

Mieczysław PLICH, Krzysztof STYPUŁKOWSKI

ROZSZERZENIE ZAKRESU BADAŃ ALTERNATORA O DIAGNOSTYKĘ TERMOWIZYJNĄ NA STANOWISKU LABORATORYJNYM

Streszczenie

W artykule przedstawiono aktualne możliwości pomiarowe istniejącego stanowiska laboratoryjnego do badań charakterystyk alternatorów wraz z symulacją usterek w obwodzie zasilania. Modułowa budowa tego stanowiska umożliwia rozszerzenie jego funkcji pomiarowych i badawczych o diagnostykę termowizyjną. Takie rozszerzenie zakresu badań alternatora umożliwia również wzbogacenie programu dydaktycznego prowadzonych ćwiczeń laboratoryjnych. Zaprezentowano również przykładowe termogramy wykonane na tym stanowisku.

WSTĘP

W artykule zaprezentowano strukturę zmodernizowanego stanowiska laboratoryjnego do badań szeregu charakterystyk alternatorów wraz z symulacją usterek w obwodzie zasilania uzupełniona o badania termowizyjne.

Wprowadzenie do laboratorium osiągnięć komputerowej techniki pomiarowej umożliwiło realizację wielu programów naukowo-badawczych a także udoskonalenie procesów dydaktycznych szeregu ćwiczeń laboratoryjnych. Widać to na przykładzie opracowanych prac autorów [5] i wdrażanych do Laboratorium Elektrotechniki Samochodowej kolejnych generacji wspomaganych komputerowo stanowisk.

Opracowana obecnie koncepcja nowej struktury wielofunkcyjnego stanowiska laboratoryjnego wchodzi w zakres planu budowy nowoczesnego laboratorium w Zakładzie Systemów Informatycznych i Mechatronicznych w Transporcie na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej.

W stanowisku tym układ i strukturę poszczególnych bloków funkcjonalnych wykonano w systemie otwartym, co umożliwiło przeprowadzenie niezbędnych modyfikacji programowych oraz dalszą jego rozbudowę.

Badania termowizyjne stają się coraz powszechniejszym narzędziem w rękach inżynierów, zajmujących się badaniami, utrzymaniem i eksploatacją urządzeń. Wykorzystanie tej technologii pomiarowej znacząco rozszerza możliwości pomiarowo-badawcze rozbudowanego stanowiska.

1. OBIEKT BADAŃ - ALTERNATOR

Alternator będący prądnicą synchroniczną prądu przemiennego eliminuje trudności prądnic prądu stałego związanych ze zjawiskiem komutacji co pozwoliło zwiększyć jego maksymalną prędkość obrotową do 16000 obr./min. Umożliwia to zwiększenie przekładni mechanicznej między silnikiem spalinowym a prądnicą do takiej wartości, przy której podczas biegu jałowego silnika prądnica może oddawać około 50% mocy znamionowej [1]. Alternator jest zaprojektowany tak, aby już przy prędkościach biegu jałowego silnika mogły być z niego zasilane odbiorniki i doładowywany akumulator.

W instalacji elektrycznej mogą wystąpić symptomy niezdatności, gdy w obwodzie zasilania wystąpią takie usterek jak na przykład: uszkodzony regulator napięcia, rozładowany akumulator czy też usterek samego alternatora np. przerwy lub zwarcia w diodach prostowniczych czy też uzwojeniach twornika lub wzbudzenia.

Dla opracowanego modelu alternatora przeprowadzono przykładowe symulacje uszkodzeń na obiekcie rzeczywistym.

