

Artur BABIARZ, Krzysztof JASKOT
Politechnika Śląska

UKŁAD REGULACJI TEMPERATURY SILNIKA SPALINOWEGO

Streszczenie. W artykule rozpatrywano zagadnienie regulacji temperatury dwusuwowego silnika żarowego. Silniki tego typu są popularnym rodzajem napędu w pojazdach typu UAV (ang. Unmanned Aerial Vehicle). W pracy przedstawiono budowę układu, jego konfigurację oraz wyniki prezentujące działanie układu regulacji składu mieszanki w silniku żarowym.

TEMPERATURE CONTROL SYSTEM FOR GLOW ENGINE

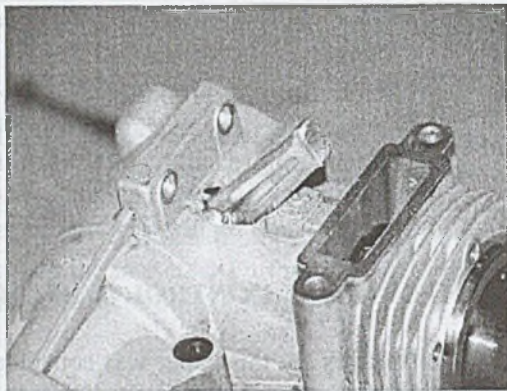
Summary. In this paper was considered problem of temperature control for two-stroke glow engine. Engine of this type are popular in Unmanned Aerial Vehicle application. The construction of control system and their configuration are described. Results of real application for automatic mixture control system for glow engine are also shown.

1. Wstęp

Autonomiczny pojazd latający UAV (ang. Unmanned Aerial Vehicle) z założenia jest obiektem, który powinien się poruszać w nieznanym i dynamicznie zmieniającym się środowisku bez jakiegokolwiek ingerencji ze strony człowieka [2, 4]. Kluczem do autonomiczności jest układ sterowania zbudowany w oparciu o informację dotyczącą położenia oraz celu lotu. W wielu pracach omawiany jest problem stabilizacji lotu oraz nawigacji, lecz jednak bardzo często pomijany jest problem właściwej temperatury pracy silnika oraz jej kontroli.

W przypadku spalinowych silników żarowych stosowanych w pojazdach UAV pomiar temperatury jest bardzo ważny, ponieważ informuje użytkownika o kondycji silnika - czy nie posiada zbyt niskiej temperatury pracy (mała moc, duże spalanie), lub za wysokiej - możliwość uszkodzenia silnika. Przykład braku kontroli temperatury i jego skutek, czyli uszkodzenie silnika, przedstawiony jest na rysunku 1. Uszkodzenie silnika w czasie lotu może pociągnąć za sobą również uszkodzenie samego pojazdu UAV, co w przypadku obiektów latających może być groźne dla otoczenia. Podstawowymi parametrami mającymi wpływ na temperaturę silnika są przepływ powietrza wokół głowicy silnika, skład mieszanki paliwowej, rodzaj paliwa, temperatura otoczenia oraz obciążenie wirnika związane z aktualnie wykonywanym manewrem.

Najczęściej pomiar temperatury silnika realizowany jest już po wylądowaniu, co jest dosyć kłopotliwe, ponieważ wymaga zatrzymania łopaty i dokonania pomiaru. Temperaturę można zmierzyć specjalnym termometrem albo metodą dotykową, tzw. "na palec". Nie jest to dobrym rozwiązaniem, ponieważ pomiar jest realizowany na silniku pracującym bez obciążenia. W związku z tym powstał układ Monitorowania Temperatury i Regulacji (MTiR), którego zadaniem jest pomiar temperatury pracy silnika, regulacja składu mieszanki paliwowej oraz sygnalizacja za pomocą sygnałów świetlnych aktualnej temperatury pracy.



