

MODEL SYMULACYJNY SYGNAŁU DIAGNOSTYCZNEGO
SIMULATING PATTERNEL OF DIAGNOSTIC SIGNAL

Krzysztof Plizga

University of Life Science, Lublin, Poland

e-mail: krzysztof.plizga@up.lublin.pl

Streszczenie: Rozrusznik elektryczny silnika spalinowego jest złożonym obiektem technicznym, od sprawności którego zależy gotowość eksploatacyjna pojazdu mechanicznego. Gotowość eksploatacyjną rozrusznika kształtować można zarówno na etapie jego konstruowania poprzez rezerwowanie elementów lub obwodów jak również w procesie eksploatacji, np. poprzez odpowiednie zaplanowanie przeglądów okresowych.

Słowa kluczowe: rozrusznik elektryczny, eksploatacja, niezawodność, rezerwowanie

Wprowadzenie

Dzięki zastosowaniu nowej technologii produkcji, nowoczesne pojazdy coraz częściej wyposażane są w szereg urządzeń wykrywających powstałe uszkodzenia. Typowe rozwiązania mechaniczne zastępuje się elektrycznymi, elektronicznymi lub też wprowadza się urządzenia, które działają na zasadzie rozwiązań elektromechanicznych [Gad S., Pawlak M. 2004; Jastrzebow i in. 2003].

Dysponowanie odpowiednim systemem diagnostycznym umożliwia właściwą jakość wnioskowania diagnostycznego o stanie technicznym danej maszyny lub dowolnego urządzenia. Wnioskowanie takie, umożliwia sformułowanie diagnozy o stanie technicznym, która jest niezbędna przy racjonalnym działaniu wspomnianych maszyn i urządzeń. Wnioskowaniem diagnostycznym w badaniach rozruszników elektrycznych może być np. wynik badań prowadzonych na stanowiskach probierczych.

Przy obserwowanym wzroście wymagań gotowości technicznej silników spalinowych, wystąpienie awarii rozrusznika prowadzi do utraty zdolności użytkowej silnika, jednakże dzięki rejestracji parametrów pracy rozrusznika jesteśmy w stanie wykluczyć i zapobiec niezaplanowanym przestojom maszyny. Badania takie prowadził A. Charchalis dla rozruszników silników turbinowych [Charchalis A., Pojawa B. 2002] Dzięki tym badaniom udowodnił, że parametry robocze rozrusznika takie jak napięcie, moc i moment rozwijane przez to urządzenie

mogą w zupełności wystarczyć do wnioskowania diagnostycznego o stanie badanego rozrusznika.

Niekiedy spotyka się też badania [Drożdżel P. 2000; Pszczółkowski J. 2002; Charchalis A, Pojawa B. 2001; Erd A. 1995], w których poprzez rejestrację parametrów pracy rozrusznika autorzy wyciągają wnioski diagnostyczne o stanie uruchamianego silnika spalinowego.

Analiza teoretyczna pracy rozrusznika elektrycznego oraz analiza literatury pozwala na stwierdzenie, że dzięki rejestracji parametrów elektrycznych podczas rozruchu silnika spalinowego (przy założeniu że znany jest stan silnika) można ustalić stan techniczny rozrusznika. Niestety metoda ta wymusza zainstalowanie w obwodzie rozruchowym dodatkowego miernika, który byłby w stanie mierzyć duże prądy rozruchowe. Na dokładność takich pomiarów według Akczurina [Akczurin A. 1981] duży wpływ wywierałoby samo położenie rozrusznika w pojeździe (gdyż urządzenie to pracuje w ciężkich warunkach). Rozrusznik często narażony jest na pracę przy wysokiej wilgotności lub nawet zamoczeniu, a także przy wysokim zapyleniu i dużych różnicach temperatur, zwłaszcza podczas prac agrotechnicznych.

Na podstawie badań pola magnetycznego w obwodach magnetycznych maszyn elektrycznych prowadzonych przez Kamińskiego [Kamiński G. i in. 1982] oraz po analizie literatury [Krupa S., Mitkowski S. 2002] można twierdzić, że znajomość parametrów pola jest pewnym rodzajem kontroli poprawności działania urządzenia elektromechanicznego. Poprzez pomiar strumienia magnetycznego w rozruszniku jesteśmy w stanie zidentyfikować zjawiska towarzyszące zasilaniu rozrusznika, a pośrednio także zidentyfikować stan techniczny urządzenia.