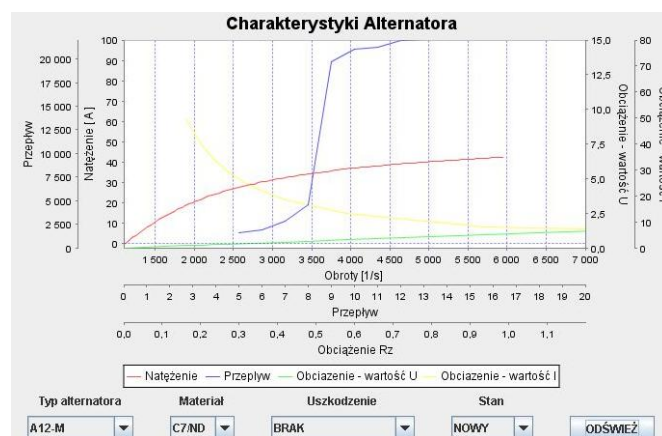
Przeprowadzenie tego rodzaju badań wymagało przygotowania obiektu i wykonania modyfikacji w uniwersalnym stanowisku aby umożliwić montowanie w nim różnych typów alternatorów oraz prowadzenie prób w całym zakresie zmian prędkości obrotowej dla różnych stanów obciążenia. Okazuje się, że jest możliwa analiza pracy układu zasilania elektrycznego pojazdu przy występowaniu częściowych uszkodzeń w alternatorze gdzie zmiany napięcia w układzie zasilania znacząco wpływają na pracę innych układów np. wtrysku paliwa czy też systemów kontroli trakcji w pojeździe [1].

Wykorzystano tu program dla wzorcowej charakterystyki wydajności prądowej przy stałym napięciu wyjściowym i symulacji różnych rodzajów uszkodzeń. Przede wszystkim przy symulacji przerw i zwarć w poszczególnych elementach prostownika (diodach) oraz w uzwojeniach fazowych i wzbudzenia prądnicy.

Dla wzorcowej charakterystyki wydajności prądowej $I=f(n)$ i określonych typów alternatorów wykonano obliczenia [1]:

- przekrojów i drogi strumienia,
- spadków napięć magnetycznych i strumienia rozproszenia,
- napięć i prądów przy biegu jałowym oraz spadków napięć w uzwojeniach,
- charakterystyk eksploatacyjnych dla poszczególnych przypadków uszkodzenia.

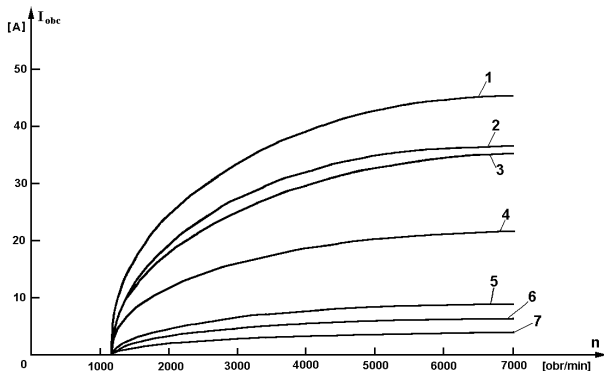
Przykładowe przebiegi charakterystyk badanego alternatora zilustrowano na rys. 1.



Rys. 1. Podstawowe charakterystyki alternatora

Źródło: [1]

Charakterystyki eksploatacyjne poszczególnych przypadków uszkodzeń opracowane [1] w programie symulacyjnym przedstawiono na rys. 2.

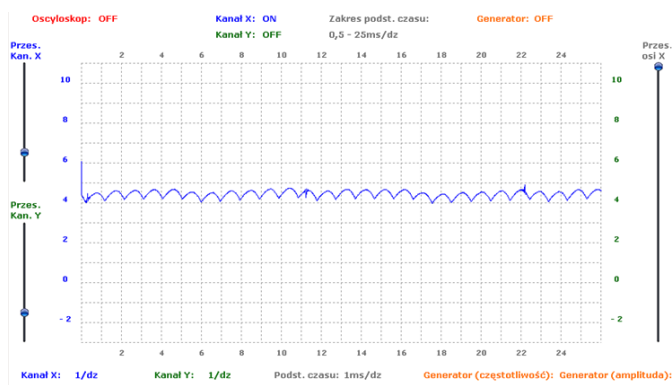


Rys. 2. Charakterystyki prądowo-prędkościowe dla badanego alternatora

1 – alternator sprawny, 2 – zwarcie w jednej diodzie, 3 – przerwa w jednej diodzie, 4 – przerwa w uzwojeniu fazowym, 5 – zwarcie międzyfazowe, 6 – zwarcie obu diod w jednej fazie, 7 – zwarcie diody w dwóch fazach

