

BADANIE LABORATORYJNE ROZRUSZNIKA SAMOCHODOWEGO

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.

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 (Rys. 1). Moment napędowy rozrusznika musi być większy od momentu oporowego silnika spalinowego. Zależność ta jest prawdziwa po uwzględnieniu przelżenia, dlatego aby uniknąć zbyt dużych wymiarów silników elektrycznych rozrusznika dołącza się rozrusznik do wału silnika spalinowego poprzez przekładnię. Przelżenie 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 zazębiony z wieńcem koła zamachowego przed rozruchem silnika [1-9].



Rys. 1. Rozrusznik od Fiata Punto

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.

W rozrusznikach stosowane są najczęściej silniki szeregowo, 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.

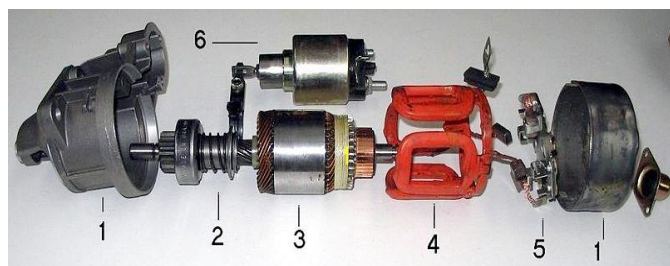
Maszyna prądu stałego, tak jak każda maszyna elektryczna wirująca, ma część nieruchomą - **stojan** i część ruchomą - **wirnik** (Rys. 1). Wirnik jest osadzony w łożyskach tak, by mógł swobodnie wirować wewnątrz stojana (Rys. 2). Na wewnętrznej powierzchni stojana zawsze znajdują się wyraźnie ukształtowane 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 nabiegunnikami. Poprawiają one rozkład indukcji magnetycznej (B) w szczelinie powietrznej, to jest w przestrzeni między nabiegunnikami a zewnętrzną powierzchnią wirnika. Linie pola magnetycznego wytworzonego przez magnesy trwałe lub elektromagnesy zamykają się w obwodzie, nazywanym obwodem magnetycznym utworzonym przez bieguny, nabiegunniki, 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.

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.

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.



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

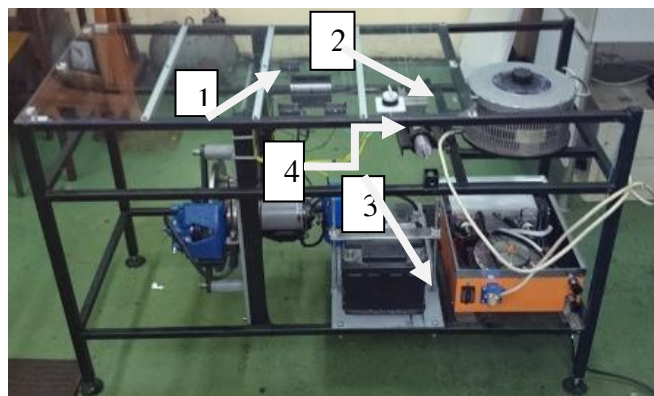
Na rysunku 2 pokazano konstrukcję rozrusznika z urządzeniem sprzęgającym o śrubowo-przesuwym zębniaku sterowanym za pomocą wyłącznika elektromagnetycznego. Zazębienie się zębniaka z wieńcem koła zamachowego odbywa się za pośrednictwem wyłącznika elektromagnetycznego. Zamknięcie przycisku rozruchowego 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 trzyma-

jące. 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.

2. BADANIE LABORATORYJNE ROZRUSZNIKA SAMOCHODOWEGO

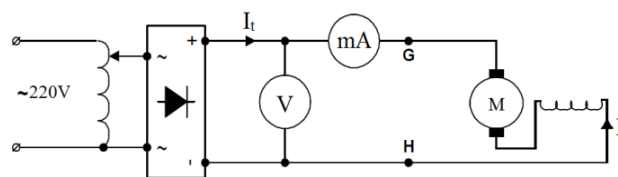
Wykonane stanowisko laboratoryjne do badania charakterystyk rozrusznika samochodowego zaprezentowano na rysunku nr 3. Pomiar wielkości elektrycznych zasilających rozrusznik są wykonywane poprzez:

- a) Pomiar napięcia na zaciskach akumulatora,
- b) pomiar napięcia na zaciskach rozrusznika,
- c) pomiar natężenia prądu zasilającego rozrusznik,
- d) pomiar temperatury rozrusznika,
- e) pomiar prędkości obrotowej.



