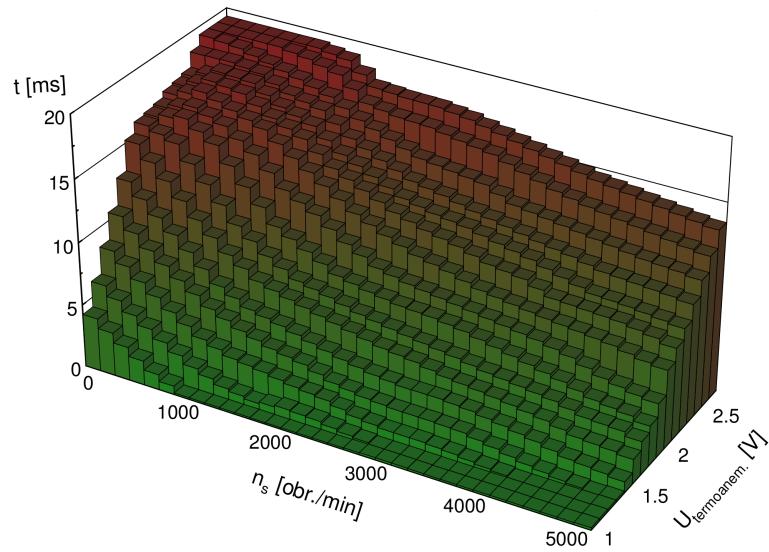
W początkowej fazie badań wykonano charakterystykę zewnętrzną. Dokonano tego z zaprogramowaną mapą czasów wtrysku o wymiarze 16×16 , przedstawioną na rysunku 9.20. Wartości odnoszą się do sumy czasów wtrysku na jeden pełny cykl czterosuwowy.



Rysunek 9.20: Wstępna mapa czasu wtrysku

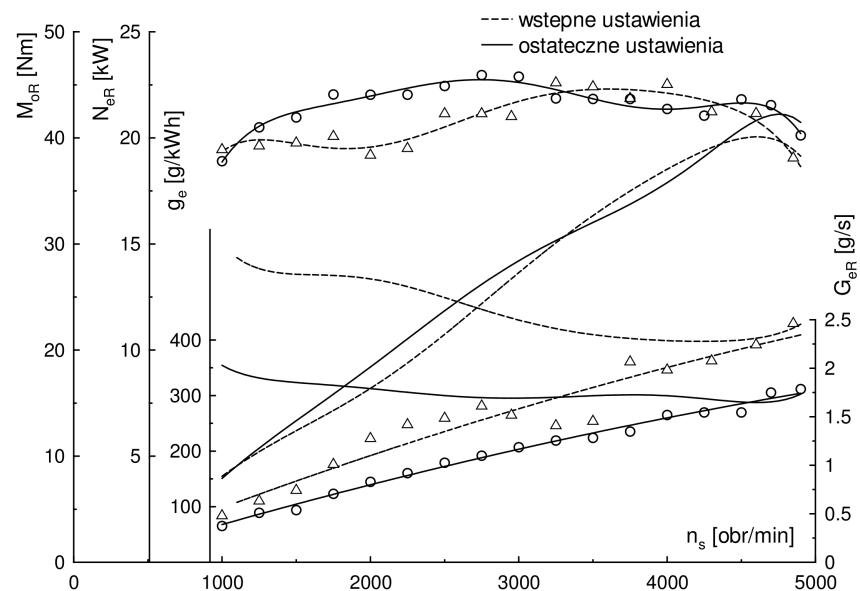
Uzyskano zadowalający poziom momentu obrotowego. Jednostkowe zużycie paliwa znacznie przekraczało zużycie przy zasilaniu gaźnikowym. Po czyniono próby redukcji jednostkowego zużycia paliwa, przy jednoczesnym zachowaniu podobnego poziomu mocy i momentu obrotowego.

Jednocześnie okazało się, że korzystne będzie zagęszczenie siatki mapy wtrysku na osi prędkości obrotowej. Siatka 16×16 nie była wystarczająca by zapewnić stabilną pracę przy wszystkich prędkościach obrotowych. Widok ostatecznej mapy 32×16 przedstawia rysunek 9.21.

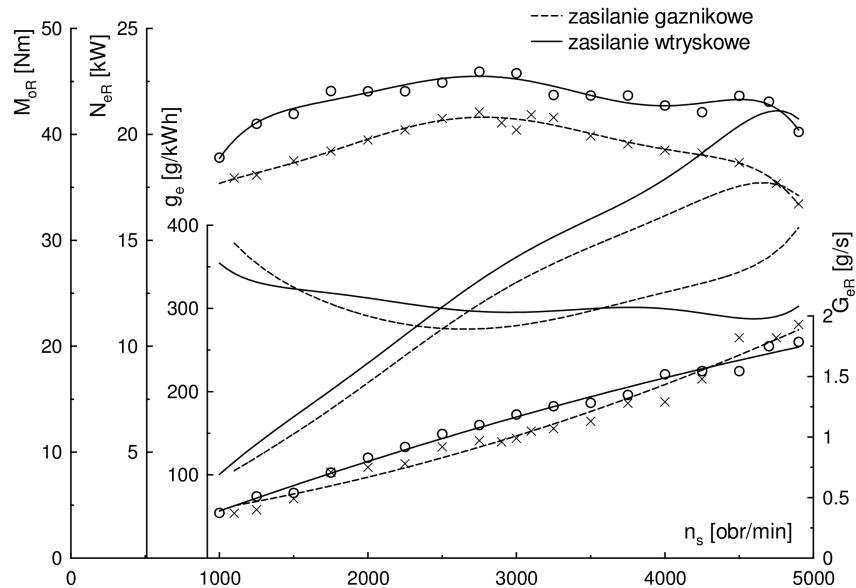


Rysunek 9.21: Ostateczna mapa czasu wtrysku

Porównanie charakterystyk zewnętrznych przed i po dokonaniu korekt mapy czasów wtrysku przedstawia rysunek 9.22. Widoczne jest znaczne obniżenie jednostkowego zużycia paliwa przy jednoczesnym nieznacznym podniesieniu przebiegów momentu i mocy silnika.