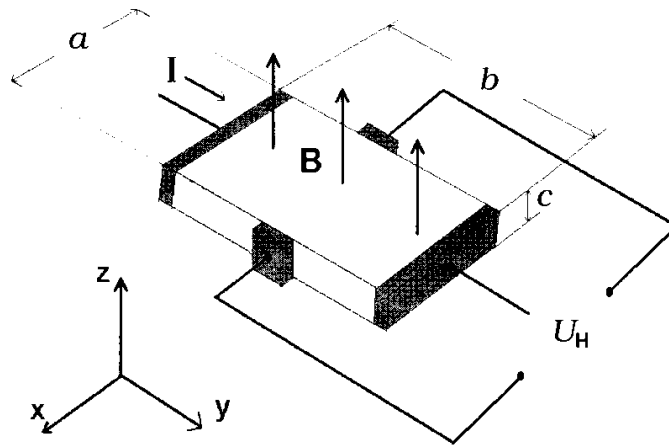
W przeprowadzonej analizie zastosowania zjawiska Halla do diagnostyki urządzeń wyposażenia elektrycznego pojazdów samochodowych podano próby jego zastosowania do analizy zjawisk towarzyszących zmianie stanu technicznego w procesie eksploatacji urządzeń technicznych [Dziubiński M. 1990; Dziubiński M., Krasowski E., Plizga K. 2003; Dziubiński M., Ocioszyński J., Walusiak S. 1999; Dziubiński M., Kowal J., Pęcak M. 1995]. Na uwagę zasługują badania prowadzone przez Dziubińskiego [Dziubiński M. 1990], gdzie wykazał on zależność pomiędzy zmianą indukcji magnetycznej w szczelinie przytwornikowej, a zmianą stanu technicznego alternatora samochodowego.

W prowadzonych przez autorów badaniach [Dziubiński M., Krasowski E., Plizga K. 2003; Dziubiński M., Kowal J., Pęcak M. 1995] podjęto się także prób zastosowania zjawiska Halla do oceny stanu rozruszników samochodowych. Jednakże po analizie prowadzonych przez nich badań można wnioskować, iż zamocowanie czujników na wirniku oraz na nabiegunniku znacznie zakłóca przebieg strumienia magnetycznego wewnątrz badanych urządzeń, co przyczynia się do generowania błędów w ocenie stanu rozruszników. Wniosek taki można wyciągnąć po analizie rozkładu pola magnetycznego w materiale [Krupa S., Mitkowski S. 2002]. Dodatkową przyczyną generowania błędów w prowadzonych badaniach Dziubińskiego [Dziubiński M., Kowal J., Pęcak M. 1995] było wyprowadzenie zasilania oraz sygnału z czujnika poza rozrusznik za pomocą pierścieni ślizgowych umieszczonych na przedłużeniu wałka wirnika rozrusznika. Dodatkowo w badanym przez niego rozruszniku sposób umieszczenia czujników hallotronowych można nazwać inwazyjnym, gdyż poprzez zmianę budowy wewnętrznej rozrusznika (frezowanie dodatkowych kanałów na umieszczenie w nich czujników) zakłóca się przepływ strumienia indukcji magnetycznej wewnątrz urządzenia, co może powodować uzyskiwanie niedokładnego obrazu zachodzących wewnątrz zjawisk magnetycznych.

Zarówno uszkodzenia mechaniczne jak i elektryczne mogą narastać stopniowo i z czasem wykluczyć z działania całe urządzenie, lecz podczas eksploatacji rozruszników

wpływają na pogorszenie ich parametrów poprzez osłabienie oddziaływania strumienia magnetycznego wzbudzenia na twornik (co udowodniono w analizie matematycznej urządzenia). Fakt ten jest możliwy do wykorzystania jako sygnał do ustalenia stanu technicznego rozrusznika poprzez pomiar indukcji magnetycznej, który należy przeprowadzić wokół szczeliny przytwornikowej rozrusznika.

Do pomiaru natężenia indukcji magnetycznej w rozruszniku wykorzystano element, którego działanie oparte jest na wykorzystaniu zjawiska Halla. Zjawisko to jest wynikiem oddziaływania pola magnetycznego na prąd płynący w półprzewodniku [Kobus A., Tuszyński J. 1986]. W obecności zewnętrznego pola magnetycznego na poruszające się elektrony działa siła Lorentza, prostopadła do kierunku ich prędkości oraz indukcji magnetycznej. Fakt ten powoduje, że w przewodniku powstają siły elektromotoryczne i w rezultacie występuje dodatkowe pole elektryczne [Boncz-Brujewicz W. L., Kałasznikow S. G. 1985].



Rys. 1. Schemat czujnika Halla [Szalimowa K. 1974]: I – prąd płynący przez hallotron, B – indukcja magnetyczna, U_H – napięcie Halla, a, b, c – odpowiednio długość, szerokość i grubość półprzewodnika

Fig 1. The pattern of Hall sensor: I – the natant by Hall sensor current, B – the magnetic induction, U_H – the Hall voltage, a, b, c – suitably the length, width and the thickness of semi-conductor

Istotę zjawiska Halla można określić następująco. Jeśli płytkę z materiału przewodzącego, przez którą płynie prąd I , umieścimy w zewnętrznym polu magnetycznym o indukcji B prostopadłym do kierunku przepływu prądu to nastąpi odchylenie nośników prądu (elektronów) od ich pierwotnego kierunku pod wpływem siły Lorentza. W płytce ustala się poprzeczne pole elektryczne E , prostopadłe zarówno do kierunku przepływu prądu I jak i do pola magnetycznego B , które przeciwdziała dalszemu odchylaniu się elektronów. Na brzegach płytki powstaje poprzeczna różnica potencjałów:

$$U_H = \frac{R_H}{c} \cdot I \cdot B, \quad (1)$$

gdzie:

R_H - współczynnik Halla materiału,

I - natężenie prądu przepływającego przez płytkę,

B - indukcja pola magnetycznego,

c – grubość płytki,

U_H - napięcie Halla.