Rys. 1. Obiekt UAV oraz przykład uszkodzenia silnika

2. Konstrukcja układu MTiR

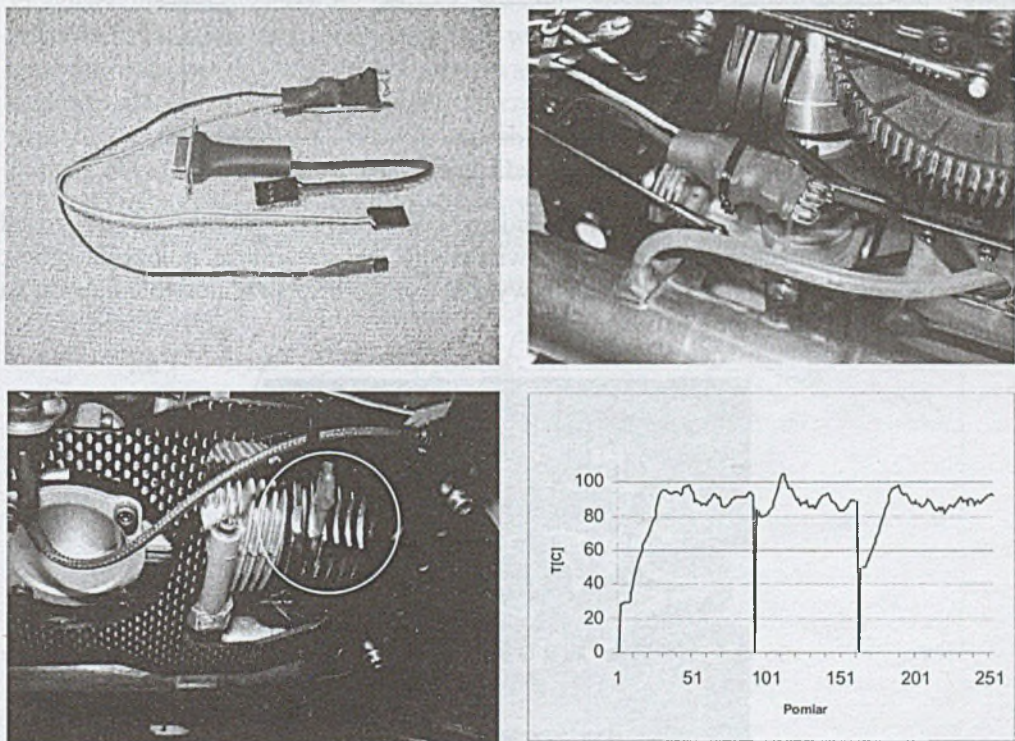
Do budowy układu monitorowania temperatury i regulacji (MTiR) dla silnika spalinowego zastosowanego w modelu śmigłowca wykorzystano mikrokontroler PIC12F683 firmy Microchip [5, 6]. Jednym z kryterium wyboru tego układu był jego niewielki rozmiar oraz masa, co w przypadku obiektów latających ma ogromne znaczenie. Dodatkową zaletą tego układu jest również napięcie zasilania ($2.5\text{ V} \pm 6\text{ V}$), co pozwala na bezpośrednie wykorzystanie tego samego pakietu, z którego zasilane są pozostałe elementy awioniki (serwomechanizmy, żyroskop, odbiornik).

Podstawowe cechy mikrokontrolera to: architektura RISC, szybkość zegara taktującego 20 MHz, 2 KB pamięci FLASH, 128 bajtów pamięci RAM na dane, 256 bajtów pamięci danych zapisywanej w wewnętrznej pamięci EEPROM, trzy timery, jeden moduł PWM oraz cztery przetworniki A/C. Za wyborem właśnie tego mikrokontrolera przemawia również dobre wsparcie ze strony producenta w środowiska programistyczne – Asembler/C, możliwość programowania w układzie (ang. ICSP In-Circuit Serial Programming) bez konieczności posiadania zewnętrznego programatora oraz moduł debuggera-emulatora (ang. ICD – In-Circuit Debugger), co w przypadku procesu tworzenia i testowania algorytmów sterowania umożliwia w łatwy sposób podgląd zmiennych oraz rejestrów procesora, w związku z czym ułatwione jest usuwanie błędów w programie.