Rys. 3. Stanowisko laboratoryjne do badania rozruszników samochodowych, gdzie: 1 - pomiarowa, 2 - autotransformator, 3 -włącznik główny, 4 - śruba mikrometryczna którą reguluje się docisk siły hamowania.

Na rysunku nr 4 przedstawiono schemat elektryczny układu pomiarowego który służy do badania rozrusznika.



Rys. 4. Schemat elektryczny układu pomiarowego rozrusznika

3. SPOSÓB POMIARÓW Z WYKORZYSTANIEM STANOWISKA LABORATORYJNEGO:

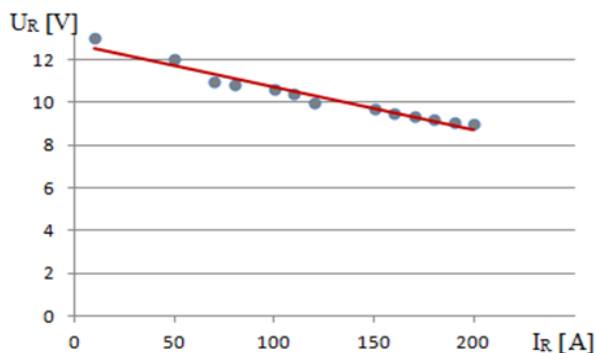
- Podłączamy autotransformator do stanowiska laboratoryjnego,
- Stanowisko podłączamy pod zasilanie sieciowe,
- Uruchamiamy włącznik główny,
- Autotransformator ustawiamy na napięcie nominalne 14,4[V],
- Odczytujemy poszczególne parametry i zapisujemy je w tabeli pomiarowej (Tab. 1).

Tab. 1. Zapis wyników badania rozrusznika

Lp.	Wyniki pomiarowe			Wyniki obliczeniowe		
	I_R [A]	U_R [V]	n [obr/min]	P_e [kW]	P_R [kW]	M_R [Nm]
1	10	13	-	-	-	0,1
2	50	12	-	-	-	0,25
3	70	11	3920	0,58	0,55	0,45
4	80	10,8	3800	0,61	0,58	0,8
5	100	10,6	3050	0,63	0,60	1,4
6	110	10,4	2760	0,65	0,62	1,8
7	120	10	2540	0,68	0,65	2,15
8	150	9,7	1840	0,72	0,68	3
9	160	9,5	1680	0,74	0,7	3,4
10	170	9,35	1520	0,73	0,69	3,7
11	180	9,2	1310	0,68	0,65	4
12	190	9,1	1215	0,65	0,62	4,3
13	200	9	1120	0,63	0,6	4,6

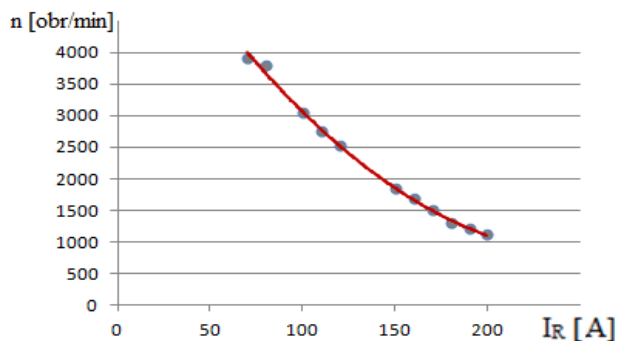
Dokonuje się pomiarów pięciu parametrów roboczych odczytywanych z przyrządów pomiarowych umieszczonych na pulpicie stanowiska. Pomiaru dokonuje się po osiągnięciu prędkości nominalnej (około 1200obr/min) przez koło zamachowe, następnie zadaniu regulowanego (od 0 do max. Mh – 10 regulowanych ustawień) momentu hamującego. Moment hamujący jest wyskalowany w dziesięciu wartościach od 0 do 10. Maksymalny moment hamujący jest określony przy całkowitym zablokowaniu koła zamachowego. Dla każdego z 10 wartości momentu hamującego dokonuje się pomiaru wielkości elektrycznych zasilających rozrusznik. Wyniki pomiarów zapisujemy w tabeli pomiarowej. Badania dokonano zgodnie z opracowaną instrukcją pomiarową, uzyskane wyniki zamieszczono w tabeli nr 1.

