

Program lokalizacji uszkodzeń w układzie rozruchowym samochodu

Stanisław Duer, Konrad Zajkowski, Jacek Grzyb

Streszczenie

Rozruszniki samochodowe są to wyjątkowo niezawodne maszyny elektryczne. Zdarzają się jednak i ich niesprawności, w sytuacjach szczególnych mogą całkowicie przestać pracować. Lokalizacja niesprawności w tego typu maszynie elektrycznej wymaga dużej wiedzy specjalistycznej. W artykule zaprezentowano sposób postępowania diagnosty w lokalizacji uszkodzeń w rozruszniku. Wynikiem pracy specjalisty lokalizującego niesprawność jest opracowany program lokalizacji niesprawności. Pomocą przy opracowaniu schematu postępowania diagnosty jest informacja diagnostyczna, która jest pozyskiwana z przeprowadzonych badań z wykorzystaniem typowych przyrządów pomiarowych w postaci multimetra i oscyloskopu.

Słowa kluczowe: maszyny elektryczne, silniki DC, diagnostyka techniczna, lokalizacja niezdatności.

Wstęp

Maszyny prądu stałego mogą pracować jako prądnice i jako silniki. Silniki prądu stałego są stosowane najczęściej wtedy, gdy wymagana jest płynna regulacja prędkości obrotowej lub wymagany jest duży moment rozruchowy, np. w trakcji elektrycznej oraz w urządzeniach uruchamiających silniki spalinowe (rozruszniki). Silniki o bardzo małych mocach (nie przekraczających kilku watów) są np. stosowane do napędu urządzeń zapisu obrazu i dźwięku, napędu niektórych urządzeń samochodowych i lotniczych itp. Silniki prądu stałego o dużych mocach są zasadniczymi elementami rozruszników samochodowych. Natomiast prądnice prądu stałego są stosowane np. jako wzbudnice maszyn synchronicznych oraz jako prądnice spawalnicze, samochodowe (coraz rzadziej).

1. Budowa i zasada działania rozrusznika

Zadaniem rozrusznika jest uruchomienie silnika spalinowego poprzez rozpędzenie go do określonej prędkości obrotowej. Moment napędowy rozrusznika musi być większy od momentu oporowego silnika spalinowego. Zależność ta jest prawdziwa po uwzględnieniu przełożenia, dlatego aby uniknąć zbyt dużych wymiarów silników elektrycznych rozrusznika dołącza się rozrusznik do wału silnika spalinowego poprzez przekładnię. Przełożenie przekładni zębatej dobiera się w taki sposób, aby przy minimalnej prędkości rozruchowej silnika spalinowego wirnik rozrusznika obracał się z taką prędkością, przy jakiej moment obrotowy rozrusznika osiąga maksimum momentu obrotowego. Zębnik rozrusznika powinien być ząbiony z wieńcem koła zamachowego przed rozruchem silnika [1, 9, 10].

Gdy silnik spalinowy zostanie uruchomiony, zębnik powinien być jak najszybciej odłączony od wału silnika spalinowego. Zadanie to spełnia mechanizm sprzęgający. Konstrukcja mechanizmu sprzęgającego zależy od mocy znamionowej rozrusznika. Najczęściej spotykane rozwiązania konstrukcyjne:

- 1) rozrusznik z przesuwym zębniem o włączaniu jednostopniowym,
- 2) rozrusznik z przesuwym zębniem o włączaniu

- dwustopniowym,
- 3) rozrusznik ze śrubowo-przesuwym zębniem o włączaniu jednostopniowym.



Rys. 1. Rozrusznik od fiata Punto

W rozrusznikach stosowane są najczęściej silniki szeregowe, szeregowo-bocznikowe lub z magnesami trwałymi prądu stałego o napięciu znamionowym dostosowanym do napięcia instalacji elektrycznej pojazdu. Silniki te mają najkorzystniejsze charakterystyki momentu napędowego podczas rozruchu.

