

KONCEPCJA DIAGNOSTYKI WYPOSAŻENIA ELEKTRYCZNEGO SAMOCHODU

CONCEPTION OF CAR ELECTRIC EQUIPMENT DIAGNOSTICS

W artykule przedstawiono koncepcje diagnostyki funkcjonalnej alternatora, wykorzystującej procedury diagnostyczne. Opracowany układ badawczy umożliwia symulacje uszkodzeń i weryfikację przydatności poszczególnych sygnałów do celów diagnostycznych.

Słowa kluczowe: diagnostyka funkcjonalna, procedury diagnostyczne, wyposażenie elektryczne.

The conception of alternator functional diagnostics, making use of diagnostic procedures, is presented in the paper. The worked out test unit makes it possible to simulate faults and verify the usability of particular signals in diagnostics.

Keywords: functional diagnostics, diagnostics procedures, electric equipment.

1. Wprowadzenie

Stan techniczny danego obiektu można oceniać dokonując demontażu i pomiarów jego części lub bez demontażu, wnioskując o zużyciu lub uszkodzeniu na podstawie analizy parametrów elektrycznych. Kwalifikację części przez pomiar ich zużycia stosuje się w niektórych procesach naprawczych (alternator, rozrusznik) [1,2] przy weryfikacji części pochodzących z rozebranych już obiektów. W procesie eksploatacji pojazdu z reguły wykorzystuje się metodę wnioskowania na podstawie objawów. Decydują o tym dwa czynniki: po pierwsze demontaż układu elektrycznego i pomiary jego części trwałyby zbyt długo i byłyby bardzo pracochłonne. Po drugie każda rozbiórka i ponowny montaż powodują wydłużenie czasu naprawy danego urządzenia elektrycznego pojazdu.

Badania diagnostyczne są odrębną grupą badań, mającą na celu ocenę stanu technicznego pojazdu i jego zespołów elektrycznych bez ich demontażu lub podczas częściowego demontażu, nie naruszając przy tym zasadniczego funkcjonowania ocenianego obiektu.

Istota diagnostyki polega na wykorzystaniu dwóch charakterystycznych cech urządzeń technicznych:

- każde urządzenie ma zdeterminowaną strukturę, zależną od jego właściwości użytkowych, którą stanowi zbiór tworzących je elementów konstrukcyjnych, uporządkowanych w taki sposób, by urządzenie to wypełniało określoną funkcję.
- każde urządzenie techniczne podczas funkcjonowania wykonuje określone procesy, nazywane procesami wyjściowymi.

1. Introduction

The technical condition of a given object can be evaluated by disassembling it and measuring its parts, or by assessing its wear and faults on the basis of electric parameters analysis without any disassembling. The classification of parts on the grounds of their wear assessment is used in some repair processes (alternator, starter) [1, 2] together with the verification of parts coming from objects already taken to pieces. In vehicle operation process, the symptomatic method of evaluation is widely used. Two factors are decisive here: firstly, electric system disassembly and its parts measurement would be time and work consuming. Secondly, disassembling and again assembling make the repair time of vehicle electric apparatus longer.

Diagnostic tests make a separate group of tests whose aim is assess vehicle and its electric units technical condition without any disassembly or without only partial disassembly. Thus, they do not interfere with the object under examination regular functioning.

The diagnostics chief point lies in the use of two characteristic features of technical devices:

- each device has a determined structure, dependent on its usage properties, being a collection of its construction elements sequenced in such a way that the device can perform a particular function,
- each technical device performs particular processes, called output processes, during its functioning.

Struktura wyposażenia elektrycznego pojazdu determinuje więc jego stan techniczny, a parametry struktury są parametrami stanu technicznego.

Procesy wyjściowe zachodzące podczas pracy urządzeń elektrycznych można podzielić na robocze - wynikające bezpośrednio z realizacji funkcji urządzenia oraz towarzyszące, powstające jako wtórny efekt procesów roboczych. Procesy wyjściowe mogą być scharakteryzowane ilościowo zbiorem parametrów wyjściowych.