Rysunek 9.22: Porównanie charakterystyk zewnętrznych przy pierwotnym i ostatecznym kształcie mapy wtrysku



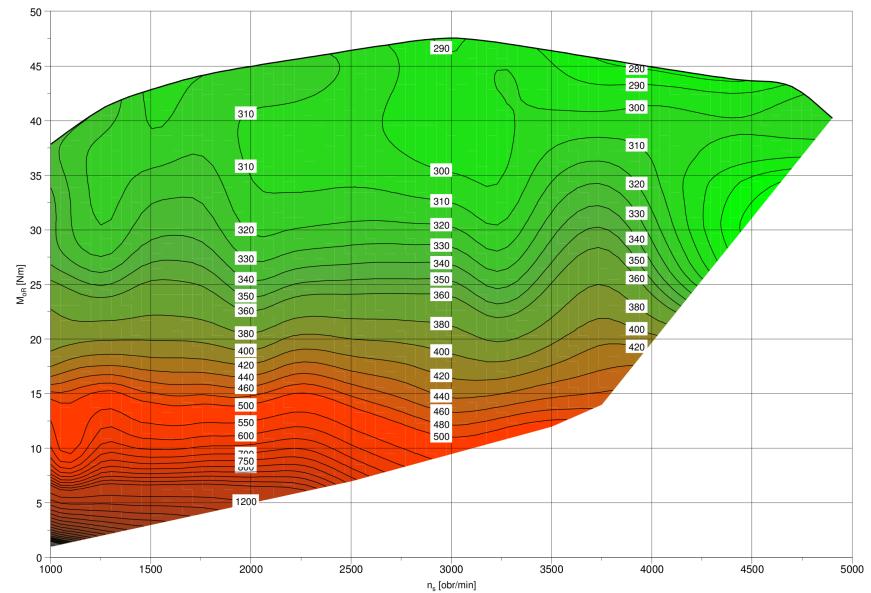
Rysunek 9.23: Ostateczna charakterystyka zewnętrzna na tle charakterystyki przy zasilaniu gaźnikowym

Osiągi silnika z zasilaniem wtryskowym na tle zasilania gaźnikowego widoczne są na rysunku 9.23. Maksymalny moment obrotowy wzrósł o ok. 10% (z 42 na 46 Nm) i utrzymywał się na wysokim poziomie także w obszarze górnych prędkości obrotowych. Spowodowało to wzrost mocy maksymalnej o niemal 20% (z 17,7 na 21,1 kW). Sam kształt krzywych nie różni się znacząco.

Jednostkowe zużycie paliwa utrzymane zostało na podobnym poziomie. Zmienił się jednak punkt występowania najniższego zużycia paliwa. W przypadku zasilania gaźnikowego znajdował się on w okolicach $\frac{obr.}{min}$, przy wykorzystywaniu wtrysku paliwa przy ok. $\frac{obr.}{min}$.

Kolejnym celem było umożliwienie regulacji λ w całym zakresie obciążzeń, za wyjątkiem biegu jałowego i pracy z całkowicie otwartą przepustnicą. W tym celu zmodyfikowano wartości w mapie wtrysku tak by umożliwić pracę silnika z mieszanką zbliżoną do składu stochiometrycznego.

Badano zachowanie silnika przy wykorzystaniu algorytmów regulacji całkującej (I) oraz proporcjonalno-całkującej (PI). W drugim przypadku zaobserwowano pracę bliżej optymalnego składu mieszanki i mniejsze wahania prędkości obrotowej silnika.



Rysunek 9.24: Charakterystyka ogólna

Po ustaleniu wartości wszystkich elementów mapy wtrysku wykonano charakterystykę ogólną 9.24.

Bibliografia

1. 8-bit with 8K Bytes In-System Programmable Flash ATmega8 ATmega8L. Atmel Corporation, 2008.
2. Bosch. Sterowanie silników o zapłonie iskrowym. Zasada działania, podzespoły. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2002.
3. Danilecki K.: Elektroniczne systemy wtryskowo-zapłonowe. Szczecin, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, 2001.
4. Etzold H. R.: Sam naprawiam samochód Ford Mondeo. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2003.
5. Ford Escort. Obsługa i naprawa. Warszawa, Wydawnictwo "AUTO", 1996.
6. Gajek A., Juda Z.: Czujniki. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2008.
7. Kasendorf J.: Układy wtryskowe i katalizatory. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 1996.
8. Luft S.: Podstawy budowy silników. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2003.
9. Magneti-Marelli. Pico fuel injectors [online]. [dostęp: 27 sierpnia 2010]. Dostępny w Internecie: http://www.magneti-marelli.com/uploads/mediacentre/20100609104441-Weber_PICO_injection_spray_data_02.pdf
10. Kneba Z., S. Makowski S.: Zasilanie i sterowanie silników. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2004.

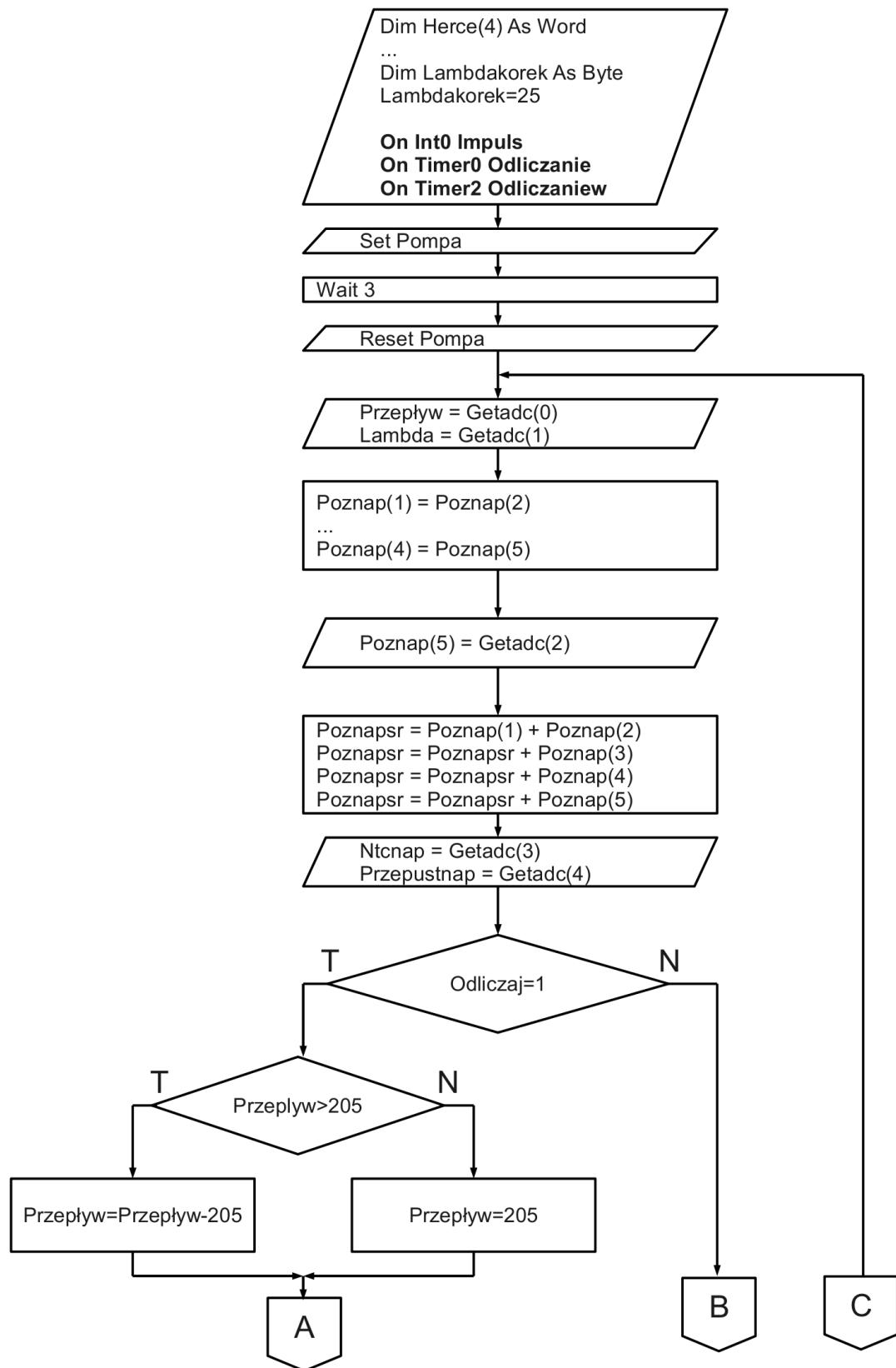
11. Herner A., Riehl H. J.: Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2009.
12. Układy wtryskowe benzyny. T. 2. Układy wtryskowe benzyny. T. 2, LE3-Jetronic, LH-Jetronic, Digifant, Motronic ML4.1. Warszawa, Wydawnictwo "AUTO", 1997.
13. Układy wtryskowe benzyny. T. 5. Układy wtryskowe benzyny. T. 5, Ford/Weber C.F.I., GM Multec S.P.I., Bosch Mono-Jetronic, Bosch Mono-Motronic. Warszawa, Wydawnictwo "AUTO", 1997.

