

Antoni RÓŻOWICZ<sup>1</sup>  
Mariusz DELĄG<sup>2</sup>  
Sebastian RÓŻOWICZ<sup>3</sup>

### **WERYFIKACJA BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH W BEZROZDZIELACZOWYCH UKŁADACH ZAPŁONOWYCH**

*W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych bateryjnego układu zapłonowego współpracującego z silnikami spalinowymi. Przedstawiono również model bezrozdzielaczowego systemu zapłonowego w aspekcie poprawnej pracy świecy zapłonowej. Dokonano porównania i weryfikacji wyników zdjętych na obiekcie rzeczywistym z wynikami otrzymanymi z dwóch różnych symulacji komputerowych. Wyniki badań laboratoryjnych stanowią podstawę do budowy modelu matematycznego oraz weryfikacji badań symulacyjnych.*

### **VERIFICATION OF CONTACTLESS IGNITION SYSTEM EXPERIMENTAL RESEARCHES**

*Laboratory researches results of battery contactless ignition system co-operating with combustion engines has been presented in the paper. Aanalysis of ignition systems work is showed from aspect of correct work of sparking plug. Comparation and verification of real object results together with computer simulation results is showed. Results of model testing are base to create of mathematical model of ignition system.*

## **1. WPROWADZENIE**

Dynamiczny rozwój przemysłu motoryzacyjnego spowodował daleko idące zmiany w konstrukcji, technologii i eksploatacji urządzeń wchodzących w skład pojazdów, zwłaszcza w zakresie wyposażenia elektrycznego i elektronicznego. Odpowiednio dobrane parametry urządzeń elektrycznych w znacznym stopniu decydują o poprawnej eksploatacji pojazdu.

---

<sup>1</sup> dr hab. inż. Antoni Różowicz prof. PŚk – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

<sup>2</sup> mgr inż. Mariusz Deląg – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

<sup>3</sup> mgr inż. Sebastian Różowicz – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

Szczególną rolę pełni tutaj układ zapłonowy, który ma za zadanie wytworzyć energię zdolną do odpowiedniego spalania mieszanki paliwowej.

Aby układ zapłonowy spełniał swoją funkcję musi spełniać szereg wymagań w zakresie:

- odpowiedniej wartości napięcia po stronie wtórnej
- właściwej energii wyładowania
  - > 20mJ dla układów klasycznych
  - > 30mJ dla układów tranzystorowych
  - > 60-120mJ dla układów tyrystorowych
- poprawnej stromości narastania napięcia
- właściwego czasu trwania wyładowania
  - > iskrowe – energia zgromadzona w pojemności układu
  - > łukowe przechodzące w jarzeniowe energia zgromadzona w cewce zapłonowej

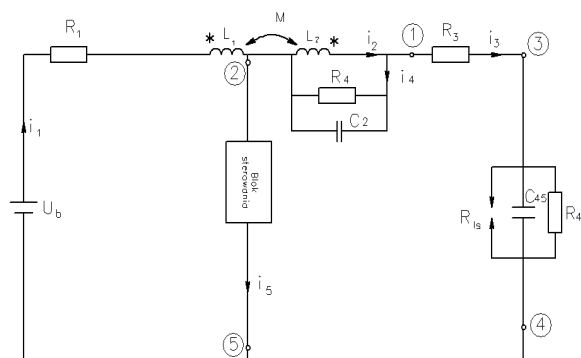
Od pracy układu zapłonowego zależą, poza niezawodnością pracy silnika, takie parametry jak: moc, zużycie paliwa i toksyczność spalin. Dla zmniejszenia zużycia paliwa i toksyczności spalin układ zapłonowy powinien zapewnić właściwą energię iskry elektrycznej o dużej częstotliwości, stabilności i odpowiednio długim czasie wyładowania.

Tendencje przedłużenia przebiegu pojazdu do kapitalnego remontu, uproszczenia obsługi i konserwacji narzucają konieczność stosowania takich rozwiązań i takich materiałów, aby układ zapłonowy pracował z pewnym nadmiarem napięcia wtórnego, określanym jako współczynnik zapasu.