Parametr wyjściowy może zostać uznany za parametr diagnostyczny, jeżeli spełnia następujące warunki:

- jednoznaczności,
- każdej zmianie wartości parametru struktury odpowiada zdeterminowana zmiana wartości parametru wyjściowego,
- dostatecznej rozpiętości,
- oczekiwanej zmianie parametrów struktury odpowiada możliwie duży zakres zmian parametru wyjściowego,
- dostępności,
- zmiany parametru wyjściowego muszą być łatwo mierzalne.

Identyfikacja stanu technicznego obiektu wymaga podjęcia decyzji czy dane urządzenie elektryczne nadaje się do dalszej eksploatacji czy też wymaga regulacji lub naprawy. W przypadku wykrycia niesprawności identyfikacja powinna umożliwić jej lokalizację, tzn. dokonać stwierdzenia, który z elementów obiektu jest niesprawny.

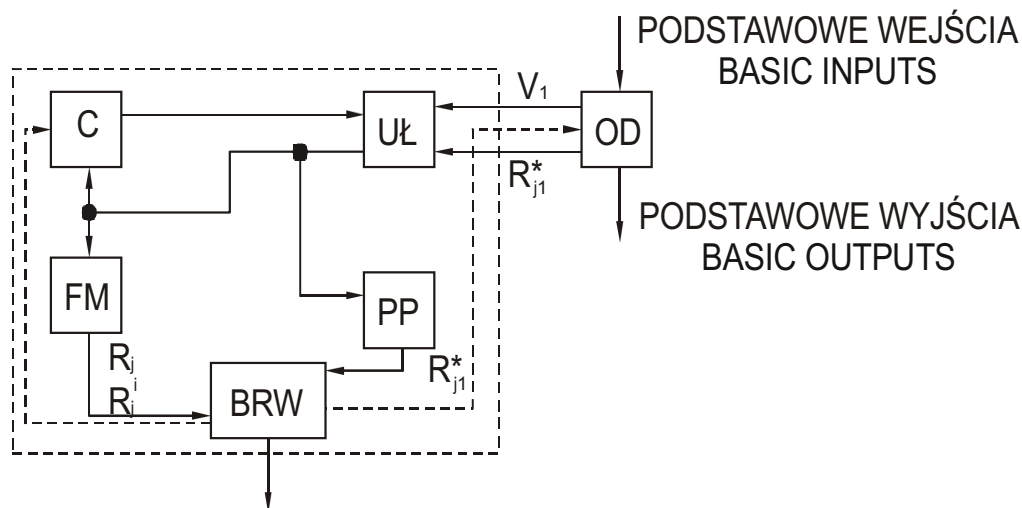
Thus, the structure of vehicle electric equipment determines vehicle technical condition, and structure parameters are technical condition parameters.

Output processes observed in electric apparatus operation can be divided into working processes, coming as a result of apparatus functioning, and concurrent ones, coming as a secondary effect of working processes. Output processes can be quantitatively characterized as a collection of output parameters.

An output parameter can be recognized as a diagnostic parameter if it satisfies the following condition:

- uniqueness,
- each change of structure parameter value corresponds to the determined change of output parameter value,
- sufficient span,
- the expected change of structure parameters corresponds to the possibly wide range of output parameter changes,
- availability,
- output parameters changes should be measured easily.

The object technical condition should be identified and a decision if a given electric apparatus can still be used or needs control or repair should be made. In case of inefficiency, identification should make its location possible, that is it should qualify the object element as inefficient.



Rys. 1. Schemat blokowy funkcjonalnej diagnostyki: C- blok sterowania, OD- obiekt badań diagnostycznych, FM- fizyczny model obiektu badań diagnostycznych, UŁ- urządzenia łączności, BRW- blok rozszyfrowywania wyników, PP- przyrząd pomiarowy, V_1 - sygnały sterujące, R_j - sygnały wejściowe, R_{j1}^* - sygnały obiektu niesprawności

Fig.1 Functional diagnostics block diagram: C- control block, OD-diagnostic tests object, FM-physical model of diagnostic tests object, UŁ-communication devices, BRW-results unscrambling block, PP-measuring instrument, V_1 -control signals, R_j -input signals, R_{j1}^* -unserviceable object signals

Parametry diagnostyczne można podzielić na parametry funkcjonalne i towarzyszące.