Maszyna prądu stałego, tak jak każda maszyna elektryczna wirująca, ma część nieruchomą - **stojan** i część ruchomą - **wirnik** (rys. 1). Wirnik jest osadzony w łożyskach tak, by mógł swobodnie wirować wewnątrz stojana (rys. 2). Na wewnętrznej powierzchni stojana zawsze znajdują się wyraźnie ukształtowane bieguny magnesów lub elektromagnesów nazywane głównymi, a niekiedy również bieguny pomocnicze (komutacyjne). Na biegunach głównych są umieszczone uzwojenia nazywane uzwojeniami wzbudzenia. Prąd przepływający przez te uzwojenia jest prądem wzbudzenia. W maszynach prądu stałego może być jedna para biegunów ($p = 1$) lub więcej par biegunów ($p > 1$). Wszystkie bieguny muszą być symetrycznie rozłożone na obwodzie stojana. Odległość między osiami sąsiednich biegunów nazywa się podziałką biegunową (t). Rozszerzone zakończenia biegunów

są nazywane nabiegownikami. Poprawiają one rozkład indukcji magnetycznej (B) w szczelinie powietrznej, to jest w przestrzeni między nabiegownikami a zewnętrzną powierzchnią wirnika. Linie pola magnetycznego wytworzonego przez magnesy trwale lub elektromagnesy zamykają się w *obwodzie*, nazywanym *obwodem magnetycznym utworzonym przez bieguny, nabiegunki, szczelinę powietrzną, wirnik oraz stojan*. W klasycznych konstrukcjach maszyn prądu stałego korpus, a więc stojan, jest wykonywany jako odlew żeliwny lub stalowy. Do stojana są przykręcane rdzenie biegunów wykonywane podobnie jak stojan z jednolitej bryły metalu. Taki sposób wykonania tej części obwodu magnetycznego jest właściwy, ponieważ w starym polu magnetycznym nie występują straty mocy i rdzeń się nie nagrzewa. Tylko wirnik, który obraca się w polu magnetycznym, musi być wykonany z blach w celu zmniejszenia powstających w nim strat mocy na histerezę i prądy wirowe. Nabiegunki, w celu zmniejszenia występujących w nich strat mocy, wykonuje się również z blach.



Rys. 2. Schemat zasilania elektrycznego w układzie rozrusznika pojazdu [12]

W nowoczesnych konstrukcjach maszyn prądu stałego, przewidywanych do współpracy z układami przekształtników statycznych (prostowników, tyrystorów), cały obwód magnetyczny, a więc również bieguny i stojan, wykonuje się z blach (rys. 2). Taki sposób wykonania magnetowodu ma na celu zmniejszenie strat mocy, jakie powstają w obwodzie magnetycznym, w którym prądy a więc również prąd wzbudzenia – zawierają oprócz składowej o stałym zwrocie składowe przemienne. Blachy tworzące rdzeń wirnika są osadzone na wale (wałku) przechodzącym przez środek wirnika.



Rys. 3. Rozrusznik z urządzeniem sprzęgającym o śrubowo-przesuwym ruchu zębniaka [11], gdzie: 1 – korpus maszyny, 2 – zębniak ze sprzęgłem jednokierunkowym, 4 – uzwojenie magnesujące Stojana, 3 – wirnik silnika, 5 – szczotki wraz z komutatorem stykami wyłącznika wraz zaciskami (połączenie z akumulatorem), 6 – wyłącznik elektromagnetyczny wraz z dźwignią urządzenia sprzęgającego oraz z uzwojeniem wciągającym i uzwojeniem trzymającym

Wymiary wału zależą od powstających w maszynie sił mechanicznych, w tym również od długości wirnika (rys. 3). Żądane wymiary blach wirnika oraz rowki na ich obwodzie uzyskuje się w procesie wytłaczania blach. Po nałożeniu wszystkich blach na wał otrzymuje się gotowy wirnik, o kształcie walca lub bębna. Rowki wycięte w poszczególnych blachach tworzą wzdłuż osi wirnika tzw. żłobki, w których umieszcza się uzwojenie wirnika. Na jednym z końców wału umieszcza się komutator, który jest charakterystycznym elementem maszyn prądu stałego (rys. 3 i 4).