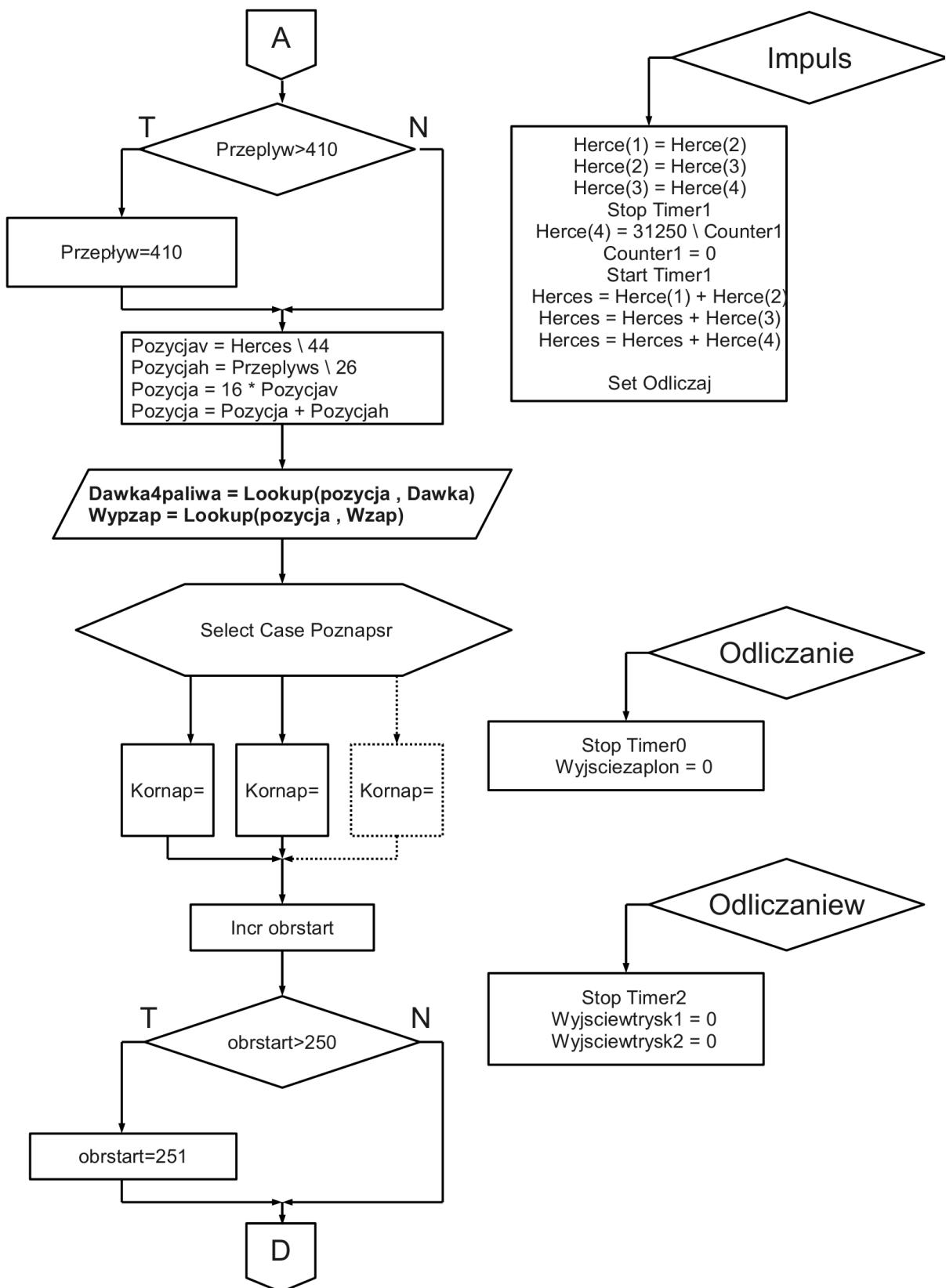
1. W pracy zaprojektowano i wykonano układ wtryskowo-zapłonowy do silnika 126.A 076. Zastosowano po jednym wtryskiwaczu dla każdego z cylindrów. W założeniach układ taki powinien zapewnić równomierny rozkład paliwa pomiędzy oba cylindry i lepsze niż przy wtrysku jednopunktowym napełnianie. Zastosowano termoanemometr typu HFM. Dzięki temu, że mierzy on bezpośrednio strumień masy powietrza, pozwala na dokładną ocenę ilości pobieranego ładunku. Jednocześnie, w przeciwieństwie do przepływomierzów klapkowych, nie stwarza znaczących oporów przepływu. Sterowanie zapłonem wykonano przy pomocy bezobsługowego elektronicznego modułu zapłonowego współpracującego z jednostką centralną. Jednostkę tę zbudowano z wykorzystaniem 8-bitowego mikrokontrolera Atmega8. Opracowano autorski algorytm sterujący. W oparciu o algorytm napisano program w języku Bascom zarządzający układem.
2. Układ wtryskowo-zapłonowy spełnił zakładane zadania. Został uruchomiony na silniku, umożliwiając jego pracę w pełnym zakresie prędkości obrotowych i obciążeń. Prędkość obrotowa biegu jałowego oscyluje wokół $750 \frac{\text{obr.}}{\text{min}}$, podczas gdy prędkość maksymalna wynosi $5000 \frac{\text{obr.}}{\text{min}}$. Silnik pracuje stabilnie, a jego uruchamianie nie nastąpiła kłopotów. Udało się podnieść moc maksymalną o niemal 20%. Przy czym prędkość obrotowa mocy maksymalnej pozostała na zbliżonym poziomie. Wytlumaczeniem tak znaczącego wzrostu mocy jest brak zwężki, która znajdowałaby się w gaźniku. W efekcie napełnianie mogło być lepsze, a różnica pomiędzy zasilaniem gaźnikowym a wtryskowym zwiększała się wraz ze wzrostem prędkości obrotowych. Uniknięto także kolejnej wady zasilania gaźnikowego, czyli nadmiernego wzbogacania mieszanki przy wysokich prędkościach obrotowych. Jednostkowe zużycie paliwa, przy zasilaniu wtryskowym, powyżej $4000 \frac{\text{obr.}}{\text{min}}$ utrzymywało się na poziomie ok. $300 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$, podczas gdy przy zasilaniu gaźnikowym było o ok. $50-100 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$ wyższe.
3. Funkcje zawarte w sterowniku opartym o mikrokontroler Atmega8 okazały się wystarczające do zarządzania silnikiem. Jednocześnie układ, przy taktowaniu 8 MHz, jest wystarczająco wydajny by umożliwić pracę z wysokimi prędkościami obrotowymi silnika. Wykorzystano tylko połowę (4 KB) pamięci flash mikrokontrolera, reszta może być użyta do zaprogramowania kolejnych funkcji.
4. Algorytm sterujący sprawdził się w pracy z rzeczywistym obiektem. Dopasowania wymagały wartości w mapach wtrysku, kąta wyprzedzenia zapłonu oraz wzbogacania zależnego od temperatury. W toku badań okazało się, że zwiększenie mapy wtrysku z rozmiaru 16×16 do 32×16 , tak aby zagęścić podziałkę prędkości obrotowej, polep-