Istotnym celem prób i badań przy opracowywaniu metody diagnostyki funkcjonalnej jest wyszukanie w sygnałach diagnostycznych takich parametrów, które z wystarczającą dla praktyki dokładnością pozwolą określić stan sprawności alternatora.

W diagnostyce funkcjonalnej powstające sygnały robocze są wykorzystywane jednocześnie jako sygnały diagnostyczne. Schemat systemu diagnostyki funkcjonalnej przedstawiono na rysunku 1.

2. Zestaw diagnostyki do analizy sygnałów i identyfikacji uszkodzenia

Zestaw diagnostyczny opracowany przez autora [1], nazywany też zestawem komputerowym, jest przeznaczony do analizy sygnałów diagnostycznych otrzymywanych z alternatora oraz identyfikacji rodzaju uszkodzenia po porównaniu odebranych sygnałów z wzorcowymi wartościami tych sygnałów zgromadzonych w pamięci komputera (banku danych). Schemat do badania sygnałów diagnostycznych alternatora przedstawia rysunek 2.

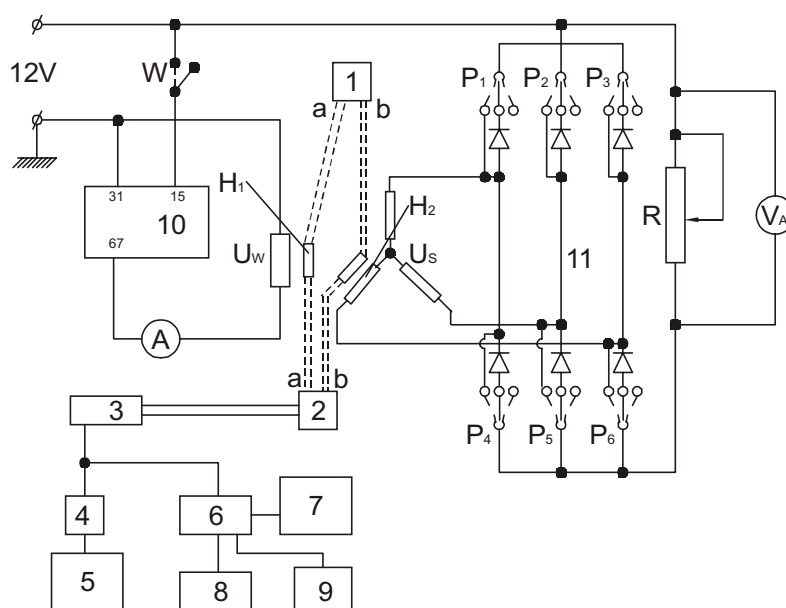
Diagnostic parameters can be divided into functional parameters and concurrent ones.

The crucial purpose of tests and research aiming at developing functional diagnostic method is tracing in diagnostic signals such parameters which would determine alternator efficiency condition with sufficient precision. In functional diagnostics, working signals are also used as diagnostic signals. The diagram of functional diagnostic system has been presented in fig.1.

2. Diagnostic set for signal analysis and fault identification

The diagnostic set worked out by the author 1, also called the computer set, is meant for the analysis of diagnostic signals coming from the alternator and the identification of fault type. This is done after the received signals and model values of those signals, stored in the computer memory (data bank), have been compared.

The scheme for testing alternator diagnostic signals is presented in fig.2.

