

Michał HARASIMCZUK*

STEROWNIK WTRYSKIWACZY PALIWA DLA SILNIKÓW O ZAPŁONIE ISKROWYM Z BEZPOŚREDNIM WTRYSKIEM PALIWA

W artykule opisano zasadę sterowania wtryskiwaczem paliwa do silników o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem paliwa. Omówiono sposób otwierania wtryskiwacza ze szczególnym uwzględnieniem kształtu impulsu prądowego. Artykuł zawiera schemat sterownika regulującego prąd wtryskiwacza paliwa przy wykorzystaniu układu mikroprocesorowego. Szczególną uwagę zwrócono na możliwość zasilenia wtryskiwacza wyższym napięciem, co korzystnie wpływa na jego działanie. W pracy przedstawiono wyniki symulacji zaprojektowanego sterownika przeprowadzone w programie PSpice.

SŁOWA KLUCZOWE: wtryskiwacz paliwa, bezpośredni wtrysk paliwa, elektromagnes

1. WSTĘP

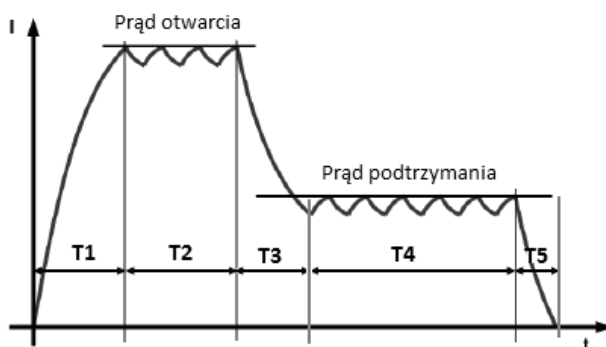
Koncern Mitsubishi w 1995r. jako pierwszy wprowadził na rynek silnik o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem paliwa. Od tego czasu nieustannie widzimy rosnącą ich popularność. W bezpośrednim wtrysku paliwa paliwo jest dostarczane bezpośrednio do komory spalania na początku suwu pracy. Jest ono wtryskiwane pod ciśnieniem 50-120 barów. Skrócenie czasu pomiędzy dostarczeniem paliwa a spalaniem (we wtrysku wielopunktowym paliwo było dostarczane razem z powietrzem w czasie suwu ssania) zaowocowało lepszym wymieszaniem mieszanki paliwowo-powietrznej, a co za tym idzie jej efektywniejszym spalaniem. Dawka paliwa jest regulowana czasem otwarcia wtryskiwacza. Wtryskiwacz otwiera się pod wpływem prądu płynącego przez jego elektromagnes. Energia zgromadzona w polu magnetycznym elektromagnesu powoduje uniesienie wtryskiwacza wraz ze znajdującą się na nim iglicą odpowiedzialną za rozpylenie paliwa. Wyłączenie przepływu prądu powoduje zanik pola magnetycznego, iglica wtryskiwacza jest dociskana sprężyną. We wtrysku bezpośrednim czas otwarcia wtryskiwacza jest bardzo krótki, a paliwo powinno być dostarczone w konkretnym momencie, na początku suwu pracy. Szybkie otwarcie wtryskiwacza wymaga dostarczenia do

* Politechnika Białostocka.

elektromagnesu pewnej energii w krótkim czasie. Napięcie 12 V występujące w instalacji elektrycznej samochodu nie jest w stanie sprostać tym wymaganiom. Wykorzystanie wyższego napięcia zasilającego wtryskiwacz w czasie jego otwierania zapewnia szybkie otwarcie wtryskiwacza oraz zmniejsza straty energii na rezystancji uzwojeń elektromagnesu.

2. METODA STEROWNIA IMPULSEM PRĄDOWYM WTRYSKIWACZA PRZEZNACZONEGO DO SILNIKÓW Z BEZPOŚREDNIM WTRYSKIEM PALIWA

Sterownie impulsem prądowym wtryskiwacza paliwa możemy podzielić na pięć etapów, zgodnie z rysunkiem 1.