Największe efekty w zakresie ekonomii i ekologii uzyskujemy poprzez usprawnienie funkcji sterowania i rozdzielania iskry z urządzeniami regulującymi kąt wyprzedzenia zapłonu. Badania prowadzone w wielu ośrodkach na świecie zmierzają do optymalizacji pracy układu zapłonowego poprzez wyeliminowanie elementów mechanicznych.

## 2. MODEL MATEMATYCZNY UKŁADU ZAPŁONOWEGO

Schemat zastępczy układu zapłonowego bezrozdzielaczowego bezstykowego przedstawiono na (rys. 1.).



Rys. 1. Schemat zastępczy układu zapłonowego bezrozdzielaczowego bezstykowego,  $U_b$  - napięcie akumulatora,  $R_1$  - rezystancja przewodów obwodu pierwotnego i uzwojenia

pierwotnego cewki,  $L_1$  - indukcyjność uzwojenia pierwotnego cewki,  $L_2$  - indukcyjność uzwojenia wtórnego cewki,  $M$  - indukcyjność wzajemna uzwojeń cewki,  $R_4$  - rezystancja odwzorowująca straty w rdzeniu cewki,  $R_3$  - ograniczenie zakłóceń radioelektrycznych ( $5k\Omega$ ),  $R_{45}$  - rezystancja upływnościowa świecy,  $R_{i5}$  - rezystancja świecy podczas wyładowania,  $C_2$  - pojemność własna cewki,  $C_{45}$  - pojemność własna świecy, blok sterowania – parametryczny lub generacyjny.

Korzystając ze schematu rys.1 opracowano model matematyczny wyznaczając równanie charakterystyczne:

$$A \cdot \frac{d^4 u_{C45}}{dt^4} + B \cdot \frac{d^3 u_{C45}}{dt^3} + C \cdot \frac{d^2 u_{C45}}{dt^2} + D \cdot \frac{du_{C45}}{dt} + E \cdot u_{C45} = 0$$

$$A \cdot p^4 + B \cdot p^3 + C \cdot p^2 + D \cdot p + E = 0 \quad (1)$$

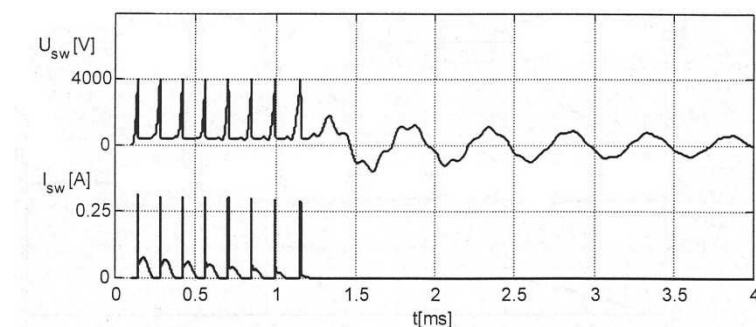
Rozwiązując równanie charakterystyczne (1) oraz uwzględniając warunki początkowe otrzymano równanie napięcia na świecy zapłonowej.

$$U_{45} = e^{(r_1 \cdot t)} \cdot (F_1 \cos(u_1 \cdot t) + F_2 \sin(u_1 \cdot t)) + e^{(r_2 \cdot t)} \cdot (F_3 \cos(u_2 \cdot t) + F_4 \sin(u_2 \cdot t)) \quad (2)$$

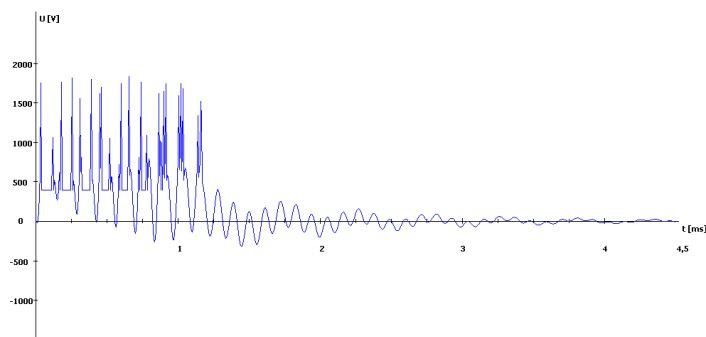
### 3. PRZEBIEGI SYMULACJI KOMPUTEROWYCH

Opracowany model został zrealizowany cyfrowo w programach komputerowych.