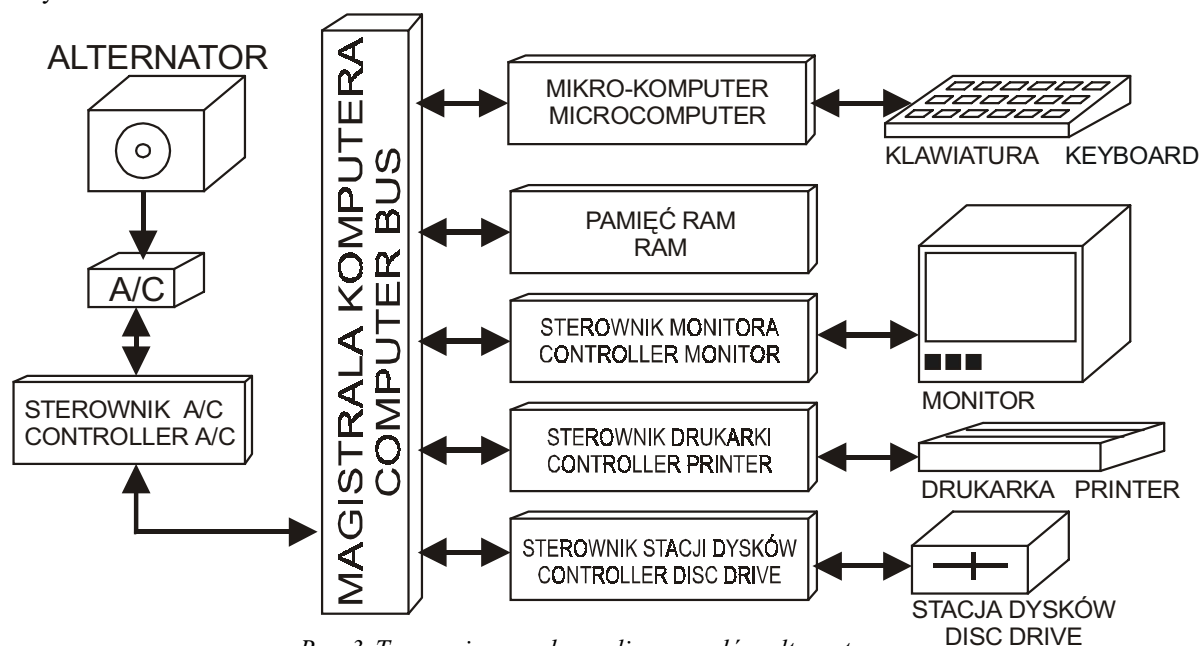


Rys. 2. Schemat blokowy układu do badania sygnałów diagnostycznych pochodzących od pola magnetycznego w szczelinie przytwornikowej prądnicy: 1 - zasilacz z układem do kompensacji napięcia pasożytniczego i temperatury, 2 - wzmacniacz sygnałów, 3 - przetwornik analogowo-cyfrowy, 4 - rejestrator, 5 - oscyloskop, 6 - komputer, 7 - monitor, 8 - drukarka, 9 - stacja dysków, 10 - regulator napięcia, 11 - układ prostownikowy, H1, H2 - czujnik Halla /H1 - w wirniku, H2 - w stojanie/, Uw - uzwojenie wzbudzenia, Us - uzwojenie stojana, P1-P6 - przełączniki do symulacji uszkodzeń diod prost., R - rezystor do obciążenia prądnicy

Fig.2. Block diagram of the unit for testing diagnostic signals coming from magnetic field in current generator by-armature gap: 1-feeder with the unit for parasitical voltage and temperature compensation, 2-signal-to-analog converter, 4-recorder, 5-oscilloscope, 6-computer, 7-monitor, 8-printer, 9-disc driver, 10-voltage controller, 11-rectifier unit, H1, H2-Hall device H1-in rotor, H2-in stator, U-excitation winding, U-stator winding, P1-P6-switches for the simulation of rectifying diodes faults, R-resistor for current generator load

Urządzenie diagnostyczne obejmuje czterokanałowy przetwornik analogowo-cyfrowy oraz mikrokomputer. Tor pomiarowy urządzenia przedstawiono na rysunku 3.

The diagnostic device consists of a four-channel digital-to-analog converter and a microcomputer. The device measurement channel is shown in fig. 3.