Z komutatorem łączy się uzwojenie znajdujące się w żłobkach wirnika. Szczotki ślizgające się po komutatorze umożliwiają połączenie uzwojenia wirnika z nieruchomymi np. wodami maszyny, np. uzwojeniem wzbudzenia oraz obwodem zewnętrznym znajdującym się poza maszyną. Szczotki są osadzone w obwodach szczotkowych, zapewniających stałe położenie szczotek oraz równomierny ich docisk do powierzchni komutatora. Na rysunku 3 pokazano konstrukcję rozrusznika z urządzeniem sprzęgającym o śrubowo-przesuwym zębniku sterowanym za pomocą wyłącznika elektromagnetycznego. Zazębienie się zębniaka z wieńcem koła zamachowego odbywa się za pośrednictwem wyłącznika elektromagnetycznego. Zamknięcie przycisku rozruchowego powoduje, że w uzwojeniach wciągającym i trzymającym płynie prąd (Rys. 3). Zostaje wytworzony strumień magnetyczny, który wciąga rdzeń wyłącznika. Jednocześnie tuleja, która jest połączona z dźwignią powoduje przesuwanie zębniaka (za pośrednictwem sprężyny). Jeżeli ząb zębniaka trafi na ząb wieńca, to sprężyna (3) na rys. 3 ulega ściśnięciu, a rdzeń wyłącznika po wciągnięciu powoduje zamknięcie styków wyłącznika (12) na rys. 3 wirnik rozrusznika zaczyna się obracać i następuje niemal natychmiastowe zazębienie zębniaka z wieńcem. Do sprzęgnięcia zębniaka z wieńcem potrzebna jest większa siła niż do utrzymania zębniaka w stanie zazębienia. Dlatego po sprzęgnięciu styki wyłącznika zwierają uzwojenie wciągające i prąd płynie jedynie przez uzwojenie trzymające. Na rys. 4 pokazano schemat elektryczny rozrusznika z silnikiem szeregowym i wyłącznikiem z dwoma uzwojeniami wciągającym i trzymającym. Sprzęgło jednokierunkowe uniemożliwia napędzanie wirnika rozrusznika przez pracujący silnik.

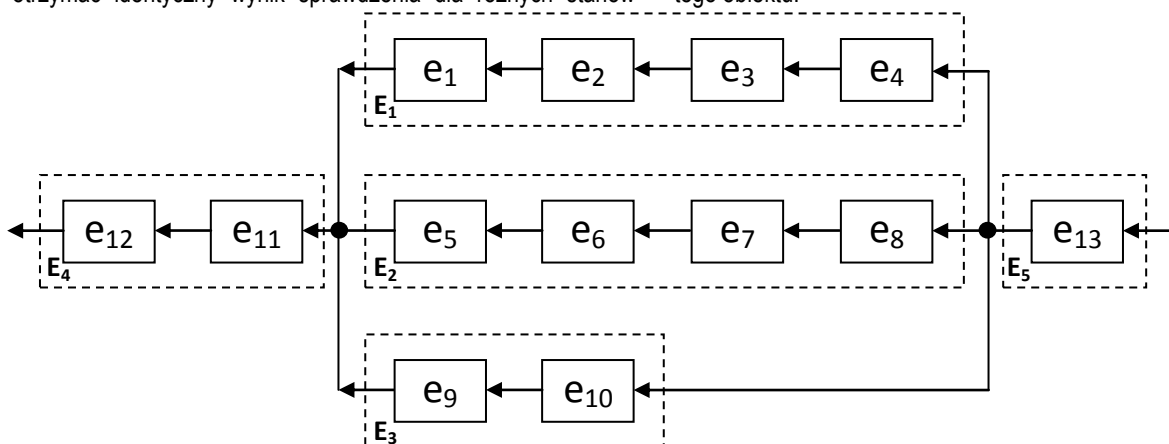
Po wyłączeniu napięcia zasilającego uzwojenia wyłącznika następuje wycofanie zębniaka i odłączenie rozrusznika.