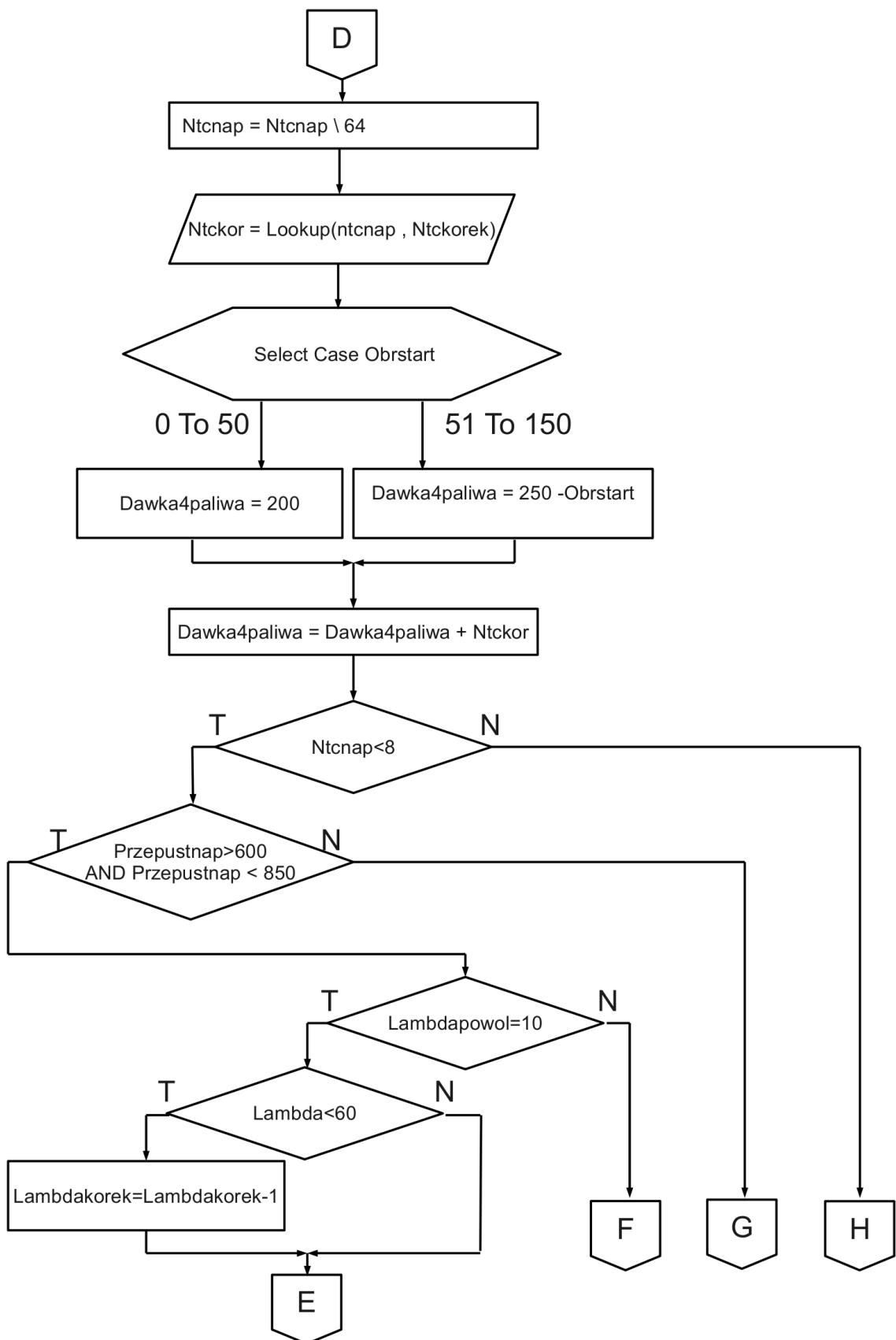
sza stabilność pracy silnika. Dobrano też prędkość otwierania kanału obejściowego przez silnik krokowy. Musiała ona współgrać z dynamiką silnika pracującego na biegu jałowym.