Rys. 3. Tor pomiarowy do analizy sygnałów alternatora

Fig.3. Measurement channel for alternator signals analysis

Zestaw diagnostyczny realizuje wyznaczone zadania według algorytmu przedstawionego na rysunku 4. Procedura „inicjalizacja” przygotowuje program do działania nadając odpowiednim zmiennym właściwe wartości, organizuje ekran graficzny oraz inicjuje pracę drukarki.

Procedura „rejestracja” odczytuje sygnały z przetwornika analogowo-cyfrowego i umieszcza w pamięci RAM komputera dla dziesięciu kolejnych obrotów wirnika ze stałym krokiem czasowym. Informacja dotycząca umieszczenia danych w pamięci wyświetlana jest na ekranie. Procedura „wykres” umożliwia obserwację wybranego sygnału w funkcji kąta obrotu wirnika dla jednego z spośród dziesięciu przebiegów.

Wynikiem działania procedury – „analiza Fouriera” są wartości sygnału diagnostycznego np. napięcia U prądu I lub napięcia Halla U_H harmonicznym wybranego przebiegu.

Procedura ta przedstawia w postaci graficznej wybrany przebieg wykorzystując procedurę „wykres” oraz wartości wybranych harmonicznym tego przebiegu. Analizę harmoniczną Fouriera zmierzzonego sygnału przeprowadza się zgodnie z wzorem:

$$C_k(\omega) = \frac{1}{T} \int_0^T f(x) e^{-ik\omega x} dx \quad (2.1)$$

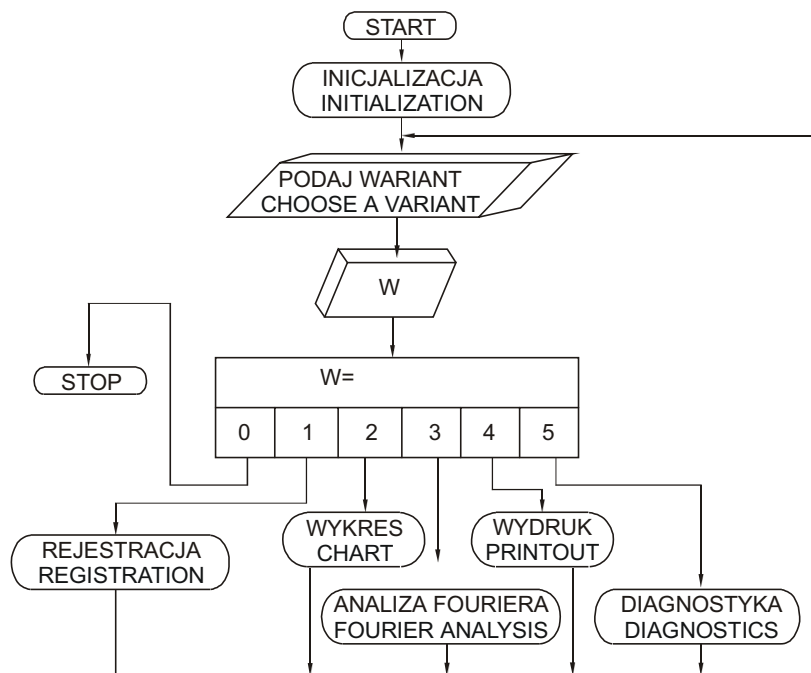
The diagnostic set performs assigned tasks according to the algorithm shown in fig. 4. "Initialization" procedure prepares the program for action by giving proper values to particular variables, organizes graphical screen and initiates printer operation.

"Register" procedure reads signals from digital-to-analog converter and puts them on computer RAM, for ten successive turns, at constant time step. Information concerning putting data on computer memory is shown on the screen. "Chart" procedure makes it possible to observe a chosen signal in function of rotor turn angle for one of ten courses.

Values of the diagnostic signal, for example voltage U current I , or Hall voltage U_H of selected course harmonics, are the result of "Fourier analysis" procedure operation.