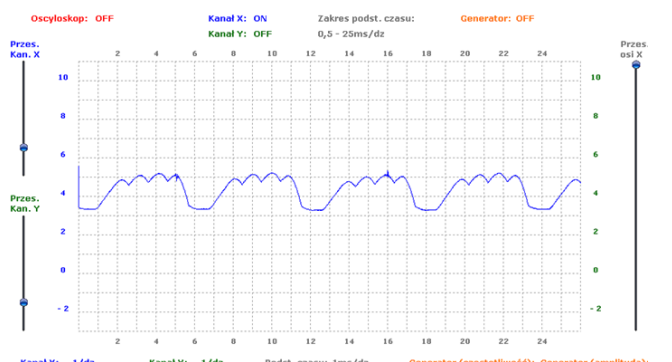
Źródło: [1]

Kolejne rys. 3 i 4 przedstawiają ilustrację graficzną wybranych wyników badań.



Rys. 3. Charakterystyka napięcia wyjściowego alternatora (bez uszkodzeń)

Źródło: [1]



Rys. 4. Przykładowa charakterystyka napięcia wyjściowego alternatora przy niesprawnej diodzie ujemnej D3

Źródło: [1]

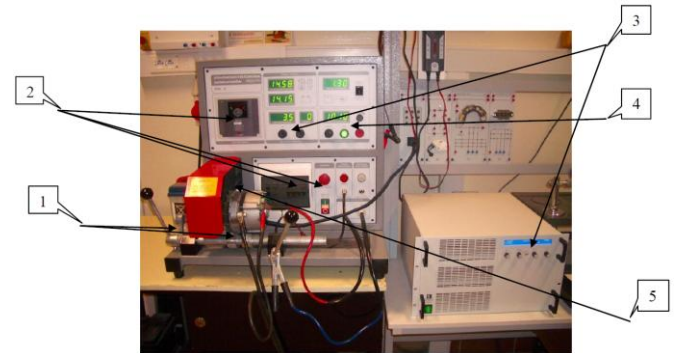
Procedury badawcze rozszerzono tu o badanie wpływu temperatury pracy obiektu w funkcji zmian obciążenia i prędkości obrotowej

alternatora co zilustrowano szczegółowo w rozdziale trzecim niniejszego artykułu.

2. OPIS STANOWISKA LABORATORYJNEGO

Opisano tu budowę i działanie istniejącego wielofunkcyjnego stanowiska zrealizowanego na bazie stanowiska STA-2 produkcji PPHU „Autoelektronika” s.c. po modernizacji, umożliwiającego badanie różnych typów alternatorów i regulatorów napięcia poza pojazdem w warunkach laboratoryjnych [4].

Widok ogólny tego stanowiska do badań alternatorów i regulatorów napięcia przedstawiono na fot. 1.



Fot. 1. Stanowisko do badania alternatorów

1 – zespół mocowania alternatora, 2 – zespół zasilania stanowiska, 3 – zespół obciążenia alternatora, 4 – zespół sterowania napędem, 5 – zespół przeniesienia napędu.

Źródło: oprac. własne.

Zespół mocowania alternatora składa się z mechanizmu szybkiego montażu z regulacją naciągu paska przy pomocy śruby rzymskiej. Mechanizm ten był jednym z modernizowanych elementów modyfikowanych, z uwagi różne sposoby mocowania alternatorów i ich średnice oraz tendencję do wpadania paska napędowego w rezonans przy określonych prędkościach obrotowych.