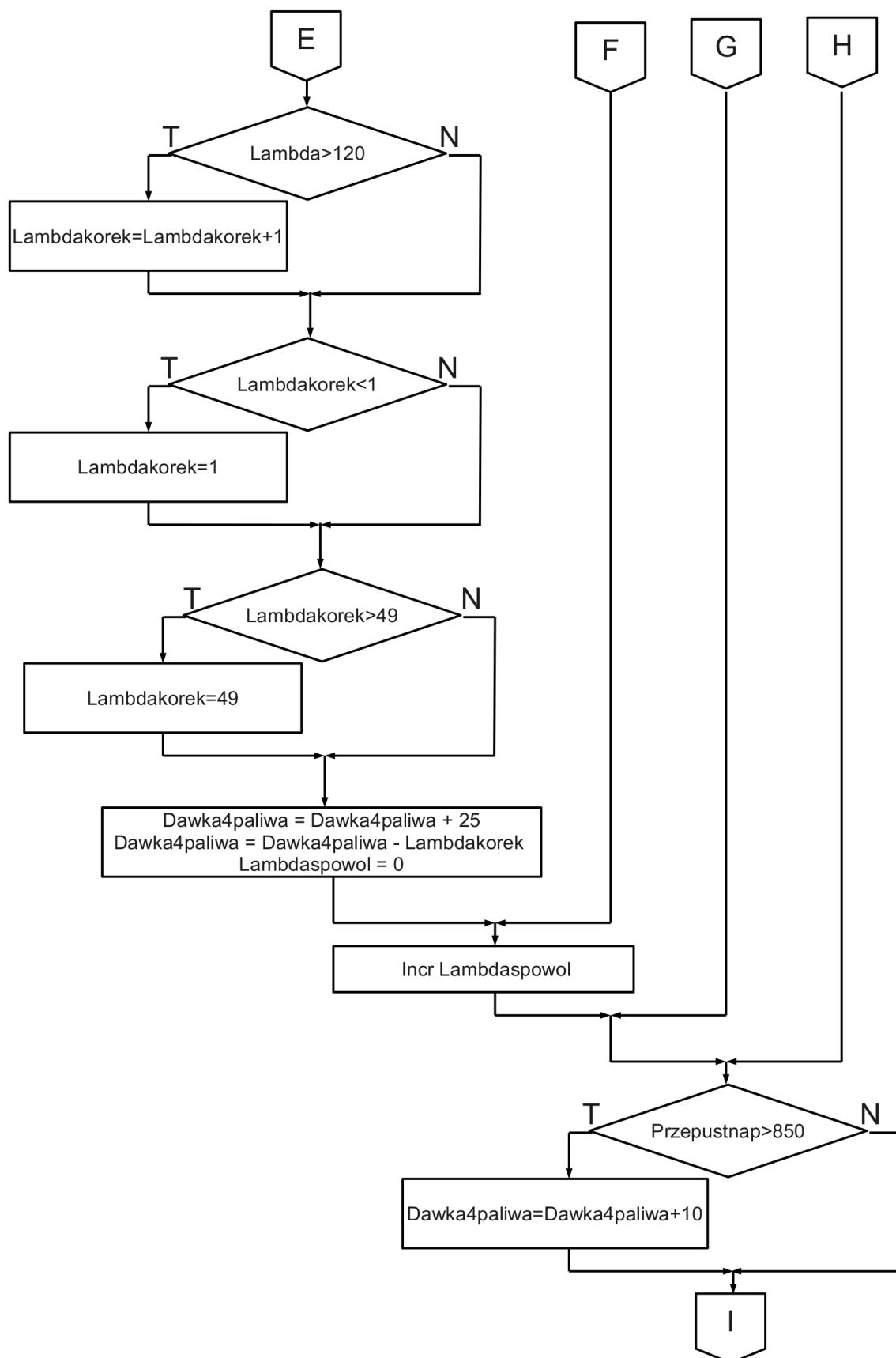
5. W czasie badań sprawdzono dwa sposoby regulacji λ : całkujący i proporcjonalno-całkujący. Regulacja proporcjonalno-całkująca zaowocowała mniejszymi wahaniem skadem mieszanki. Miało to pozytywny wpływ na zmniejszenie wahań momentu obrotowego generowanego przez silnik. W ostatecznej wersji algorytmu sterującego pozostawiono ten sposób regulacji.
6. Przedstawiony układ można rozbudować o dodatkowe funkcje i czujniki. W przyszłej wersji można dostosować system autodiagnostyki oraz trybów awaryjnych. Należałyby także zająć się miniaturyzacją układu, tak aby mieścił się w pojedynczej, małej obudowie. Taka obudowa, wypełniona odpowiednią masą zalewową, powinna zabezpieczyć układ przed działaniem czynników zewnętrznych. Musi on być zdolny do pracy w określonym przedziale temperatur. Pod uwagę należy też wziąć kwestie zgodności elektromagnetycznej (EMC).
7. Czujnikami, w które można by doposażyć układ są czujnik spalania stukowego czy czujnik położenia wałka rozrządu. Po zastosowaniu odpowiednich zmian w algorytmie, pierwszy z nich pozwoliłby na kontrolę procesu spalania, a drugi na wprowadzenie wtrysku w pełni sekwencyjnego. W opisywanej wersji układu możliwe jest stosowanie wymiennych map zapłonu i wtrysku, znajdujących się bezpośrednio w kodzie programu sterującego. W przyszłości można by, w celu uzyskania wygodniejszego sposobu wymiany map, stosować dodatkową pamięć zewnętrzną.