The procedure graphically shows a chosen courses and it uses both "chart" procedure and values of this courses selected harmonics. Fourier harmonic analysis of a measured signal is carried out according to the following formula

$$C_k(\omega) = \frac{1}{T} \int_0^T f(x) e^{-ik\omega x} dx \quad (2.1)$$



Rys. 4. Algorytm działania zestawu diagnostycznego (ZD)

Fig.4. Diagnostic set (ZD) operation algorithm

gdzie: T – okres jednego obrotu wirnika, f(x) – wartość sygnału napięcia w czasie x:

$$x \in (0, T) \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.2)$$

k – rząd harmonicznej.

Zadaniem procedury „wydruk” jest przedstawienie informacji związanej z wybranym przebiegiem w postaci graficznej:

- wykresu przedstawiającego przebieg wybranego sygnału,
- wykresu przedstawiającego wartość harmonicznych wybranego przebiegu,
- tabeli zawierającej wartości tych harmonicznych i kąta fazowego.

Procedura „diagnostyka” przedstawiona na rysunku 5. dokonuje porównania wyników „analiza Fouriera” z zawartymi w pamięci komputera wzorcowymi wartościami harmonicznych dla wybranych stanów technicznych alternatora. Wynikiem tego porównania jest określenie stopnia korelacji pomiędzy zmierzonym przebiegiem a przebiegami wzorcowymi zawartymi w pamięci komputera oraz wybór najbardziej prawdopodobnego stanu technicznego. Zarówno wartości harmonicznych sygnału zmierzonego jak i wartości harmonicznych wybranych sygnałów technicznych alternatora poddawane są analizie statystycznej.

where: T-rotor one turn period, fx-voltage signal value in time x:

$$x \in (0, T) \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.2)$$

k-harmonic number

The aim of ”printout” procedure is to present graphically information connected with a chosen course:

- chart presenting a selected signal course,
- chart presenting values of a selected course harmonics,
- table containing values of those harmonics and a phase angle.

”Diagnostics” procedure, presented in fig.5, draws a comparison between ”Fourier analysis” results and harmonics model values for selected alternator technical conditions stored in computer memory. The result of such a comparison is determining a degree of correlation between the measured course and model courses stored in computer memory and choosing the most probable technical condition. Both values of measured signal harmonics and those of alternator selected signal harmonics are subject to statistical analysis.

Dla każdej wartości harmonicznej wybranego sygnału obliczana jest wartość średnia:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.3)$$

wariancja:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.4)$$

wariancja średnia:

$$S_x^2 = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.5)$$

oraz wariancja jednostkowa:

$$Z_x^2 = \frac{S_x^2}{\bar{x}} \quad (2.6)$$

Wynikiem obliczeń procedury diagnostyka jest zmienna x wyrażająca numer zidentyfikowanego stanu technicznego. Procedura wykorzystuje następujące tablice:

C (p,k) – p = 0,1,... do m; k = 1,..., n – tablica zawierająca wartości harmonicznych dla m stanów technicznych,

C (k) - zawiera harmoniczne zmierzonego sygnału,

CI (p,k) – p=1,...,m, k=1,... n – tablica zawiera wartości harmonicznych maksymalnie różniących się od wartości harmonicznych dla danego stanu technicznego p (CI = C).

W następnej kolejności obliczany jest stopień korelacji otrzymanej gęstości widmowej z gęstościami widmowymi wszystkich możliwych stanów układu elektrycznego zawartymi w banku wzorców według wzoru 2.7:

$$S_{kp}^o = 1 - \frac{R_{po}}{R_{pmax}} \quad (2.7)$$

gdzie: S_{kp}^o stopień korelacji (0,1), R_{po} - różnica między widmem analizowanego sygnału a widmem stanu technicznego (p=1,2...m), m - ilość możliwych stanów technicznych obliczamy według wzoru 2.8:

$$R_{po} = \sum_{k=1}^n (C_k - C_{kp})^2 \quad (2.8)$$

gdzie:

n – ilość harmonicznych liczonych w analizie,
 C_k – wartość k-tej harmonicznej zmierzonego sygnału,
 C_{kp} – wartość k-tej harmonicznej stanu technicznego.