Głównym zadaniem skonstruowanego układu jest pomiar temperatury silnika za pomocą zintegrowanego czujnika firmy Dallas (18B20 [7]). Wybór zintegrowanego czujnika podyktowany był tym, że niewymagane jest w tym przypadku stosowanie dodatkowych układów referencyjnych. Cały proces pomiaru temperatury realizowany

jest w układzie czujnika z rozdzielczością od 9 do 12 bitów. Tak pozyskaną informację układ przesyła za pomocą magistrali 1-Wire do układu mikroprocesorowego w celu dalszej analizy. Na podstawie informacji o aktualnej temperaturze realizowana jest zmiana składu mieszanki za pomocą dodatkowego układu serwomechanizmu połączony z iglicą znajdującą się w gaźniku.

Dodatkowo układ MTiR realizuje zapis temperatury do wewnętrznej pamięci EEPROM (zapis z częstotliwością $0.1\text{Hz} \approx 42$ minuty). Dzięki możliwości komunikacji układu MTiR z komputerem za pomocą protokołu RS232 możemy po wylądowaniu przenieść wyniki pomiarów do komputera PC w celu ich dalszej analizy [3]. Na rysunku 2 przedstawiono układ MTiR, sposób zamontowania układu i czujnika w modelu oraz przykładowe zarejestrowane pomiary w czasie lotu. Czujnik temperatury powinien być zamontowany jak najbliżej komory spalania, co w przypadku takich silników wiąże się z montażem na głowicy jako najbardziej gorącej części silnika. Związane jest to z szybkością zmian temperatury głowicy w zależności od obciążenia.



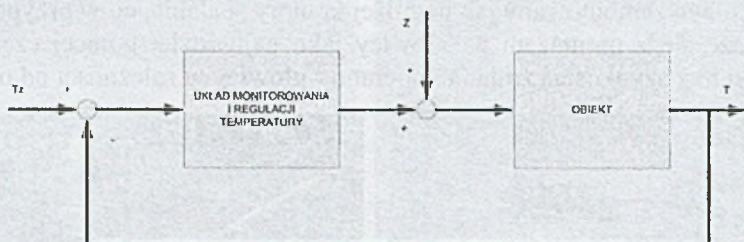
Rys. 2. Układ MTiR, sposób instalacji oraz przykład pomiarów

3. Działanie układu regulacji MTiR

W przypadku stosowania żarowych silników spalinowych jako układu napędowego powinniśmy zadbać, aby temperatura pracy takiego silnika mieściła się w przedziale od 100°C do 120°C . Poniżej tego przedziału silnik spala więcej paliwa i nie ma odpowiedniej mocy. Powyżej istnieje zagrożenie przegrzania i zniszczenia silnika. Dotychczasowe metody regulacji polegały na ręcznej zmianie składu

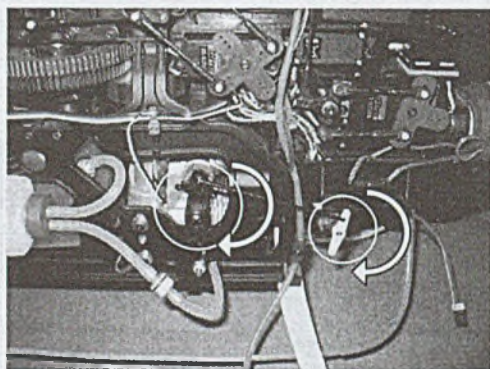
mieszanki za pomocą iglicy od średnich i wysokich obrotów, co wymagało wyłączenia modelem, dokonania pomiaru temperatury głowicy silnika i wprowadzenia odpowiedniej korekty (wzbogacenie lub zubożenie mieszanki). Zaproponowane rozwiązanie w postaci układu MTiR pozwala na realizację tego zadania w sposób automatyczny.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat blokowy układu regulacji temperatury silnika, gdzie obiektem jest cały model, T – aktualna temperatura silnika, T_z – temperatura zadana, Z – zakłócenia (zmienne obciążenie wirnika, temperatura otoczenia, ciśnienie atmosferyczne, wilgotność powietrza). Układ regulacji zamontowano w modelu spalinowego śmigłowca japońskiej firmy HIROBO Scedu klasy 50 wyposażonego w silnik firmy OS Max.