Zespół ten przymocowany do dolnej przedniej części ramy stanowiska składa się z przesuwnej wałki zakończzonej dźwignią, obrotu i elementów mocujących alternator oraz mechanizmu napinania paska ze śrubą rzymską. Jedno z dwóch jarzm mocujących wałki jest blokowane, dzięki czemu uzyskuje się ustalenie położenia alternatora i wstępne napięcie paska.

W skład zespołu zasilania stanowiska wchodzi falownik kontrolujący napięcie i natężenie prądu płynącego do silnika, bezpieczniki wraz z wyłącznikiem różnicowoprądowym, przyciski sterujące oraz wyłącznik bezpieczeństwa.

Zespół obciążenia alternatora pozwala na regulację prądu obciążenia w istniejącym stanowisku w zakresie od 10A do 150A, skokowo co 10A. Natomiast obecnie płyną regulacje prądu obciążenia realizuje tu wdrożony dodatkowy blok niezależnego aktywnego obciążalnika typu EL 9000A, którego podstawowe parametry i zakres regulacji wymieniono poniżej:

- napięcie: 0 – 80V DC, rozdzielczość 100mV,
- prąd 0 – 600A, rozdzielczość 100mA,
- moc 0 – 7200W, rozdzielczość 1W,
- rezystancja 0 – 25 Ω, rozdzielczość 10mΩ,
- sterowanie przez USB, RS232.

Należy nadmienić że w skład układu zasilania wchodzi również akumulator rozruchowy zapewniający rzeczywiste warunki pracy alternatora i regulatora napięcia w tym obwodzie.

Stanowisko to posiada możliwość sprawdzania alternatorów bez wbudowanego regulatora napięcia gdzie zastosowano dwa typy zewnętrznych regulatorów napięcia (dodatni i ujemny).

- Zespół sterowania napędem składa się z:
- włącznika i wyłącznika sterowania silnikiem elektrycznym napędu alternatora,
 - przełącznika kierunkowego obrotów,
 - potencjometru regulacji prędkości obrotowej w zakresie 0-6000 obr/min która jest wyświetlana na cyfrowym wyświetlaczu.
- W skład zespołu przeniesienia napędu wchodzi:
- koło pasowe realizujące przełożenie 2,5:1, co zapewnia uzyskanie maksymalnych prędkości obrotowych przez wirnik alternatora. Koło to jest przystosowane do pracy zarówno z paskiem klinowym jak i paskiem wielorowkowym (typu micro-V),
 - pasek napędowy klinowy lub wielorowkowy.

W skład dodatkowego zespołu symulacji usterek alternatorów wchodzi:

- cztery alternatory o wykonaniu specjalnym z wyprowadzeniami zrealizowanymi w ten sposób aby był możliwa ingerencja we wszystkie elementy obwodu elektrycznego alternatora oraz pomiar prądów i napięć na poszczególnych elementach,
- panelowy zespół symulacji usterek z możliwością zadania wybranego rodzaju usterek np. zwarcie i rozwarcie w obwodach uzwojeń wzbudzenia lub twornika czy też wybranej diody,
- dodatkowy osprzęt w postaci tablicy łączeniowej,
- wykonane w postaci panelowej wewnętrzne i zewnętrzne regulatory napięcia (tzw. typu dodatniego i ujemnego) przygotowane w sposób umożliwiający dołączenie dowolnego alternatora,
- wykonane w postaci panelowej wewnętrzne i zewnętrzne prostowniki sześć i dziewięć diodowe dla wybranego obcowzbudnego lub samowzbudnego alternatora.

3. DIAGNOSTYKA TERMOWIZYJNA ALTERNATORA

Pomiary termowizyjne są metodą badawczą umożliwiającą śledzenie różnych procesów, których przebieg wiąże się ze zmianami emisyjności czy temperatury w czasie albo ze zróżnicowaniem obrazów termicznych poszczególnych obiektów [3].