2. Program lokalizacji niezdatności w układzie rozruchowym samochodu

W procesie lokalizacji uszkodzeń dzięki wykonaniu mniej lub bardziej złożonych badań diagnostycznych następuje zidentyfikowanie stanu elementu konstrukcyjnego, a w następstwie tego i samego obiektu technicznego. Jeżeli mamy do czynienia z bardzo złożonym obiektem to jego diagnoza jest trudniejsza, kosztowna i dużo bardziej pracochłonna. W celu uzyskania optymalnych wyników procesu, należy korzystać z matematycznych metod opisu oraz analizy procesu diagnozowania [4-10].

Przed przystąpieniem do diagnozowania obiektu dla badającego charakteryzuje się pełną nieokreśloność stanu. Wyniki sprawdzeń zależą przede wszystkim od stanu w jakim obiekt się znajduje. Aby zmniejszyć nieokreśloność stanu można zastosować realizację procesu diagnozy polegającą na wykonaniu sprawdzenia i analizy ich wyników. Przyjmujemy, że dla każdego sprawdzenia przyporządkowujemy określony zbiór wyników. Konkretny wynik tego sprawdzenia zależy od stanu obiektu w chwili badania. Badając obiekt możemy

otrzymać identyczny wynik sprawdzenia dla różnych stanów tego obiektu.



Rys. 4. Schemat funkcjonalno – diagnostyczny układu rozrusznika pojazdu, gdzie: E_1 – wyłącznik elektromagnetyczny: e_1 – urządzenie sprzęgające, e_2 – uzwojenie wciągające, e_3 – uzwojenie trzymające, e_4 – połączenie elektryczne wyłącznika elektromagnetycznego, E_2 – twornik rozrusznika: e_5 – uzwojenie twornika, e_6 – komutator, e_7 – szczotki, e_8 – połączenie elektryczne (styk) uzwojenia wirnika z zaciskiem (+ 12 V), E_3 – stojan rozrusznika: e_9 – uzwojenie magnesujące stojana, e_{10} – połączenie elektryczne (styk) uzwojenia magnesujące stojana z zaciskiem (+ 12 V), E_4 – połączenie zębniaka z kołem zamachowym: e_{11} – zębniak wraz z wielowypustem śrubowym i dźwignią urządzenia sprzęgającego, e_{12} – sprzęgło jednokierunkowe, E_5 – e_{13} – zacisk (połączenie z akumulatorem (+ 12 V))

Po otrzymaniu poszczególnego wyniku sprawdzenia nie możemy jednoznacznie określić stanu obiektu, lecz możemy wyodrębnić podzbiór stanów. Każdy otrzymany podzbiór możemy podzielić na kolejne aż otrzymamy jednoelementowy podzbiór, który umożliwi rozpoznanie dowolnego stanu obiektu. W dotychczasowej praktyce przyjmujemy, że występują dwa rodzaje wyników sprawdzenia: pozytywny i negatywny co znacznie uprościło model procesu.

Organizacja badania diagnostycznego złożonych obiektów jest bardzo pracochłonna i skomplikowana. Sposób przeprowadzania badań a w szczególności program tych badań dla określonych obiektów powinien być przygotowany dużo wcześniej i dopiero wtedy podany personelowi w prostej postaci do realizacji. Program diagnozowania to rzetelnie opracowany algorytm planowanego przebiegu procesu diagnozowania. Inaczej jest to zapis uporządkowany sprawdzeń zbioru, który ma za zadanie ułatwić sformułowanie diagnozy.