Rys. 3. Schemat blokowy układu regulacji temperatury

W celu realizacji sterowania składem mieszanki do układu MTiR został dołączony serwo mechanizm, który odpowiedzialny jest za zmianę położenia iglicy. Sposób montażu dodatkowego elementu wykonawczego oraz przeniesienie napędu na iglicę został przedstawiony na rysunku 4.



Rys. 4. Układ wykonawczy sterowania iglicą składu mieszanki

W celu realizacji zadania regulacji temperatury zastosowano następującą powszechnie znaną z literatury [1] ciągłą postać regulatora PI:

$$u_T(t) = k_p e_T(t) + k_I \int_0^t e_T(t) dt \quad (1)$$

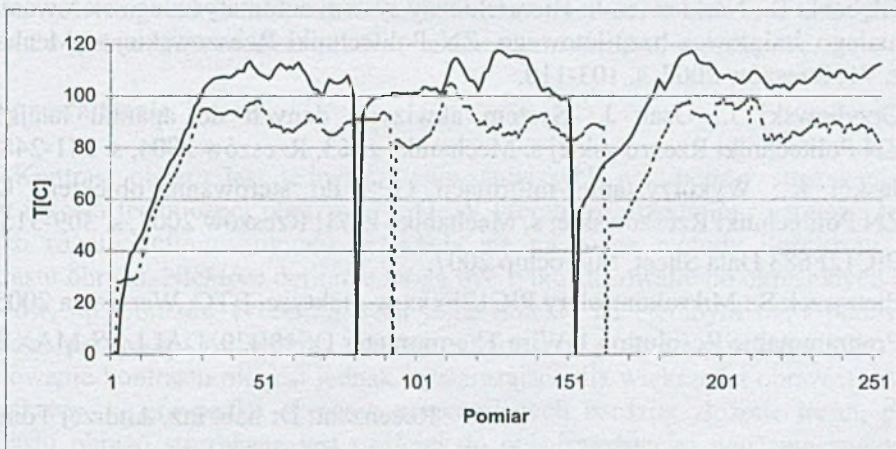
gdzie: T – temperatura, k_p , k_I – współczynniki członu proporcjonalnego i całkującego odpowiednio, e – wartość uchybu. Regulator w postaci dyskretnej otrzymaliśmy po

zastosowaniu kwadratury interpolacyjnej metodą prostokątów dla części całkującej i posiada on następującą postać:

$$u_T(kT_s) = k_p e_T(kT_s) + [I(kT_s) + k_i T_s e_T(kT_s)] \quad (2)$$

gdzie: T_s – oznacza czas próbkowania.

W oparciu o wyżej przedstawioną formułę (2) nastawy regulatora dobrano doświadczalnie. Zmiany nastaw regulatora realizowane były po każdym locie z wykorzystaniem informacji zapisanej w wewnętrznej pamięci EEPROM. Po wykonaniu lotu dane z pamięci były analizowane pod względem błędu regulacji w przypadku regulacji temperatury dla różnych obciążeń wirnika i przy zmiennych warunkach otoczenia. Postać dyskretna regulatora została zrealizowana w postaci funkcji z wykorzystaniem kompilatora C firmy CCS dla mikrokontrolerów Microchip. Automatem działanie układu regulacji temperatury MTiR jest włączane dopiero po osiągnięciu przez silnik temperatury powyżej 90°C. Wynika to z faktu, że paliwo modelarskie stosowane w tego typu silnikach zawiera również olej, który odpowiedzialny jest za smarowanie. Zbyt wczesne zubożenie składu mieszanki mogło spowodować wystąpienie braku smarowania wewnętrznych części silnika i jego uszkodzenie (zatarcie). Na rysunku 5 przedstawiono porównanie zarejestrowanych przebiegów temperatury silnika dla trzech różnych lotów trwających po ok. osiem minut każdy (wykres przerywany – układ bez regulacji, wykres ciągły włączony układ MTiR). Dodatkowo dla wykresu z włączonym układem regulacji MTiR widać również wpływ zmiany nastaw regulatora na utrzymanie wartości zadanej ($T_Z=110^\circ\text{C}$).