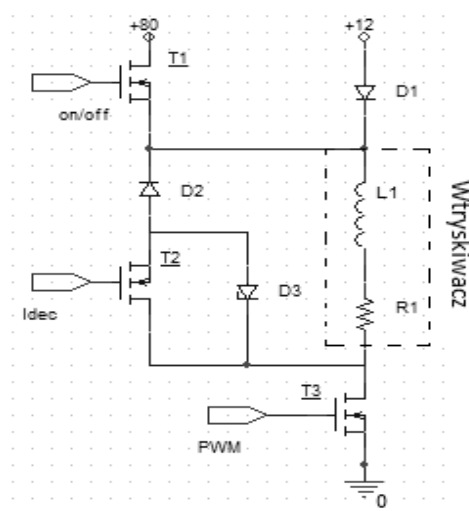


Rys. 1. Przebieg prądu elektromagnesu wtryskiwacza paliwa

- 1) Etap pierwszy (T1). Elektromagnes wtryskiwacza paliwa to pod względem elektrycznym obwód RL. Podanie napięcia zasilającego wtryskiwacz powoduje wykładnicze narastanie jego prądu. W bezpośrednim wtrysku paliwa istnieje konieczność szybkiego otwarcia zaworu, dlatego w momencie otwierania jest on zasilany napięciem znacznie wyższym niż standardowe napięcie instalacji samochodowej. Zazwyczaj jest to napięcie 80 V. Etap pierwszy kończy się wraz z osiągnięciem przez elektromagnes zadanego prądu.
- 2) Etap drugi (T2). W etapie drugim następuje stabilizacja prądu do momentu otwarcia wtryskiwacza. Regulacja prądu jest dokonywana poprzez kluczkowanie (PWM) napięcia zasilającego wtryskiwacz.
- 3) Etap trzeci (T3). Etap ten odpowiada za spadek prądu do minimalnej wartości przy której wtryskiwacz nie zostanie zamknięty. Istotnym jest, aby czas T3 był możliwie jak najkrótszy. Wydłużenie tego czasu spowoduje dodatkowe straty na uzwojeniach elektromagnesu wtryskiwacza, który i tak jest już narażony na pracę przy wysokich temperaturach.

- 4) Etap czwarty (T4). Napięcie zasilające wtryskiwacz zostaje zmienione na 12-14,4 V. Prąd jest regulowany na minimalnej wartości przy której wtryskiwacz nie zostanie zamknięty poprzez kluczkowanie napięcia zasilającego. Prąd podtrzymania jest odpowiedzialny za czas otwarcia wtryskiwacza paliwa.
- 5) Etap piąty (T5). Zamknięcie wtryskiwacza. Wymagane jest, aby czas ten był jak najkrótszy.

Uproszczony schemat zastępczy wtryskiwacza paliwa oraz jego włączenie w obwód zasilania w celu otrzymania uprzednio opisanego kształtu impulsu prądowego został przedstawiony na rysunku 2.



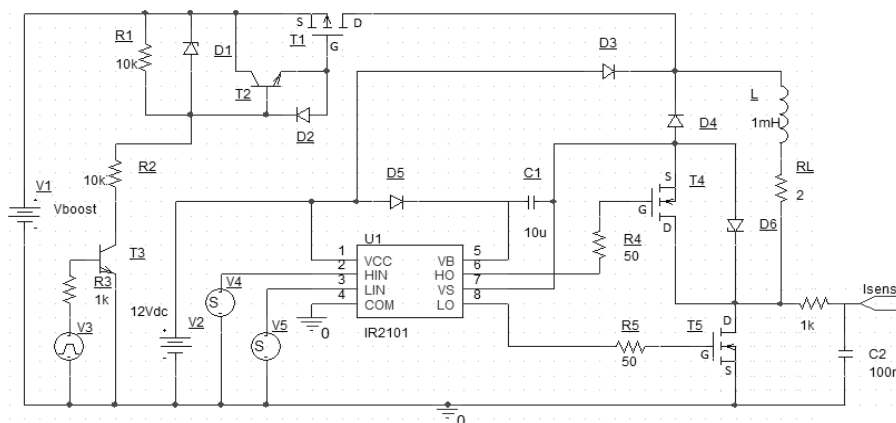
Rys. 2. Uproszczony schemat zastępczy obwodu odpowiadającego za sterowanie impulsem prądowym wtryskiwacza paliwa