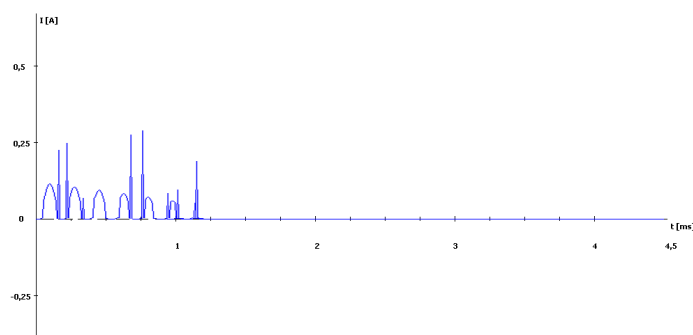
Przy pomocy symulacji komputerowej wyznaczono przebiegi napięcia na świecy oraz prąd wyładowania iskrowego (rys.2, 3, 4).



Rys. 2. Przebiegi prądu i napięcia wyładowania iskrowego na świecy zapłonowej dla napięcia  $U_b=12V$ .

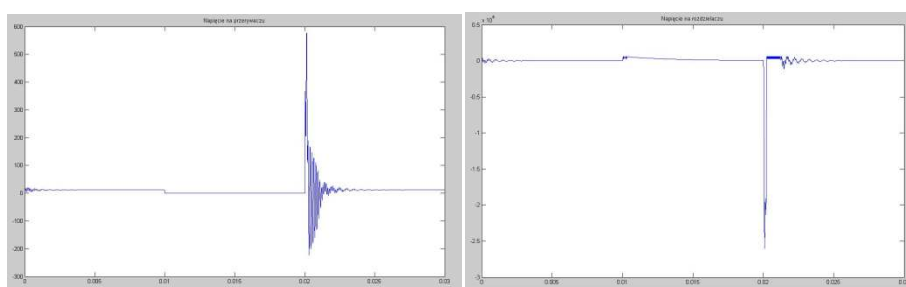


Rys.3. Napięcie na świecy zapłonowej.



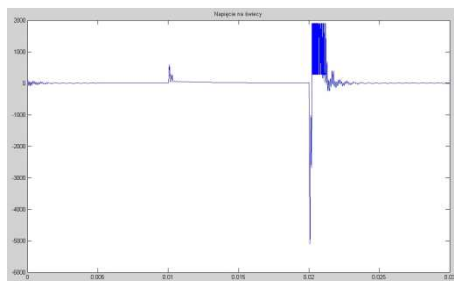
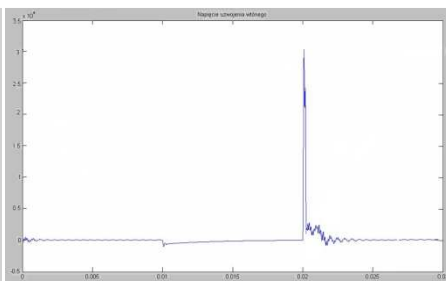
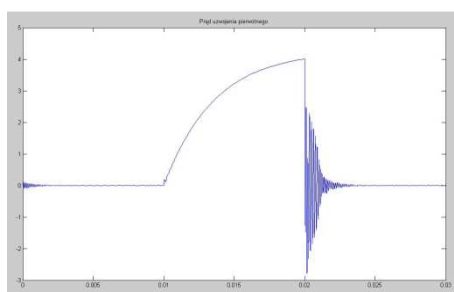
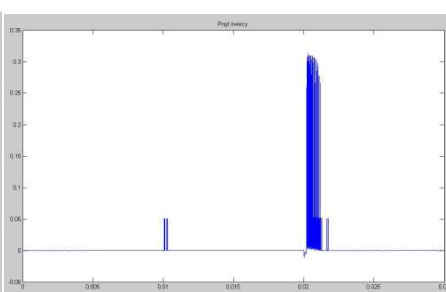
Rys. 4. Prąd wyładowania iskrowego.