Napięcie Halla U_H jest proporcjonalne do iloczynu natężenia prądu zasilania I i indukcji pola magnetycznego B . Przy zmianie kierunku pola magnetycznego na przeciwny zmienia się znak napięcia Halla U_H [Dziubiński M., Krasowski E., Plizga K. 2003; Kobus A., Tuszyński J., Warszawa Z. 1980].

W przypadku, gdy płytka półprzewodnika będzie zasilana stałą wartością prądu I oraz zastosowana zostanie kompensacja zmian temperatury półprzewodnika (od której zależy stała R_H materiału przewodnika), to zmiany natężenia pola magnetycznego B wywołane zużywaniem się eksploatacyjnym elementów mechanicznych (np. łożysk ślizgowych) i obwodów elektrycznych (np. szczotki-komutator) mogą być rejestrowane w postaci zmian napięcia Halla U_H .

Ocenę i weryfikację stanu technicznego rozrusznika elektrycznego można przeprowadzić po porównaniu przebiegów napięcia Halla dla rozruszników sprawnych i z uszkodzeniami. W tym celu należy przeprowadzić ocenę diagnostyczną rozrusznika danego typu dotychczasowymi metodami diagnostycznymi, aby wykluczyć wszelkie niesprawności. Kolejnym etapem jest rejestracja przebiegów napięcia Halla dla wybranego rozrusznika, która potem może służyć jako wzorzec dla porównania rejestrowanych przebiegów badanych rozruszników.

Opracowanie modelu symulacyjnego parametrów pracy rozrusznika

Poziom niezawodność pojazdów jest kształtowany we wszystkich fazach powstawania i istnienia pojazdu. W obecnym czasie dąży się do tego, aby jak najdokładniej określić niezawodność poszczególnych elementów, zespołów oraz całych pojazdów. Jak podaje literatura [Jarzmik K., Oprędkiewicz J. 1992] niezawodność pojazdów można badać stosując metody symulacyjne (wykorzystując odpowiedni model), a także metody doświadczalne. Niezależnie od zastosowanej metody, aby określić stan niezawodności należy stworzyć odpowiednie modele i algorytmy obliczeniowe.

Prowadzenie badań symulacyjnych na rzeczywistych obiektach technicznych jest utrudnione ze względu na koszty jakie ponosi się przy celowym uszkodzaniu elementów obiektów. Znacznym ułatwieniem w takich przypadkach jest prognozowanie stanu urządzenia przy pomocy budowania modeli matematycznych, za pomocą których analizować można przebieg pracy urządzenia.

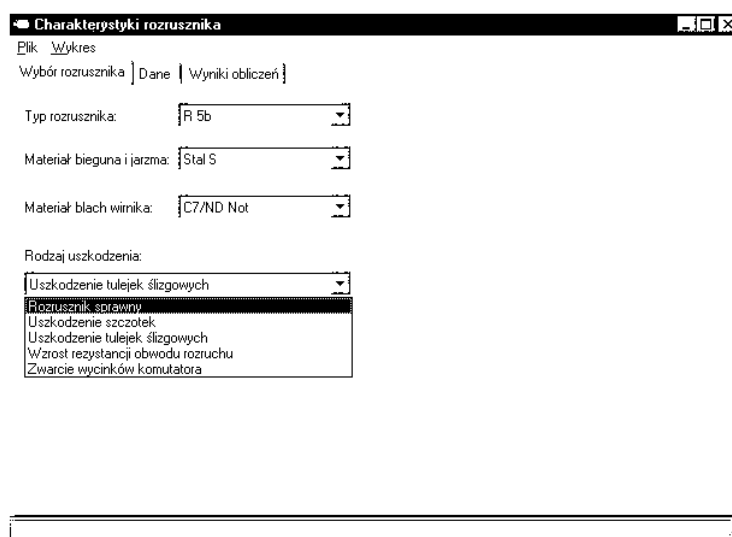
W celu przeanalizowania pracy rozrusznika, jak również wpływu rodzaju materiałów stosowanych do jego budowy oraz wpływu rodzaju uszkodzenia na charakterystyki funkcjonalne należy przeprowadzać czasochłonne i skomplikowane obliczenia. Aby tego dokonać opracowano program komputerowy, którego zadaniem jest automatyczne wykonanie wspomnianych obliczeń i jednocześnie wykreślanie charakterystyk w zależności od wybranej budowy lub wybranych uszkodzeń.