Pierwszą badaną wielkością jest wyznaczenie zależności napięcia rozruchowego w funkcji prądu rozruchowego, wykres jej przedstawiono na rysunku nr 5.



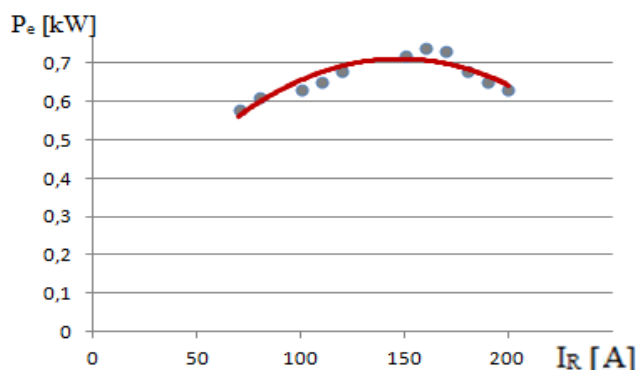
Rys. 5. Charakterystyka zależności napięcia od prądu rozruchu, gdzie: n - prędkość obrotowa wyrażana w obrotach na minutę, I_R - prąd rozruchowy [A].

Drugą badaną zależnością jest wielkość prędkości obrotowej koła zamachowego w funkcji prądu rozruchowego, wykres jej przedstawiono na rysunku nr 6.



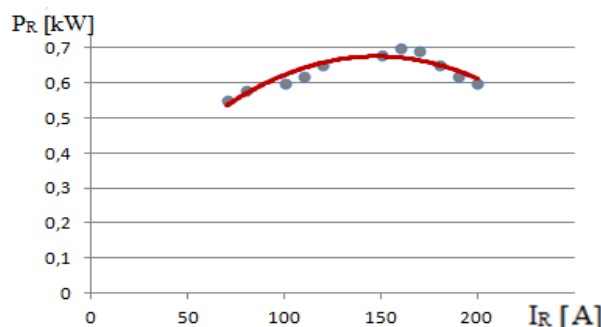
Rys. 6. Charakterystyka przedstawiająca zależność prędkości obrotowej od prądu rozruchu, gdzie: prędkość obrotowa wyrażana w obrotach na minutę, I_R - prąd rozruchowy [A].

Kolejną badaną zależnością jest wielkość mocy elektromagnetycznej pobieranej przez rozrusznik w funkcji prądu rozruchowego, wykres jej przedstawiono na rysunku nr 7.



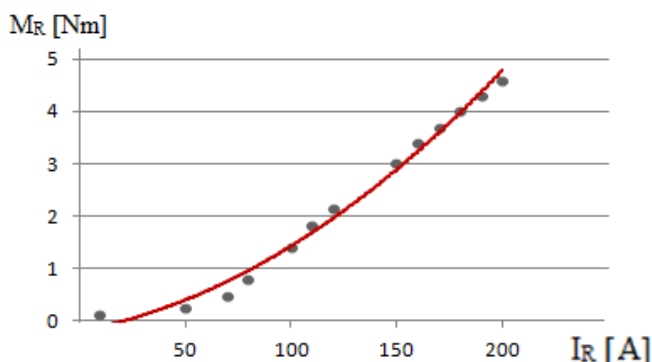
Rys. 7. Charakterystyka zależności mocy elektromagnetycznej od prądu rozruchowego, gdzie: P_e - moc elektromagnetyczna wyrażana w kilowatach, I_R - prąd rozruchu [A].