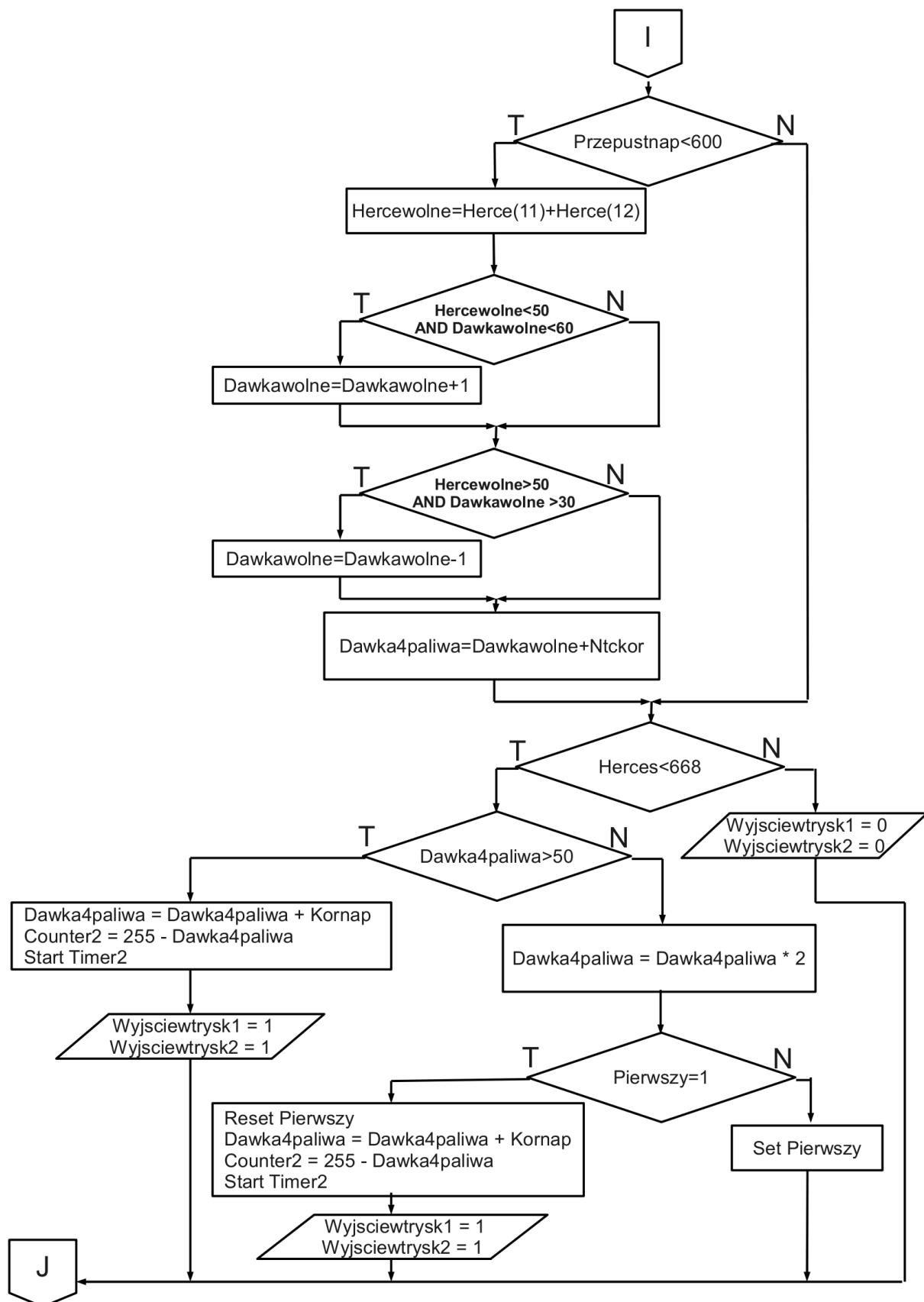
Załącznik 1: Pełny schemat algorytmu sterującego