Opracowany model matematyczny rozrusznika został wykorzystany do celów diagnostycznych. Pozwala on na wprowadzenie danych konstrukcyjnych wybranego rozrusznika oraz przeprowadzenia cyklu obliczeń w celu wykreślenia jego charakterystyk. Wprowadzając odpowiednio zmieniające się parametry w zależności od rodzaju uszkodzenia można otrzymać dane wpływu tych parametrów na charakterystyki wyjściowe badanego rozrusznika. Program informatyczny został napisany w języku Delphi, do którego tok obliczeń rozruszników został zaczerpnięty z literatury [Koziej E. 1984; Golak Z., Łubkowski W. 1986].

Po uruchomieniu programu do analizy wpływu czynników konstrukcyjnych na charakterystyki wyjściowe rozruszników możemy wykorzystać materiał bieguna i jarzma oraz materiał blach wirnika. W ten sposób możemy prześledzić wpływ tych materiałów na charakterystyki danego rozrusznika.

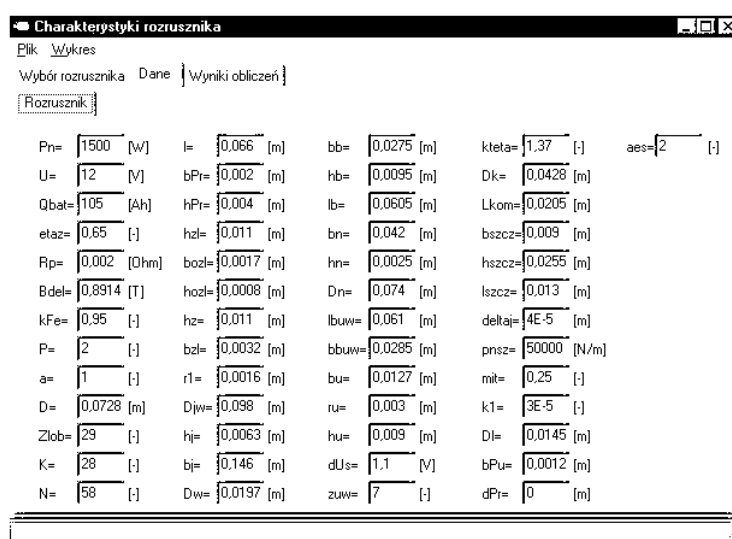
Analiza charakterystyk wyjściowych została także poszerzona o możliwość prześledzenia wpływu uszkodzeń eksploatacyjnych na ich przebiegi. Do tej analizy wybrano najczęściej występujące uszkodzenia, do których można zaliczyć: uszkodzenie szczotek, uszkodzenie łożysk ślizgowych (ich zużycie), wzrost rezystancji obwodu rozruchu oraz zwarcie wycinków komutatora (rys. 2).

Jeżeli w czasie eksploatacji rozrusznika nie można doprowadzić do zazębienia zębniaka z kołem zamachowym lub występuje ocieranie wirnika o nabiegunniki stojana, to uznajemy taki stan za uszkodzenie łożysk ślizgowych. Przypadek ten można przyjąć za awaryjny. Do obliczeń komputerowych założono także pięć pośrednich wartości luzu pomiędzy czopem wirnika i panewką łożyska ślizgowego, wpływających na prawidłowe osiowanie wirnika.



Rys. 2. Strona zgłoszeniowa programu "Charakterystyki rozrusznika"

Fig. 2. Application side of programme of "Characteristics of starter"



Rys. 3. Dane wejściowe do obliczeń programu "Charakterystyki rozrusznika"

Fig. 3. Input data computable programme "Characteristics of starter"

W celu uproszczenia analizy wpływu uszkodzeń na parametry pracy rozrusznika wprowadzono do obliczeń następujące warunki:

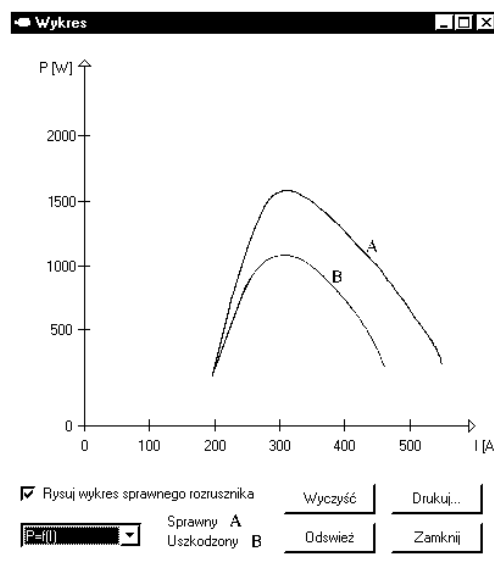
- przy uszkodzeniu szczotek przyjęto, że spadek napięcia pod szczotkami wzrasta o 50%,
- przy wzroście rezystancji obwodu rozruchowego przyjęto 50% wzrost oporu przewodów elektrycznych,
- przy zwarcu wycinków komutatora przyjęto zmniejszenie liczby wycinków o jeden oraz wzrost prądu o 10%.

Wartości charakterystyczne dla danego typu rozrusznika jak magnesowanie blach na wirnik czy jarzmo, są wczytywane automatycznie przez program. Dane te są wcześniej do niego wprowadzone. Po tych czynnościach program wykonuje obliczenia.