Programem diagnozowania nazywany jest to uporządkowany zbiór sprawdzeń różniących się liczebnością, kombinacją czy też kolejnością. Przebieg badania diagnostycznego w każdym obiekcie technicznym jest procesem losowym. Dla określonego obiektu może przyjmować on różną postać zależnie od stanu, w jakim w chwili badania znajduje się badany obiekt. Wyznaczenie programu diagnozowania określane jest jako dokonywanie wyboru określonej procedury jaką jest stan obiektu. Program lokalizacji niesprawności jest graficznym schematem toku postępowania specjalisty w procesie lokalizacji niesprawności (Rys. 5) [2, 3, 5]. Blokami charakterystycznymi w tym schemacie są bloki dotyczące sprawdzeń i pomiarów, bloki decyzyjne oraz bloki wniosków.

Podstawą opracowania schematu lokalizacji uszkodzeń jest model funkcjonalno-diagnostyczny badanego urządzenia oraz wiedza i doświadczenie opracowującego dany algorytm. Dysponując takim modelem można dopiero przystąpić do opracowania algorytmu lokalizacji niezdatności. W celu zaprezentowania istoty opracowania algorytmu lokalizacji

niezdatności wybrano układ rozruchowy pojazdu. Elementy składowe (funkcjonalne) tego układu przedstawiono na rys. 4.

Badany zespół poddano opracowaniu diagnostycznemu, w sposób opisany w pracach [2, 3, 5, 9]. Na podstawie wykonanej analizy funkcjonalno-diagnostycznej w obiekcie wyróżniono zbiór elementów podstawowych (Rys. 4). W procesie nauczania studentów po opanowaniu określonej wiedzy teoretycznej i praktycznej tworzone są sytuacje operacyjne polegające na sprecyzowaniu aktualnego stanu pracy (objawu) układu rozruchowego np. „**rozrusznik się nie kręci**”. Zadaniem słuchaczy jest opracowanie odpowiedniego schematu postępowania diagnostyki. Słuchacze do dyspozycji posiadają stanowisko laboratoryjne, gdzie na bieżąco mogą sprawdzać swoje wyniki (tok postępowania) przy wykorzystaniu typowych przyrządów kontrolno-pomiarowych.

Opracowany algorytm postępowania diagnostyki w procesie lokalizacji niesprawności przedstawiono na rys. 5 pozwala skutecznie zidentyfikować możliwe uszkodzenia w obiekcie.

W schemacie na rys. 5 tym zawarte są wszystkie czynności sprawdzająco-diagnostyczne wykonywane w toku postępowania diagnostyki. W tym także są zawarte czynności pomiarowe (sprawdzające), decyzje co do dalszego postępowania oraz wnioski określające kolejne działania w przyszłości. Efektem graficznego przedstawienia schematu czynności specjalisty w toku lokalizacji niesprawności jest wyróżniony możliwy zbiór uszkodzeń, który mógł zaistnieć w tej konkretnej sytuacji.

W przedstawionym na rys. 5 schemacie wyznaczono zbiór siedmiu możliwych niesprawności, do których należą:

1. Brak napięcia +12 V – wymiana akumulatora.
2. Wymiana przewodu połączeniowego (+12V) z akumulatorem.
3. Wymiana łożysk w rozruszniku.
4. Wymiana koła zamachowego lub zębniaka.
5. Wymiana szczotek lub komutatora.
6. Wymiana uzwojeń twornika.
7. Wymiana uzwojeń stojana.
8. Wymiana sprzęgła jednokierunkowego lub przekładni planetarnej.

Wnioski

W artykule zaprezentowano opis sposobu przygotowywania schematu postępowania diagnostyki podczas opracowywania algorytmu postępowania w procesie lokalizacji niesprawności w układzie rozruchowym pojazdu. Opracowanie dobrego wiarygodnego algorytmu lokalizacji uszkodzeń zależy od wiedzy i doświadczenia specjalisty lokalizującego niesprawność w tej klasie urządzeń technicznych. Kształcenie studentów w przedmiotach specjalistycznych w zakresie praktycznego postępowania diagnostyki w procesie lokalizacji uszkodzeń należy do trudnych zamierzeń dydaktycznych. Trudność ta wyraża się na między innymi w zakresie wykonywania schematów czynności postępowania praktycznego w procesie szukania niezdatności w obiekcie technicznym. Kształcenie studentów w tym zakresie należy podzielić na dwa etapy. Etap pierwszy to poznanie budowy i zasady pracy układu rozruchowego pojazdu. Etap drugi to praktyczne aspekty diagnostyczno-pomiarowe oraz badania w tym układzie. Efektem tego działania powinien być opracowany algorytm postępowania diagnostyki.