Sterowanie impulsem prądowym rozpoczynamy od otwarcia tranzystora T1 oraz tranzystora T3. Wtryskiwacz jest zasilany napięciem 80 V, prąd wtryskiwacza rośnie. Jeżeli osiągnie zadeklarowaną wartość następuje zamknięcie tranzystora T3. Wymuszony zostaje przepływ prądu przez wtryskiwacz, otwarty tranzystor T2 oraz diodę D2. Prąd wtryskiwacza maleje. Tranzystor T3 jest sterowany modulacją szerokości impulsu w celu stabilizacji prądu na określonym poziomie. W momencie całkowitego otwarcia wtryskiwacza następuje zamknięcie tranzystora T1 oraz tranzystora T2. Na cewce wtryskiwacza indukuje się napięcie Zenera diody D3 powiększone o napięcie przewodzenia diody D2. Umożliwia to szybszy spadek prądu do minimalnej wartości przy której wtryskiwacz pozostanie otwarty. Wraz z osiągnięciem tego poziomu następuje otwarcie tranzystora T2 i T3. Wtryskiwacz

jest zasilany napięciem 12 V, następuje stabilizacja prądu poprzez sterowanie tranzystorem T3 modulacją szerokości impulsu. W celu szybkiego zamknięcia wtryskiwacza następuje zamknięcie tranzystora T2 oraz tranzystora T3. Prąd wtryskiwacza spada do zera.

3. SCHEMAT ORAZ ZASADA DZIAŁANIA RZECZYWISTEGO REGULATORA PRĄDU WTRYSKIWACZA PALIWA

Upřednio została opisana idea sterowania prądem wtryskiwacza paliwa. W układzie rzeczywistym niezbędny jest pomiar prądu wtryskiwacza, zapewnienie tranzystorom mocy występującym w układzie odpowiedniego napięcia U_{gs} oraz prądu bramki zapewniającego szybkie ich przełączanie. Schemat układu został przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat sterownika regulującego prąd wtryskiwacza paliwa

Układ powinien pracować przy napięciu zasilającym istniejącym w instalacji samochodowej (12-14,4 V). Napięcie potrzebne do zasilania wtryskiwacza w czasie jego otwierania pochodzi z zewnętrznej przetwornicy DC-DC. Tranzystor T1 jest odpowiedzialny za załączenie napięcia zasilającego wtryskiwacz w trakcie jego otwierania. Odpowiednie napięcie tego tranzystora zapewniają rezystory R1, R2 oraz dioda Zenera D1. Otwarcie tranzystora T3 (sterowanego przez układ mikroprocesorowy) powoduje przepływ prądu przez R1/D1, R2. Napięcie U_{gs} narasta do napięcia Zenera diody D1. Dioda Zenera ma na celu zapewnienie odpowiedniego napięcia U_{gs} , przy którym tranzystor T1 jest w pełni otwarty. Czas otwarcia tego tranzystora nie jest istotny ponieważ jest on otwierany przy zerowym prądzie. Zupełnie inaczej jest z czasem jego zamknięcia. Tranzystor jest zamykany przy prądzie mogącym sięgać nawet 20 A. Dlatego istotne jest szybkie rozładowanie jego pojemności wejściowej. Odpowiada za to układ bazujący na tranzystorze T2 i

diodzie D2. Wraz z zamknięciem tranzystora T3 zaczyna przewodzić tranzystor T2 rozładowując pojemność wejściową tranzystora T1 i jednocześnie go zamykając.

Dioda D3 powstrzymuje przepływ prądu ze źródła V1 (Vboost) do źródła V2 (12Vdc). Stabilizacja prądu wtryskiwacza (L i R_L) na określonej wartości odbywa się przy użyciu tranzystora T5, tranzystor jest sterowany modulacją szerokości impulsu ze zmiennym współczynnikiem wypełnienia, uzależnionym od wymaganej wartości prądu. Otwarcie tranzystora powoduje narastanie prądu i jego przepływ ze źródła V1 przez tranzystor T1, wtryskiwacz (L i R_L) i tranzystor T5. Zamknięcie tranzystora T5, wymusza przepływ prądu przez wtryskiwacz, tranzystor T4, oraz diodę D5. Prąd wtryskiwacza maleje. Tranzystor T5 jest sterowany przez mikroprocesor za pośrednictwem sterownika U1. Sterownik zapewnia dopasowanie napięcia U_{gs} tranzystora do wartości przy której jest on w pełni otwarty oraz dostateczny prąd bramki w celu szybkiego przeładowania pojemności wejściowej tranzystora, a co za tym idzie ograniczenia jego strat przełączania. Zamknięcie tranzystora T4 powoduje zaindukowanie się na cewce wtryskiwacza napięcia Zenera diody D6 powiększonego o napięcia przewodzenia diody D4 i przepływ prądu przez te elementy. Umożliwia to uzyskanie znacznie szybszego spadku prądu wtryskiwacza (rys.1, T3 i T5). Tranzystor T4 jest sterowany przez mikroprocesor za pośrednictwem sterownika U1. Napięcie U_{gs} tego tranzystora potrzebne do jego pełnego otwarcia zapewnia energia uprzednio zgromadzona w polu elektrycznym kondensatora C1. Kondensator ten jest ładowany ze źródła V2 w momencie otwarcia klucza T5. Prąd ładujący kondensator płynie przez diodę D5, kondensator C1, diodę Zenera D6 pracującą w kierunku przewodzenia oraz otwarty tranzystor T5.