Podczas obliczania indukcji, gdy zostanie przekroczona wartość 1,8 T, program sprawdza tę wartość i w razie jej przekroczenia wykonuje procedurę tzw. korekcyjną, która uwzględnia strumień przechodzący przez żłobek.

Kolejnym krokiem w programie jest obliczanie charakterystyk magnesowania i przejścia. Program dokonuje w tym przypadku obliczeń dla siły elektromotorycznej w uzwojeniu twornika od 0,5 do 1,4 T z krokiem 0,1. Sprawdzana jest również dla twornika wartość indukcji w poszczególnych przekrojach i w razie konieczności wykonywane są procedury korekcyjne.

Po tych czynnościach program samodzielnie oblicza prąd zwarcia oraz charakterystyki magnesowania i przejścia przy obciążeniu. Na ich podstawie obliczane są wartości prądu, prędkości obrotowej, mocy, momentu obrotowego i sprawności, które w dalszym etapie pracy programu są wykreślone.



Rys. 4. Przykładowy wykres $P = f(I)$ z programu "Charakterystyki rozrusznika" dla rozrusznika R5b sprawnego A oraz ze wzrostem rezystancji obwodu rozruchu B

Fig. 4. The the example - graph $P = f(I)$ with programme the "Charakteristics of starter" for starter efficient R5b A as well as with growth of effective resistance of periphery starting B

Opracowanie modelu niezawodnościowego rozrusznika elektrycznego

We współczesnych pojazdach do uruchamiania silnika spalinowego stosowany jest rozrusznik elektryczny. Sposób eksploatacji rozrusznika samochodowego ma bezpośredni wpływ na poziom niezawodności. Oczywiście jest, że rozruszniki mogą nie osiągnąć tego poziomu niezawodności, jeżeli będą eksploatowane niezgodnie z ustalonymi wymaganiami.

Dla zapewnienia rozrusznikom zdolności do pracy w szerokim zakresie ich warunków eksploatacji, stosuje się:

- nadmiar strukturalny w wyłączniku elektromagnetycznym (uzwojenia wciągające i podtrzymujące);
- nadmiar strukturalny w silniku elektrycznym w postaci uzwojenia szeregowego i bocznikowego;
- nadmiar funkcjonalny przez zastosowanie prowadnicy posuwisto-obrotowej na wałku rozrusznika z dźwignią w celu zapewnienia właściwego zazębienia koła zębatego rozrusznika z wieńcem na kole zamachowym silnika spalinowego;
- nadmiar parametryczny w silniku elektrycznym poprzez zastosowanie dwu par szczotek współpracujących z komutatorem;
- nadmiar wytrzymałościowy przez zastosowanie przekładni planetarnej, gdzie jeden z elementów (np. koło słoneczne lub satelity) jest wykonany ze słabszego materiału;
- nadmiar informacyjny przez zastosowanie w nowoczesnych układach rozruchowych urządzenia „start-stop”.

Przy zastosowaniu nadmiarowości funkcjonalnej dźwignia oraz prowadnica posuwisto-obrotowa umożliwia pewne zazębienie się zębniaka rozrusznika z wieńcem koła zamachowego silnika. Zastosowanie samej tylko prowadnicy posuwisto-obrotowej pozwala w fazie początkowej, dzięki sile bezwładności sprzęgła jednokierunkowego i koła zębatego rozrusznika oraz dzięki linii śrubowej prowadnicy, na przesunięcie elementu sprzęgającego i sprzęgnięcie rozrusznika z kołem zamachowym. Jednakże sprzęganie to nie zawsze jest w pełni skuteczne. Aby zadanie to było wykonane stosuje się w rozruszniku dźwignię sterowaną przez elektrowłaznik. Dźwignia ta rezerwuje zadanie pełnione przez prowadnicę i przez to uzyskuje się pewność sprzęgania rozrusznika z kołem zamachowym podczas rozruchu silnika.

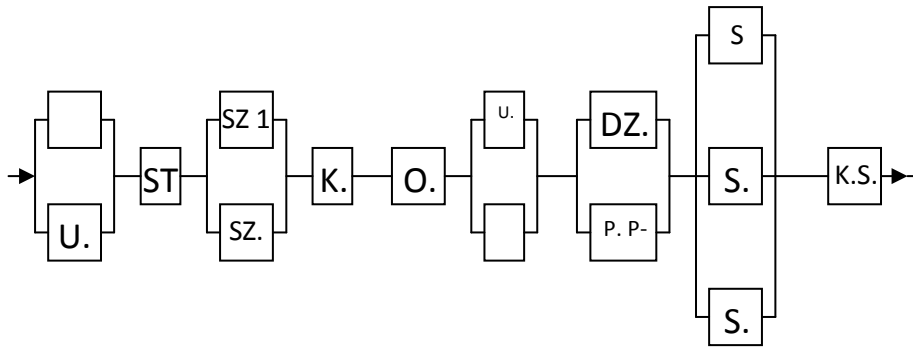
Drugim rodzajem nadmiarowości zastosowanej w rozruszniku jest nadmiarowość strukturalna. Elementami rezerwowanymi w tym przypadku są uzwojenia wciągające i podtrzymujące w elektrowłazniku, a także uzwojenia szeregowo i bocznikowe w silniku elektrycznym. Zastosowanie nadmiarowości w tym przypadku zapewnia osiągnięcie przez elektrowłaznik skutecznego zwarcia styków obwodu elektrycznego, dzięki temu osiągana jest większa skuteczność działania.