Natomiast przebiegi napięcia i prądu na poszczególnych elementach układu zapłonowego zarejestrowane w badaniach eksperymentalnych zostały przedstawione na rysunkach 5, 6, 7, 8, 9, 10.



Rys. 5. Napięcie na przerywaczu

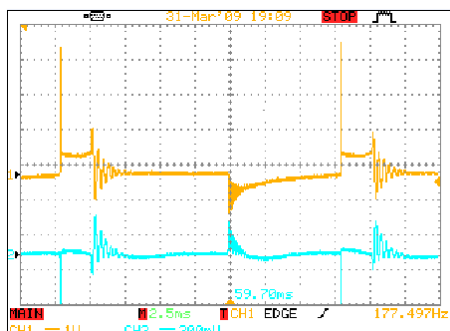
Rys 6. Napięcie na rozdzielaczu

*Rys. 7. Napięcie na świecy**Rys 8. Napięcie uzwojenia wtórnego**Rys. 9. Prąd uzwojenia pierwotnego**Rys.10. Prąd świecy*

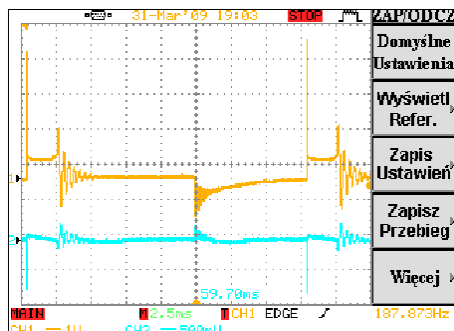
#### 4. WERYFIKACJA OPRACOWANEGO MODELU

Badania eksperymentalne przeprowadzone zostały na stanowisku badawczym w laboratorium Urzędzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej Politechniki Świętokrzyskiej. Do badań laboratoryjnych wykorzystano cewkę zapłonową wraz z modułem zapłonowym Fiata Uno. Przeprowadzono również badania na obiektach rzeczywistych: Daewoo Lanos (1), Fiat Seicento(2).

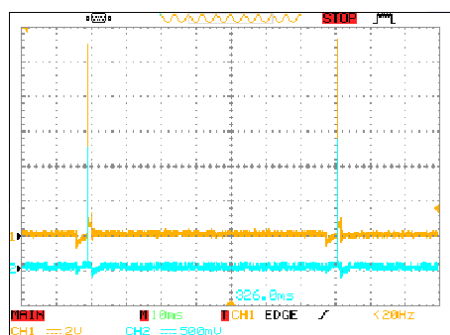
Weryfikacji przyjętego modelu matematycznego dokonano poprzez ocenę zgodności obliczeń modelowych z wynikami badań empirycznych różnych modeli układów zapłonowych. Przykładowe wyniki badań przedstawiono na rys. 11- 14.



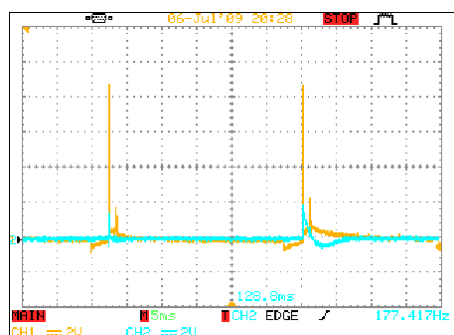
Rys. 11. Badania laboratoryjne - Przebiegi prądu i napięcia w układach szybkozmiennych



Rys. 12. Badania laboratoryjne - Przebiegi prądu i napięcia w układach szybkozmiennych



Rys. 13. Obiekty rzeczywiste - Przebieg napięcia w uzwojeniu wtórnym samochodu Daewoo Lanos



Rys. 14. Obiekty rzeczywiste - Przebieg napięcia w uzwojeniu wtórnym samochodu Fiat Seicento

Jakość dopasowania modelu matematycznego względem badań empirycznych mierzono wartością współczynnika determinacji  $R^2$ . Dla wszystkich układów pomiarowych wartość współczynnika  $R^2$  wynosiła od 0,94 (dla układu rozdzielaczowego) do 0,98 (dla układu bezrozdzielaczowego).