Na podstawie termogramu można ocenić między innymi [6]:

- jakość chłodzenia podzespołów czy urządzeń,
- prawidłowość doboru podzespołów w układzie,
- lokalizację uszkodzeń podzespołów,
- występowanie i lokalizację nieprawidłowości w połączeniach,
- moc strat wydzieloną np. badanego podzespołu czy urządzenia.

Badania termograficzne wykonane na stanowisku laboratoryjnym pozwalają na obserwację w jaki sposób poszczególne materiały konstrukcyjne alternatora absorbują i oddają energię ciepłą. Możliwe jest obserwowanie tego procesu dla różnych poziomów obciążenia prądowego i prędkości obrotowej alternatora przy symulacji zbliżonych do rzeczywistych warunków pracy.

Zmodernizowany zespół mocowania stanowiska pozwala na montaż różnego typu alternatorów co umożliwia prowadzenie porównawczych badań termowizyjnych.

Wykorzystywana w badaniach kamera termowizyjna jest kamerą przenośną z możliwością mocowania jej na statywie. Statyw zapewnia stabilne mocowanie i ustawienie kamery, co pozwala na uzyskanie powtarzalnego obszaru pomiarowego niezależnie od badanego typu alternatora.

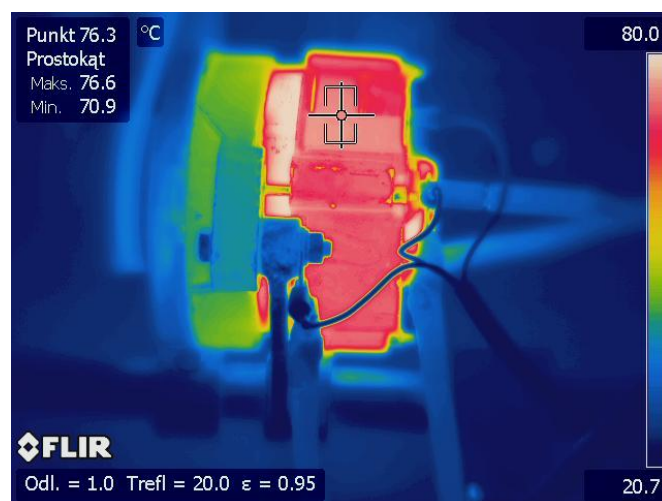
Do badań została użyta kamera z detektorem niechłodzonym model SC 660 firmy FLIR wyróżniająca się najwyższą czułością w swojej klasie. Wybrane parametry [2] kamery termowizyjnej obrazujące możliwości pomiarowe wymieniono poniżej:

- typ detektora: Matryca niechłodzona (FPA) mikrobolometryczna, 640 x 480 pikseli,
- pasmo działania detektora: 7,5 do 13 μm ,

- pole widzenia: ogniskowa 24° x 18° / 0,3 m,
- rozdzielczość przestrzenna 0,65 mrad,
- czułość termiczna: 0,030°C przy 30°C,
- częstotliwość obrazu: 30 Hz bez przepływu 60/120Hz przy zredukowanej rozdzielczości,
- zdalne sterowanie kamerą termowizyjną z komputera PC,
- wbudowany aparat cyfrowy kolor 3,2 Mpikseli z autofocus,
- optymalizacja kontrastu termalnego oparta na filtrach cyfrowych,
- oprogramowanie do analizy i zapisu obrazów termowizyjnych w czasie rzeczywistym ThermoCAM Researcher.

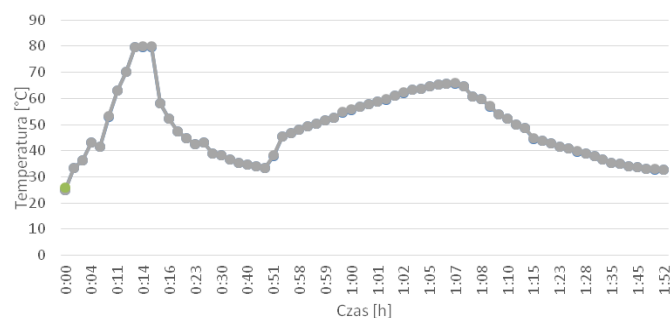
Termogramy wykonywano monitorując zmianę temperatury pozornej obudowy alternatora w wyznaczonych obszarach w warunkach kiedy temperatura powietrza w laboratorium wynosiła 20°C. W ustawieniach kamery przyjęto wilgotność względną 50%. Kamerę ustawiono w odległości 1m od badanego obiektu. Na obudowie alternatora w wybranych miejscach naklejono taśmę elektryczną czarną o emisyjności 0,95.