Trzecim przykładem nadmiarowości w rozruszniku jest nadmiarowość parametryczna. Jest ona realizowana w postaci odpowiedniego połączenia szczotek współpracujących z komutatorem. W przypadku zastosowania tylko jednej pary szczotek zmienia się gęstość prądowa w stosunku do dwóch par szczotek. Dodatkowo w tym wypadku znacznie szybciej uszkodzeniu ulega komutator poprzez wypalenie jego wycinków. Przy zużyciu szczotek, w przypadku zastosowania tylko jednej pary, lub przy zawieszeniu się choćby jednej szczotki,

rozrusznik nie ma też możliwości zadziałania. Poprzez zastosowanie drugiej pary szczotek, uzyskuje się wydłużony okres zdatności pracy rozrusznika elektrycznego.

W nowej generacji rozruszników elektrycznych występuje nadmiar wytrzymałości w celu zabezpieczenia silnika elektrycznego przed uszkodzeniem.

Kolejnym nadmiarem w układzie rozruchowym jest nadmiar informacyjny w stosunku do urządzenia „start-stop”.



Rys. 5. Zestawienie elementów rezerwowanych w rozruszniku elektrycznym: U.WC. – uzwojenie wciągające, U.P. – uzwojenie podtrzymujące, ST. – styki, SZ.1 – szczotki (para 1), SZ.2 – szczotki (para 2), K. – komutator, O.W. – obwód wirnika, U.SZ. – uzwojenie szeregowo silnika, U.B. – uzwojenie bocznikowe, DZ. – dźwignia, P. P-O. – prowadnica posuwisto-obrotowa, S. – satelita, K.S. – koło słoneczne

Fig. 5. Booked in electric starter the composition of units: U.WC. – drawing in winding, U. P. – supportive winding, ST. – the points of contact, SZ.1 – brush (peer 1), SZ.2 – the brush (peer 2), K. – the commutator, O. W. – the periphery of rotor, U.SZ. – the private winding of engine, U.B. – the winding shunt, DZ. – lever, P. P - O. – reciprocating guide, S. – planet gear, K. S. – sunglow

Rozpatrując rozrusznik jako system elementów wzajemnie współpracujących i współdziałających dochodzi się do wzajemnych relacji (np. parametrycznych lub strukturalnych) pomiędzy elementami.

Aby określić niezawodność rozrusznika samochodowego należy rozpatrywać go jako strukturę szeregowo-równoległą. Jak widać z rysunku 5 rozrusznik stanowi strukturę szeregową. Jednakże elementy rezerwowane w całym systemie są w strukturze równoległej.

Korzystając z zależności (2) funkcji niezawodności $R(t)$ dla struktury szeregowej:

$$R(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (2)$$

oraz zależności (3) funkcji niezawodności dla struktury równoległej:

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] \quad (3)$$

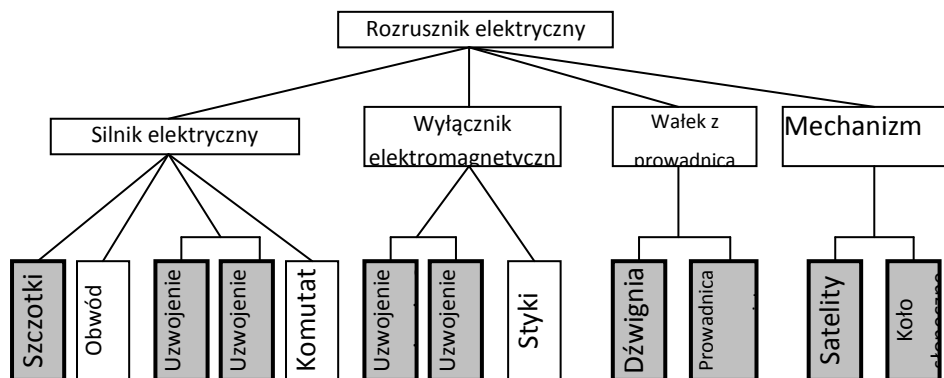
możemy wyznaczyć sumaryczną niezawodność całego szeregowo-równoległego układu. Jest ona określona następującą zależnością:

$$R_{sr} = \{[1 - (1 - R_{U.WC.})(1 - R_{U.P.})]R_{ST}\} \cdot \{[1 - (1 - R_{SZ1})(1 - R_{SZ2})]R_K\} \cdot \{R_{O.W.}(R_{U.SZ.} + R_{U.B.} - R_{U.SZ.} \cdot R_{U.B.})\} \cdot \{[1 - (1 - R_{DZ.})(1 - R_{P.P-O})][1 - (1 - R_S)^3]\} \cdot R_{KS} \quad (4)$$

Na podstawie przeprowadzonej analizy niezawodnościowej rozrusznika stwierdzono, że parametryczne uszkodzenia, a często też losowe, występują bardzo często parami (np. komutator – szczotki).