Dalsza analiza umożliwiła określenie wpływu zmian poszczególnych parametrów równania (1) na wartość współczynnika  $R^2$ . Założeniem było utrzymanie współczynnika  $R^2$  na poziomie minimum 0,90 po zmianie jednego parametru. Maksymalne dopuszczalne zmiany parametrów równania zostały przedstawione w tab. 1.

Tab. 1. Maksymalne dopuszczalne zmiany parametrów równania

Parametr	Maksymalna dopuszczalna zmiana wartości parametru gwarantująca utrzymanie współczynnika determinacji $R_2$ na poziomie 0,95 dla dowolnej częstotliwości prądu zasilającego
A	$\pm 11 \%$
B	$\pm 3 \%$
C	$\pm 9 \%$
D	$\pm 6 \%$
E	$\pm 15 \%$

## 5. WNIOSKI

Rozwój technologiczny i wymogi środowiska naturalnego wymuszają, aby parametry układów elektronicznych sterujące pracą silnika były tak dobrane, aby uzyskać najbardziej ekonomiczne i ekologiczne warunki ich pracy. Przedstawione obszary badania stanu technicznego wymagają specjalistycznego oprzyrządowania w urządzenia diagnostyczne. Intensywny rozwój metod, algorytmów i środków diagnostycznych, opierających się na pomiarze wielkości elektrycznych spowodował, że coraz częściej spotyka się urządzenia diagnostyczne, które w sposób kompleksowy diagnozują poszczególne obwody instalacji elektrycznej pojazdu.

Badania eksperymentalne potwierdzają przydatność przyjętego modelu matematycznego. Porównanie wyników symulacji i eksperymentu wskazuje, że przyjęty model matematyczny dobrze oddaje charakter obwodu zapłonowego. Tym samym dowodzi to przydatności zaproponowanej metody w pracach nad optymalizacją parametrów bezstykowego układu zapłonowego.

Opracowany model matematyczny zweryfikowany przez badania eksperymentalne może stanowić cenną pomoc przy analizie i doborze parametrów układu zapłonowego. Działania symulacyjne znacznie tańsze od badań eksploatacyjno-trwałościowych stanowią cenne źródło informacji o obiektach technicznych.

## 6. LITERATURA

- [1] Będkowski.: *Elementy diagnostyki technicznej*, WAT, Warszawa 1992.
- [2] Bolkowski S.: *Teoria obwodów elektrycznych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995.
- [3] Bosch R., tłumaczenie: Michał Szatyński.: *Mikroelektronika w pojazdach samochodowych*, WKiŁ, Warszawa 2002.
- [4] Cholewa W., Kiciński J.: *Diagnostyka techniczna. Odwrotne modele diagnostyczne*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
- [5] Czyżowski J., Podsiadło J., Trajdos H.: *Wybrane zagadnienia z diagnostyki samochodowej*, Politechnika Śląska, Gliwice 1987.
- [6] Dranikov D., Hellendoorn H., Reinfrank M.: *An Introduction to Fuzzy Control*, Springer-Verlag, Berlin 1993.

- 
- [7] Gad S.: *Metody diagnozowania samochodowych urządzeń elektrycznych* – Materiały sympozjum naukowego „Współczesne urządzenia elektromechatroniki pojazdów samochodowych. Warszawa 2004.
- [8] Yastrebov A. I., Gad S., Słoń G., Zawadzki A.: *Analysis of computer intelligent diagnostic models In automotive vehicle's electrical equipment*. Proc. of the 15th international Conference on Systems Science, Systems ScienceXV Vol. III. Wrocław 2004.
- [9] Gad S., Yastribov A., Grzywaczewski M.: *Methods and Algorithms of Diagnostic Identification of Car Electrical Systems*. MMAR Międzyzdroje 1997.
- [10] Szulborski A.: *Sterowanie silników o zapłonie samoczynnym*. WKŁ Warszawa 2004.
- [11] Herner A., Riehl H.J.: *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych*. WKŁ Warszawa 2003