Kolejną badaną zależnością jest wielkość mocy na wale w funkcji prądu rozruchowego, wykres jej przedstawiono na rysunku nr 8.



Rys. 8. Charakterystyka zależności mocy na wale od prądu rozruchu, gdzie: I_R - prąd rozruchu wyrażany w Amperach, P_R - moc na wale w kilowatach.

Kolejną badaną wielkością jest moment rozruchowy rozrusznika w funkcji prądu rozruchowego, wykres jej przedstawiono na rysunku nr 9.



Rys. 9. Zależność momentu rozruchowego w stosunku do prądu rozruchu, gdzie: M_R - moment rozruchowy wyrażony w niutonometrach, I_R - prąd rozruchu [A].

W wyniku szeregu badań wykonanych na stanowisku laboratoryjnym do badania rozruszników samochodowych zaobserwowano zmianę zachowania jego pracy w zależności od tego jaki prąd został na niego podawany. Po wykonaniu podstawowych pomiarów oraz obliczeń można było dokonać szkicu tabeli pomiarowej w tym przypadku oznaczonej jako Tabela 2 dzięki której w późniejszym etapie zostały wyznaczone charakterystyki pracy rozrusznika w różnych warunkach pracy.

PODSUMOWANIE

Podczas zwiększania wartości prądu który dostarczamy do rozruchu możemy zaobserwować praktycznie liniowy spadek napięcia rozruchowego. Mamy tutaj do czynienia ze spadkiem mocy w trakcie pracy urządzenia. Rozrusznik jest urządzeniem przeznaczonym tylko do krótkiej pracy czyli tylko do uruchomienia pojazdu ponieważ wtedy pobiera największą wartość prądu

Prędkość obrotowa bardzo mocno zależy od tego jaką wartość prądu rozruchowego dostarczymy. Wraz ze wzrostem wartości prądu ilość obrotów na minutę zaczyna spadać, dzieje się tak dlatego że zwiększa się opór w rozruszniku. Powodem takiej sytuacji jest wzrost momentu. Rozrusznik nie powinien pracować bez obciążenia ponieważ może to skutkować poważną awarią.

Moc elektromagnetyczna jak również moc znajdująca się na wale posiadają zbliżony przebieg ponieważ moc generowana na wale to moc elektromagnetyczna rozrusznika która jest pomniejszona o takie wartości jak straty materiałowe oraz mechaniczne, można więc śmiało stwierdzić że wnioski płynące z analizy tych charakterystyk są takie same o czym świadczą przebiegi w kształcie paraboli.

Wartość momentu obrotowego wzrasta wraz z zwiększaniem się prądu rozruchowego dzieje się tak dlatego że kiedy działamy na układ z większą siłą ten postanawia stawiać „opór” w związku z czym zwiększa się nam moment obrotowy co zarazem powoduje spadek prędkości obrotowej

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., 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.
4. Duer S., Zajkowski K., Duer R.: *Wykorzystanie sztucznej sieci neuronowej w diagnostyce pojazdów samochodowych*. XXIV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, „EKOMLITARIS 2010”. 07-10.09.2010, Zakopane, Wojskowa Akademia Techniczna, str.81-89.
5. Duer S., Zajkowski K., Paś J.: *Wyznaczanie bazy wiedzy ekspertowej wspomagającej obsługę 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.
6. 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.
7. Duer S.: *Laboratorium mechatroniki samochodowej*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 2014. str. 196.
8. *Materiały szkoleniowe*, Centrum Szkolenia Motoryzacji Poznań, 2007.
9. http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Automobile_starter_2.JPG
www.interklasa.pl

Testing laboratory starter motor

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.

Autorzy:

Prof. nadzw. dr hab. inż. **Stanisław DUER**, dr inż. **Konrad ZAJKOWSKI** - Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Zakład Zastosowań Elektroniki i Elektrotechniki, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, e-mail: stanislaw.duer@tu.koszalin.pl; konrad.zajkowski@tu.koszalin.pl;