Według literatury [Oprędkiewicz J., Stolarski B. 2000] prognozowanie niezawodności maszyn elektrycznych pojazdów samochodowych wymaga szczegółowej analizy rodzaju uszkodzenia oraz przyczyn, które są z tym związane.

Głównymi czynnikami wymuszającymi uszkodzenia rozrusznika są zmienne warunki pracy (temperatura, wilgotność, drgania, zmienne obciążenie), które przy empirycznej funkcji niezawodności umożliwiają określić czas kolejnych kontroli stanu [Dziubiński M., Krasowski E., Plizga K. 2004; Dziubiński M., Walusiak S. 1997].



Rys. 6. Strukturalny schemat niezawodnościowy rozrusznika elektrycznego

Fig. 6. Structural pattern reliability of electric starter

Podsumowanie i wnioski

Kształtowanie niezawodności obiektów technicznych w fazie projektowania oraz eksploatacji niesie szereg korzyści, dzięki którym obiekty te posiadają cechy funkcjonalności. Stosowanie różnych struktur niezawodnościowych stwarza teoretycznie duże możliwości podnoszenia niezawodności obiektów technicznych, jednak w praktyce stosowanie tych struktur

lub ich kombinacji jest ograniczone względami konstrukcyjnymi, technologicznymi, ekonomicznymi oraz masą obiektu.

Jedną z metod zwiększania niezawodności obiektów, która umożliwia teoretycznie w sposób nieograniczony podnoszenie ich niezawodności, jest rezerwowanie. Metoda ta polega na tym, że dla elementów lub zespołów przewiduje się jeden lub kilka elementów zapasowych, które w miarę występowania uszkodzeń zastępują w pracy elementy uszkodzone. Zwiększenie niezawodności przez rezerwowanie, zarówno dla struktury równoległej jak i szeregowej obiektu, osiąga się dodając element zapasowy połączony równolegle z elementem podstawowym. Zapewnia to prawidłową pracę całego urządzenia pomimo wystąpienia uszkodzenia elementu rezerwowanego. Takie działanie przewidziane jest podczas eliminacji słabych ogniw obiektu technicznego.

W przypadku uszkodzenia struktury elementów nadmiarowych istnieje możliwość funkcjonowania urządzenia. Zatrzymanie następuje dopiero po uszkodzeniu krytycznej liczby elementów rezerwowanych i rezerwowych. Struktura takiego urządzenia odpowiada wówczas strukturze progowej.

Podczas eksploatacji rozruszników elektrycznych zachodzi zużywanie się jego elementów i podzespołów, które mogą powodować częściową lub całkowitą utratę zdolności do pełnienia zadanych funkcji. Jest to szczególnie ważne w ciągnikach i innych maszynach rolniczych ze względu na ich duże i rosnące wykorzystanie. Utrata zdolności przez rozrusznik swoich funkcji prowadzi w konsekwencji do utraty zdolności do wykonywania pracy przez silnik spalinowy. Stosowanie w takim przypadku rezerwowania wydłuża czas pracy urządzenia elektrycznego, umożliwia prognozowanie czasu bezawaryjnego jego funkcjonowania oraz umożliwia zaplanowanie stosowania przeglądów technicznych.

Stosowanie nowoczesnych technik informacyjnych pozwalających ustalić stan maszyny ułatwia nie tylko diagnozowanie przyczyn zaistniałych uszkodzeń, ale także pozwala na wczesne wykrywanie powstających symptomów niesprawności. Zastosowanie analizy widma indukcji magnetycznej w rozruszniku samochodowym może być stosowane zarówno do diagnozowania stanu technicznego urządzenia jak również do prowadzenia w sposób ciągły dozoru maszyny elektrycznej, od której zależy gotowość eksploatacyjna pojazdu mechanicznego.

Literatura

- Акчурин А. Г.: 1981. Техническая диагностика сельскохозяйственных машин. Кайнар. Алма-Ата. Boncz-Brujewicz W. L., Kałasznikow S. G.: 1985. Fizyka półprzewodników. PWN, Warszawa.
- Charchalis A., Pojawa B.: 2001. Ocena stanu technicznego okrętowego turbinowego silnika spalinowego na podstawie badań momentu obrotowego przy rozruchu. XXVIII Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn. Politechnika Śląska. Węgierska Górka, s. 133-140.
- Charchalis A., Pojawa B.: 2002. Badania układów rozruchowych okrętowych turbinowych silników spalinowych. XXIX Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn. Politechnika Śląska. Węgierska Górka, s. 127-134.
- Cyulin W., Lemski J.: 2000. Modele trwałości urządzeń technicznych. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn. Polska Akademia Nauk, Komitet Budowy Maszyn, Instytut Technologii Eksploatacji. Z. 4. Radom, s. 53-67.