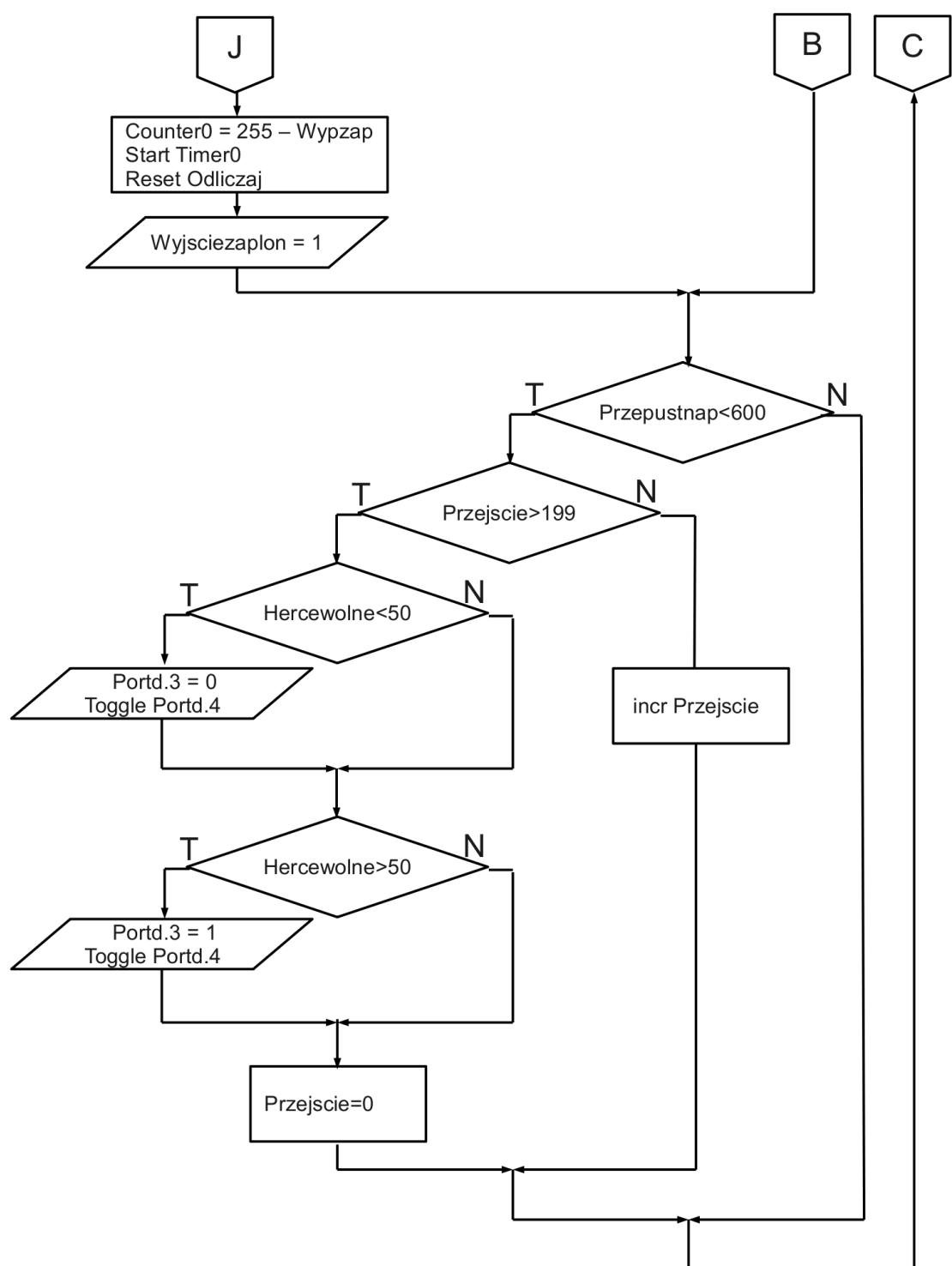












Załącznik 2: Listing programu sterującego

```

Set Bylabogata
Else
Lambdakorek = Lambdakorek + 1
End If
If Lambdakorek > 49 Then
Lambdakorek = 49
End If
If Lambdakorek < 1 Then
Lambdakorek = 1
End If
Dawka4paliwa = Dawka4paliwa + 25
lambdy
Dawka4paliwa = Dawka4paliwa - Lambdakorek
nie ulgme zmiane
End If

Select Case Poznapsr
Case 0 To 3240 : Kornap = 26
Case 3241 To 3380 : Kornap = 23
Case 3381 To 4095 : Kornap = 19
Case 4096 To 4435 : Kornap = 16
Case Else : Kornap = 11
End Select

Incr Obrstart
If Obrstart > 250 Then
Obrstart = 251
End If
Pozic = Ntcnap \ 64
Ntckor = LookUp pozic , Ntckorek)

Select Case Obrstart
Case 0 To 50 : Dawka4paliwa = 200
Case 51 To 150 : Dawka4paliwa = 250 - Obrstart
Case Else :
End Select
Dawka4paliwa = Dawka4paliwa + Ntckor

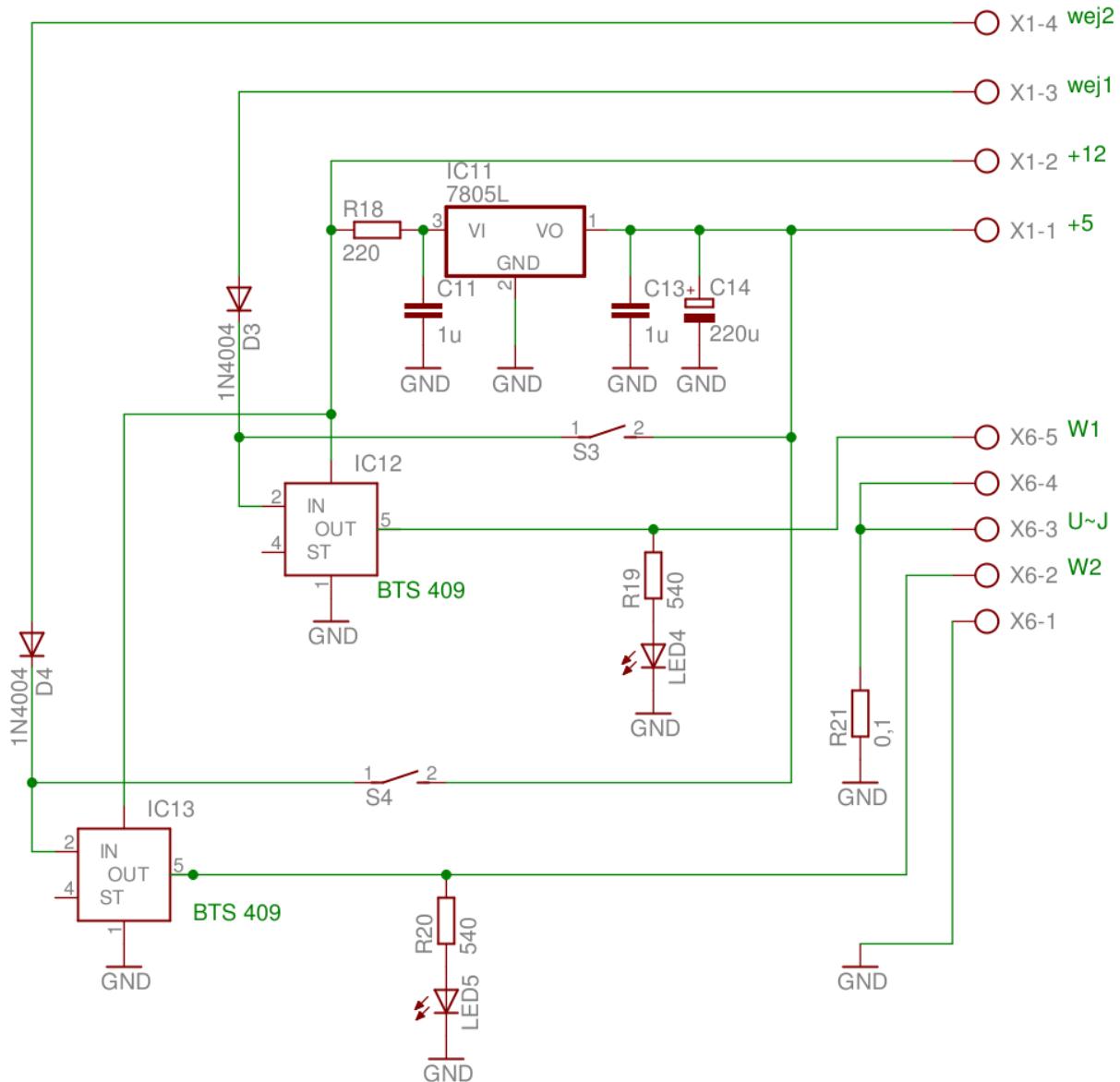
If Ntcnap < 400 Then
If Przepustnap < 850 And Przepustnap > 590 Then
zamkneta
prop. do domki
Else
If Lambda < 40 Then
If Bylabogata = 1 Then
Shift Propskok , Right , 4
Lambdakorek = Lambdakorek - Propskok
Reset Bylabogata
Else
Lambdakorek = Lambdakorek - 1
End If
End If
If Lambda > 160 Then
If Bylabogata = 0 Then
Propskok = Dawka4paliwa
Shift Propskok , Right , 4
Lambdakorek = Lambdakorek + Propskok
End If
End If
Else
Set Pierwszy
End If
End If
Else

```



```
Herces = Herces + Hercе(7)
Herces = Herces + Hercе(8)
Herces = Herces + Hercе(9)
Herces = Herces + Hercе(10)
Herces = Herces + Hercе(11)
Herces = Herces + Hercе(12)
Set Odliczaj
Counter1 = 0
Start Timer1
Odliczanie:
Stop Timer0
Wyjciezaption = 0
Return
Odliczanie:
Stop Timer2
Wyjscientrysk1 = 0
Wyjscientrysk2 = 0
Return
przerwanie od licznika sygnału do EdTS (timer0)
przerwanie od licznika impulsu wtrysku
```

Załącznik 3: Schemat elektryczny układu do badań wtryskiwaczy



Załącznik 4: Tabele z wynikami badań wtryskiwaczy

Napięcie [V]	Wtryskiwacz 1 [ms]	Wtryskiwacz 2 [ms]
6	2,7	3,34
6,5	2,42	2,9
7	2,18	2,6
7,5	1,98	2,36
8	1,84	2,18
8,5	1,72	1,98
9	1,62	1,86
9,5	1,54	1,74
10	1,44	1,66
10,5	1,38	1,58
11	1,32	1,5
11,5	1,26	1,44
12	1,22	1,38
12,5	1,18	1,34
13	1,14	1,28
13,5	1,08	1,24
14	1,06	1,2
14,5	1	1,16
15	0,98	1,12