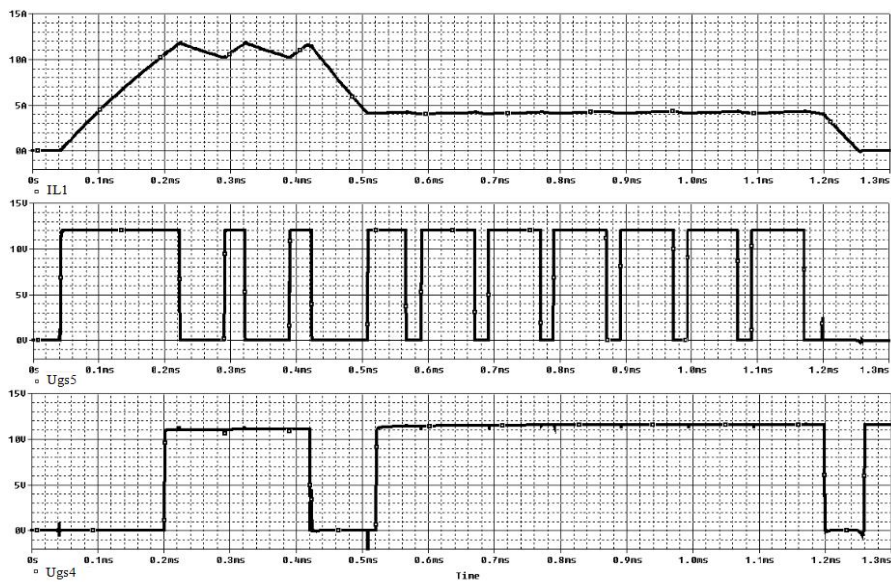
Pomiar prądu jest dokonywany przez układ mikroprocesorowy poprzez pomiar spadku napięcia na rezystancji otwartego tranzystora T5.

4. SYMULACJA UKŁADU REGULUJĄCEGO PRĄD WTRYSKIWACZA PALIWA W PROGRAMIE PSPICE

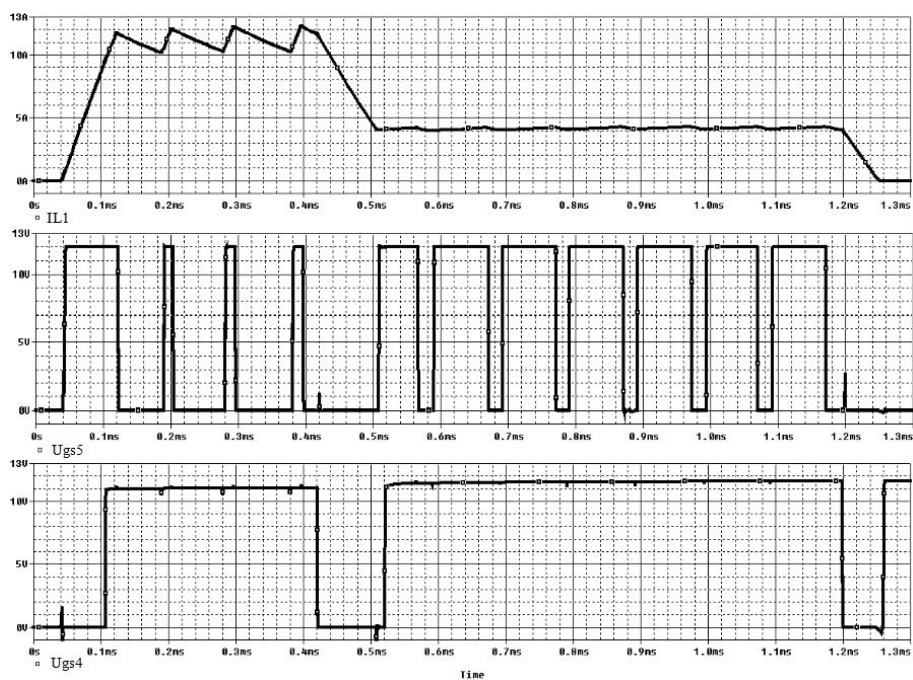
Symulacja została przeprowadzona dla schematu przedstawionego na rysunku 3. Indukcyjność cewki wtryskiwacz paliwa została ustalona na 1 mH, jego rezystancja na 2 Ω . Są to typowe wartości charakteryzujące wtryskiwacz paliwa. Napięcie Zenera diody D6 wynosi 80 V.