- Drożdź P.: 2000. Metoda oceny eksploatacyjnej trwałości tłokowego silnika samochodowego z uwzględnieniem przebiegu rozruchu. *Eksploatacja i Niezawodność* 6/2000. Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne. Lublin, s. 41-49.
- Dziubiński M., Kowal J., Pęcak M.: 1995. Badania diagnostyczne rozrusznika samochodowego z wykorzystaniem zjawiska Halla. *Badania symulacyjne w technice samochodowej*. Komisja Naukowo-Problematyczna Motoryzacji. Lublin, s. 73-78.
- Dziubiński M., Krasowski E., Plizga K.: 2003. Koncepcja wykorzystania zjawiska Halla do prognozowania niezawodności obwodu rozruchu. *Międzynarodowa Konferencja Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa MOTROL'2003*. Kijów, s. 41-48.
- Dziubiński M., Krasowski E., Plizga K.: 2004. Analiza nadmiarowości w rozrusznikach samochodowych. XXXII Zimowa Szkoła Niezawodności „Nadmiarowość w Inżynierii Niezawodności”. Sekcja Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk, Szczyrk, s. 81-88.
- Dziubiński M.: 1990. Diagnostyka funkcjonalna samochodowej prądnicy synchronicznej. Politechnika Poznańska, Poznań. Rozprawa doktorska.
- Erd A.: 1995. Wykorzystanie pomiaru chwilowych zmian prądu rozruchu do diagnozowania przestrzeni cylindrowych silnika spalinowego. III Krajowa Konferencja "Diagnostyka Techniczna Urządzeń i Systemów". Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych. Warszawa, s. 35-40.
- Fokin J. G.: 1989. Niezawodność eksploatacyjna urządzeń technicznych. Wydawnictwa Ministerstwa Obrony Narodowej. Warszawa.
- Gad S., Pawlak M.: 2004. Sztuczne sieci neuronowe w diagnostyce samochodowych urządzeń elektrycznych. *Przegląd Elektrotechniczny* 7-8/2004, s. 693-697.
- Girtler J.: 2004. Probabilistyczne miary wiarygodności diagnozy o stanie technicznym maszyn i innych urządzeń. XXXI Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn. Politechnika Śląska. Węgierska Górka.
- Pszczołkowski J.: 2002. Diagnostyczne cechy rozruchu tłokowych silników spalinowych. XXIX Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn. Politechnika Śląska. Węgierska Górka, s. 317-322.
- Jastriebow A., Gad S., Słoń G., Łaskawski M.: 2003. Computer analysis of electrical vehicle equipment diagnosing with artificial neural networks. *Proc. of International Conference SICPRO'03*. Moscow, s. 1331-1348.
- Kamiński G., Biernat A., Szczypior J.: 1982. Metoda pomiaru rozkładu przestrzennego wartości chwilowej indukcji magnetycznej w szczelinie maszyn elektrycznych. *Przegląd Elektrotechniczny* 8-9/1982, s. 210-213.
- Kobus A., Tuszyński J.: 1986. Hallotrony i gaussotrony. WNT, Warszawa.
- Koziej E.: 1984. Maszyny elektryczne pojazdów samochodowych. WNT, Warszawa.
- Dziubiński M., Ocioszyński J., Walusiak S.: 1999. *Elektrotechnika i elektronika samochodowa*. Wydawnictwa Uczelniane politechniki Lubelskiej. Lublin.
- Szalimowa K. W.: 1974. *Fizyka półprzewodników*. PWN, Warszawa.
- Kobus A., Tuszyński J., Warsza Z.: 1980. *Technika hallotronowa*. WNT, Warszawa.
- Jarzmik K., Oprędkiewicz J.: 1992. Modele rozmyte w niezawodności pojazdów. Wybrane zagadnienia. Materiały Konferencyjne „Zmniejszenie strat energetycznych w pojazdach samochodowych”. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Krakowskiej. Kraków, s. 101-115.
- Golak Z., Łubkowski W.: 1986. Opracowanie konstrukcji rozrusznika 12V lewoobrotowego dla rozruchu silnika spalinowego PZL-6F. Projekt techniczny dla prototypu. Praca badawczo-rozwojowa. Zakłady Elektrotechniki Motoryzacyjnej w Świdnicy.
- Niziński S.: 2002. *Eksploatacja obiektów technicznych*. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji Radom. Warszawa.

SIMULATING PATTERNEL OF DIAGNOSTIC SIGNAL

Summary: Technical object electric starter be folded combustion engine, from efficiency which the exploational readiness of motor vehicle depends. It the exploational readiness of starter was it is possible was both on stage his the construction across booking of units or peripheries as well as in process of exploitation, np. across suitable planning the periodical reviews

Key words: electric starter, exploitation, reliability, booking

Reviewer: Eugeniusz Krasowski Prof. Sc. D. Eng.