Tabela 1. Czas otwierania wtryskiwacza w zależności od napięcia zasilania

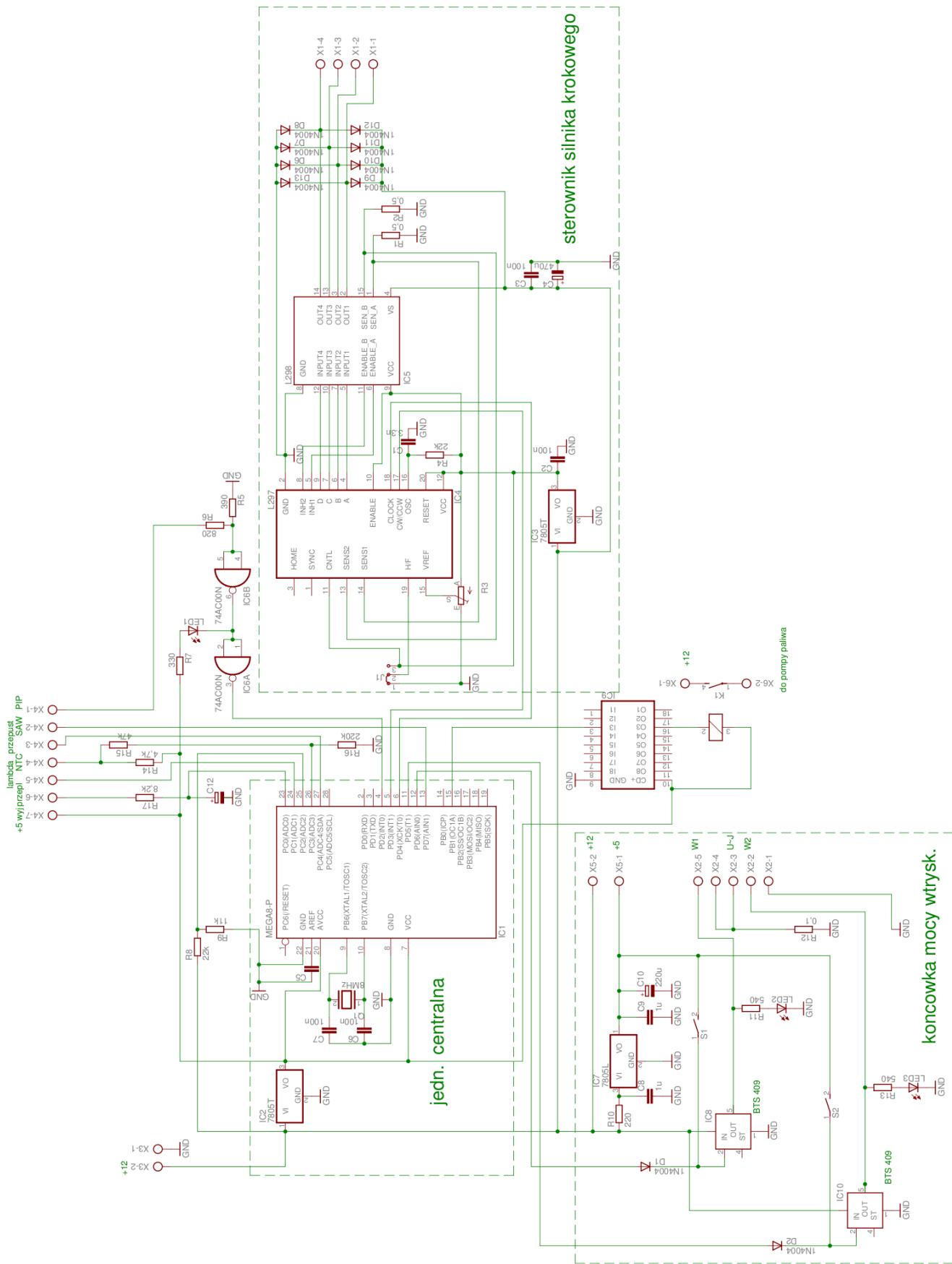
Napięcie [V]	Wtryskiwacz 1 [ms]	Wtryskiwacz 2 [ms]
6	0,6	0,68
7	0,61	0,69
8	0,62	0,7
9	0,63	0,7
10	0,64	0,7
11	0,64	0,71
12	0,65	0,71
13	0,65	0,71
14	0,65	0,72
15	0,66	0,72

Tabela 2. Czas zamykania wtryskiwacza w zależności od napięcia zasilania

Temperatura [°C]	Czas otwierania [ms]	Rezystancja uzwojenia [Ω]
78	1,36	17,6
70	1,36	17,1
60	1,32	16,7
50	1,32	16,2
45	1,32	15,7

Tabela 3. Czas otwierania wtryskiwacza i rezystancja uzwojenia w zależności od temperatury

Załącznik 5: Schemat elektryczny sterownika układu wtryskowo-zapłonowego



Załącznik 6: Tabela z wynikami badania czujnika temperatury

Temperatura [°C]	Rezystancja [$k\Omega$]
20	30
25	23
30	18,83
35	15,63
40	13,14
45	10,78
50	9,14
55	7,7
60	6,47
65	5,44
70	4,55
75	3,86
80	3,28
85	2,6
90	2,4
95	2,08
100	1,8
105	1,56
110	1,361
115	1,195
120	1,054
125	0,936
130	0,839
135	0,763

Załącznik 7: Program do badań optymalnego punktu zapłonu

```

$regfile "m8def.dat"
$crystal = 8000000
Config Timer1 = Timer , Prescale = 256
Config Timer0 = Timer , Prescale = 64
Config Portd.7 = Output
Config Pind.2 = Input

Wyjsciezaplon Alias Portd.7
Config Int0 = Falling
Enable Interrupts
Enable Int0
Enable Timer0
Dim Zegar As Byte
Dim Napiecie(3) As Word
Dim Napieciestr As Word
Dim Odliczaj As Bit

Zegar = 8
Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc
'Cls
Start Adc
On Int0 Impuls
On Timer0 Odliczanie

Do
    Napiecie(1) = Napiecie(2)
    Napiecie(2) = Napiecie(3)
    Napiecie(3) = Getadc(0)
    Napieciestr = Napiecie(1) + Napiecie(2)
    Napieciestr = Napieciestr + Napiecie(3)
    Napieciestr = Napieciestr \ 12
    Zegar = Napieciestr
    napiecia na potencjometrze
    'dlugosc impulsu wysylanego do EDIS zależy od

If Odliczaj = 1 Then
    Reset Odliczaj
    Counter0 = 255 - Zegar
    Wyjsciezaplon = 1

    Start Timer0
End If
Loop
End

Odliczanie:
    Stop Timer0
    Wyjsciezaplon = 0

Return

Impuls:
    Stop Timer1
    Start Timer1
    Set Odliczaj
Return

```

Załącznik 8: Płyta CD-ROM z pracą w formie elektronicznej