Rys. 5. Przebieg temperatury silnika dla układu bez regulacji i układu z działającym MTiR

4. Podsumowanie i wnioski

Prezentowany w pracy układ, oprócz opisywanych wyżej zadań, wyposażony został dodatkowo w układ optycznej sygnalizacji temperatury. Sygnalizacja ta została zrealizowana za pomocą sygnału świetlnego (diody LED – czerwona, niebieska). Informują one w przybliżeniu o aktualnej temperaturze silnika bez konieczności lądowania, co pozwala na szybką ocenę poprawności działania układu regulacji.

Z rezultatów badań eksperymentalnych na rzeczywistym obiekcie wynika, że zastosowany regulator PI z dobranymi doświadczalnie nastawami jest w stanie efektywnie kontrolować temperaturę pracy silnika (rysunek 5). Jako kryterium oceny jakości regulacji przyjęto uchyb w stanie ustalonym. Zastosowanie układu pozwala na ochronę silnika przed przegrzaniem oraz zapobiega pracy silnika przy zbyt niskiej temperaturze, dzięki czemu wydłużamy okres jego bezawaryjnej pracy. Mechanizm kontroli składu mieszanki pozwala na utrzymanie temperatury silnika w optymalnym zakresie między 100°C a 120°C. Praca silnika w optymalnym zakresie temperatur pozwoliła na zmniejszenie zużycia paliwa, co przekłada się bezpośrednio na długość lotu. Dodatkowo w optymalnym zakresie temperatury silnik charakteryzował się dobrą dynamiką (ciągiem), czyli reakcją na zmianę otwarcia przepustnicy w porównaniu do pracy w zbyt niskiej temperaturze - zbyt bogata mieszanka.

Dalszym etapem rozwoju układu jest dodanie możliwości regulacji obrotów silnika, tak aby w całym zakresie zmian kąta natarcia łopat wirnika głównego były utrzymywane stałe obroty. Zabieg taki powinien poprawić również jakość regulacji temperatury ze względu na zmniejszenie wpływu strumienia chłodzącego silnik – stała prędkość obrotowa.

BIBLIOGRAFIA

1. Gessing R.: Control Fundamentals. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
2. Głębocki R., Narkiewicz J.: Hierarchiczny system automatycznego sterowania dla małego śmigłowca bezpilotowego. ZN Politechniki Rzeszowskiej s. Mechanika z. 71, Rzeszów 2007, s. 103-110.
3. Grzybowski J., Osak J.: System akwizycji danych do aparatu latającego. ZN Politechniki Rzeszowskiej s. Mechanika z. 63, Rzeszów 2004, s. 241-248.
4. Jaskot K.: Wykorzystanie informacji GPS do sterowania obiektem UAV. ZN Politechniki Rzeszowskiej s. Mechanika z. 71, Rzeszów 2007, s. 309-315.
5. PIC12F683 Data Sheet, Microchip 2007.
6. Pietraszek S.: Mikrokontrolery PIC12Fxxx w praktyce. BTC, Warszawa 2005.
7. Programmable Resolution 1-Wire Thermometer DS18B20. DALLAS-MAXIM.

Recenzent: Dr hab. inż. Andrzej Tomczyk

Abstract

In this paper was considered problem of temperature control for two-stroke glow engine. Structure of the MTiR controller board which basis on the PIC 12F683 micro controllers are described. The measure engine temperature using DS18B20 are also described. Modification of mixture control system using additional servo are presented – fig. 4. Considered in this work helicopter model it was delivered by the HIROBO Ltd., as a Radio Control model. Results of real application are also shown – fig. 5. The obtained properties of the system have been effected that it can be used for future research and autopilot design project.