Zgodnie z rysunkiem 4 wtryskiwacz przy zasilaniu napięciem 80 V osiąga prąd 12 A po czasie 0,18 ms. Częstotliwość sygnału sterującego tranzystorem T5 została ustalona na 10 kHz.

Jednym z głównych problemów w bezpośrednim wtrysku paliwa jest grzanie się wtryskiwaczy paliwa, co w konsekwencji może doprowadzić do ich uszkodzenia. Zwiększenie napięcia zasilającego wtryskiwacz w trakcie jego otwierania skutecznie zmniejsza straty energii na uzwojeniach elektromagnesu wtryskiwacza paliwa. Na rysunku 5 zostały przedstawione przebiegi dla zasilania wtryskiwacza 160 V w trakcie jego otwierania.



Rys. 4. Przebiegi prądu wtryskiwacza, napięcia U_{gs} tranzystora T5 i napięcia U_{gs} tranzystora T4 dla napięcia otwierania 80 V



Rys. 5. Przebiegi prądu wtryskiwacza, napięcia U_{gs} tranzystora T5 i napięcia U_{gs} tranzystora T4 dla napięcia otwierania 160 V

Zasilenie wtryskiwacza napięciem 160 V w czasie jego otwierania dwukrotnie skróciło czas narastania prądu do wartości 12 A w stosunku do zasilania napięciem 80 V. Jednocześnie dwukrotnie ($I^2R \cdot t$) zostały zmniejszone straty energii na uzwojeniu cewki wtryskiwacza paliwa podczas jego otwierania. Pozytywnie wpływa to na jego temperaturę.

5. PODSUMOWANIE

W artykule zostało zaproponowane rozwiązanie sterownika regulującego prąd wtryskiwacza paliwa do silników z bezpośrednim wtryskiem. Przedstawiony sterownik bazuje na układzie mikroprocesorowym, co umożliwia bardzo dobrą kontrolę prądu elektromagnesu wtryskiwacza. Jednym z głównych problemów w bezpośrednim wtrysku jest nadmierne grzanie się wtryskiwaczy na skutek dużych strat na uzwojeniach elektromagnesu. Istotne jest również otwarcie wtryskiwacza w konkretnym momencie, na początku suwu pracy. Zaprezentowane rozwiązanie umożliwia zasilenie wtryskiwacza w momencie jego otwierania znacznie wyższym napięciem niż jest to stosowane standardowo. Korzystnie wpływa to zarówno na kontrolę momentu otwarcia wtryskiwacza oraz na zmniejszenie strat energii na uzwojeniach elektromagnesu.

LITERATURA

- [1] Opracowanie zbiorowe, Bosch, Sterowanie silników o zapłonie iskrowym, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2008.
- [2] Józef Tutaj, Sterownik wtrysków paliwa dla silników spalinowych z bezpośrednim wtryskiem paliwa, Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2008, z. 7-M/2008, str. 303-309.
- [3] Pei WANG, Fu-shui LIU, Xiang-rong LI, Driving Characteristic for Electronic Control Unit Pump Fuel Injection System, 2012 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Enviromental Monitoring.
- [4] Du Huang, Hongyuan Ding, Zhaowen Wang, Ronghua Huang, Design of Drive Circuit for GDI Injector, ICEICE, April 2011, 5821 - 5824 .
- [5] IRF, Application Note AN-978.

CURRENT CONTROLLER OF THE FUEL INJECTORS FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH DIRECT FUEL INJECTION

In this article the controller for direct fuel injection has been proposed. Presented controller is based on a microprocessor system, which allows a precise control of electromagnet's current. One of the main problems in the direct injection is excessive heating in the injector due to the large energy losses in the windings of electromagnet. It is also important to open the injector at a specific time, at the beginning of the power stroke. Presented solution allows to power injection at the time of opening with a significantly higher voltage than typically used. In introduced circuit shorter injection time were achieved. This affects the better control of the opening of the injection and reduction of energy losses in the windings of electromagnet. This paper presents PSpice simulation results of waveforms of the injector current.