Rys. 5. przedstawia przykładowy termogram alternatora, dla którego zarejestrowano maksymalną temperaturę podczas badania wynoszącą 76,6°C w zdefiniowanym narzędziem kamery tj. punkt i prostokąt obszarze badań.



Rys. 5. Rozkład temperatury pozornej na obudowie alternatora
Źródło: oprac. własne.

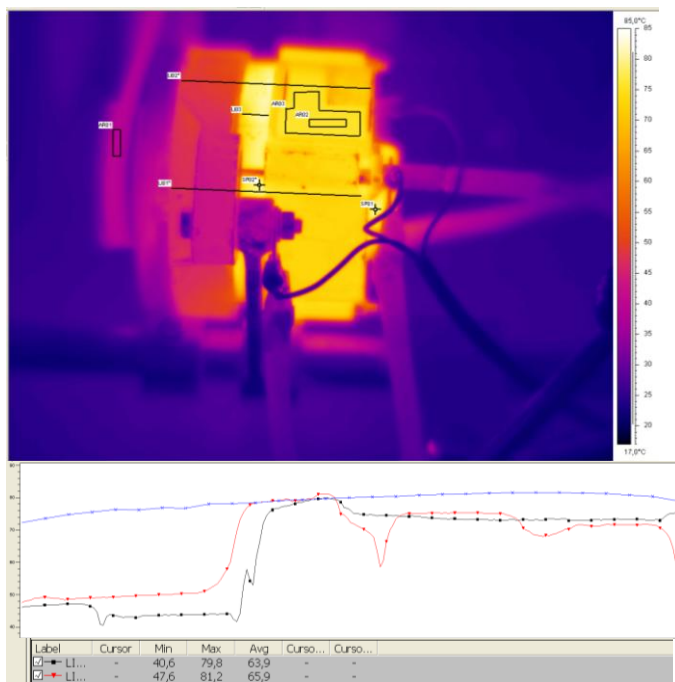
Na rys. 6. przedstawiono wyniki badań alternatora o wydajności prądowej 40A dla , którego zmianę temperatury pozornej monitorowano na powierzchni zdefiniowanej obszarem pomiarowym zaznaczonym na rys. 5.



Rys. 6. Wykres zmian temperatury pozornej dla zdefiniowanego obszaru obudowy alternatora
Źródło: oprac. własne.

Badany alternator w czasie 66 minut był poddawany obciążeniu w zakresie od 5 do 40 A, przy regulowanej prędkości obrotowej w zakresie od 800 do 2500 obr/min. W trakcie badań alternator rozgrzewał się w monitorowanym obszarze do temperatury 80°C gdzie jego proces wychłodzenia obserwowano przez 45 minut.

Na rys. 7. przedstawiono termogram wybranego alternatora z zaznaczonymi obszarami, punktami i liniami pomiarowymi. Analizę tą przeprowadzono z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania ThermoCAM Researcher. Jest o szczególnie istotne kiedy w trakcie pomiaru zależy nam na tym aby obserwować profile temperaturowe w konkretnym obszarze czy też elemencie badanego urządzenia.



Rys. 7. Termogram analizowany za pomocą specjalistycznego oprogramowania ThermoCAM Researcher
Źródło: oprac. własne.

W zmodernizowanym zespole przeniesienia napędu ułatwiona jest obserwacja rozkładów temperatury pozornej w układzie koło pasowe - pasek napędowy.