Bibliografia

1. Duer S.: *Laboratorium Elektrotechniki samochodowej Tom I*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 2009. str. 199.
2. Duer S., Duer R., Duer P.: *Tor pomiarowy dla systemu diagnozującego układ sterowania silnikiem samochodowym typu Motronic*, w monografii pod redakcją Leona Kukielki nt. „Innowacje w motoryzacji dla ochrony środowiska” Słupsk, 2009, str. 79-86.
3. Duer S., Zajkowski K., Łyskojć D., Ziatyk P.: *Badanie sprawności przepływomierza powietrza (HFM5), podstawą jakości spalin*, w monografii pod redakcją Leona Kukielki nt. „Innowacje w motoryzacji dla ochrony środowiska” Słupsk, 2010, str. 45-52.
4. Duer S., Zajkowski K., Duer R.: *Diagnostyka w układzie zasilania elektrycznego pojazdu samochodowego*. Proceedings of the „ XV Conference Computer Applications in Electrical Engineering” Institute Of Electrical Engineering And Electronics Poznan University Of Technology, Poznan, April 19-21, 2010, pp. 255-256.
5. Łyskojć D., Duer S., Zajkowski K.: *Analiza możliwości wykorzystania silników elektrycznych w napędach pojazdów samochodowych*. Proceedings of the „ XV Conference Computer Applications in Electrical Engineering”, Poznan University Of Technology, Poznan, April 19-21, 2010, pp. 251-252.
6. Duer S., Zajkowski K., Duer R.: *Wykorzystanie sztucznej sieci neuronowej w diagnostyce pojazdów samochodowych*. XXIV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, „EKOMILITARIS 2010”. 07-10.09.2010, Zakopane, Wojskowa Akademia Techniczna, str.81-89.
7. Duer S., Zajkowski K., Paś J.: *Wyznaczanie bazy wiedzy ekspertowej wspomagającej obsługiwanie urządzeń silnika pojazdu samochodowego*. 14th International Conference „Computer Systems Aided Science, Industry And Transport-TRANSCOMP 2010”. Zakopane, 6-9 XII 2010. Technical University of Radom, pp. 73. Published in Logistyka nr 6/2010.
8. Duer S.: *Artificial Neural Network-based technique for operation process control of a technical object*. Defence Science Journal, DESIDOC, Vol. 59, No. 3, May 2009, pp. 305-313.
9. Duer S.: *Laboratorium mechatroniki samochodowej*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 2014. str. 196.
10. *Materiały szkoleniowe*, Centrum Szkolenia Motoryzacji Poznań, 2007.
11. http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Automobile_starter_2.JPG
www.interklasa.pl

Programme of fault location system car boot

Abstract

Starters for automobiles are extremely reliable electrical machines. There are, however, and their disability in special situations can completely stop working. Location malfunction in the electrical machine of this type requires a lot of expertise. The article presents the diagnostic procedure in the location of faults in the starter. The result of work locating a specialist disability program is designed location of the malfunction. By the development scheme of diagnosis is the diagnostic information that is obtained from studies using conventional measuring instruments in the form of a multimeter and oscilloscope.

Key words: electric machines, DC motors, technical diagnostics, location unfitness.

Autorzy:

Prof. nadzw. dr hab. inż. **Stanisław Duer** – Politechnika Koszalińska

Dr inż. **Konrad Zajkowski** – Politechnika Koszalińska

Jacek Grzyb – Politechnika Koszalińska