Dodatkowe możliwości pomiarowo badawcze uzyskuje się poprzez zmianę obiektywu kamery. W skład zestawu badawczego wchodzi trzy obiektywy FLIR SYSTEMS o ogniskowej 19, 40, oraz 76,5 mm, dobierając odpowiedni obiektyw uzyskujemy możliwość obserwacji rozkładu temperatur na powierzchni alternatora lub tylko dla wybranych jego podzespołów.

PODSUMOWANIE

Zaistniała potrzeba modernizacji i rozszerzenia funkcji pomiarowych istniejącego stanowiska laboratoryjnego do badania układu zasilania elektrycznego pojazdów, aby poza bieżącą realizacją potrzeb badawczych umożliwić wdrożenie nowych programów rozszerzających zakres ćwiczeń dydaktycznych.

Modułowa otwarta budowa tego stanowiska laboratoryjnego umożliwia jego rozbudowę i modernizację gdzie poza podstawowymi badaniami charakterystyk oraz symulacją usterek układu zasilania możliwe jest wprowadzenie dodatkowych badań termowizyjnych alternatora.

Pomiary termowizyjne stanowią metodę uzupełniającą do innych metod diagnostycznych, są one szczególnie przydatne gdy

awarie urządzeń występują z powodu ukrytego defektu lub z powodu źle zaprojektowanego chłodzenia. Pierwsza z przyczyn awarii najczęściej ujawnia się stosunkowo szybko, natomiast druga może ujawnić się dopiero w sytuacji zmiany warunków pracy urządzenia, np. w sytuacji pogorszenia warunków chłodzenia.

Stosowanie pomiarów termowizyjnych jest szczególnie przydatne przy badaniach porównawczych [3], gdy nie są istotne wartości temperatury elementów, tylko różnice temperatur w wybranych punktach. W takim przypadku można porównać termogramy układu pracującego poprawnie i układu badanego co jest szczególnie przydatne w badaniach urządzeń elektrycznego wyposażenia pojazdów.

BIBLIOGRAFIA

1. Dziubiński M., Plich M., Modelowanie i symulacja stanów niezawodności układu zasilania elektrycznego pojazdu. XL Szkoła Niezawodności, Szczyrk, 2012.
2. Flir @ SC660 R&D Infrared Camera System: http://www.flir.com/uploadedFiles/Thermography_APAC/Product_s/Product_Literture/SC660_Datasheet_APAC.pdf. (dostęp z dnia 10.09.2014).
3. Minkina W., *Pomiary termowizyjne – Przyrządy i metody*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2004.
4. Opis techniczny. Stanowisko testowania alternatorów. Poznań 2012.
5. Plich Mieczysław., Stypułkowski Krzysztof., *Stanowiska laboratoryjne rozszerzające zakres ćwiczeń dydaktycznych elektrycznego wyposażenia pojazdów*. Logistyka 2014, nr 6.
6. Więcek B., De Mey G., *Termowizja w podczerwieni. Podstawy i zastosowania*, Warszawa, Wydawnictwo PAK, 2011.

EXTENDING THE SCOPE OF RESEARCH OF THERMAL IMAGING DIAGNOSTICS OF AN ALTERNATOR ON A LABORATORY STAND

Abstract

The paper presents current ability of measurement of the existing laboratory stand using for testing the characteristics of alternators and for simulating faults in a power supply circuit. The modular design of the stand allows to extend its measurement functionality and research of thermal imaging diagnostics. This extension of the scope of research an alternator also allows to enrich of the teaching program conducted in the laboratory. The examples of thermal images were taken on presented laboratory stand.

Autorzy:

dr inż. **Mieczysław Plich** – Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Zakład Systemów Informatycznych i Mechatronicznych w Transporcie, mplich@wt.pw.edu.pl.

dr inż. **Krzysztof Stypułkowski** – Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Zakład Systemów Informatycznych i Mechatronicznych w Transporcie, kst@wt.pw.edu.pl.