For each selected signal harmonic value, the mean value is calculated.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.3)$$

variance:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.4)$$

mean variance:

$$S_x^2 = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.5)$$

and unitary variance:

$$Z_x^2 = \frac{S_x^2}{\bar{x}} \quad (2.6)$$

The result of "diagnostics" procedure calculations is variable x representing the number of identified technical condition. The procedure makes use of the following tables:

C (p,k) – p = 0,1,... do m; k = 1,..., n-table containing harmonic values for m. Technical conditions,

C(k)-contains measured signal harmonics,

C(p, k).n-table contains values of harmonics which differ to the highest degree from harmonic values for a given technical condition p (CI=C).

Next the degree of correlation between the received spectral concentration and spectral concentrations of all possible electric unit states stored in the model bank is calculated according to formula 2.7:

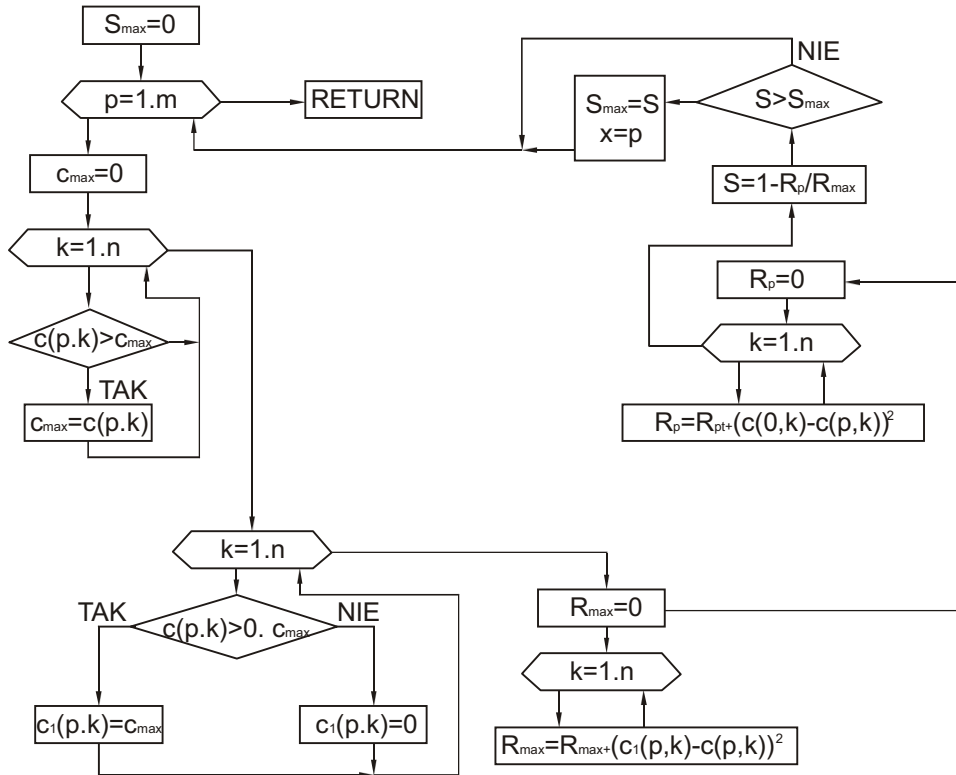
$$S_{kp}^o = 1 - \frac{R_{po}}{R_{pmax}} \quad (2.7)$$

where: S_{kp}^o -correlation degree, R_{po} - difference between analyzed signal spectrum and technical condition spectrum, m-number of possible technical conditions is calculated according to formula 2.8

$$R_{po} = \sum_{k=1}^n (C_k - C_{kp})^2 \quad (2.8)$$

where:

n-number of harmonics counted in the analysis,
 C_k -value of measured signal k^{th} harmonics,
 C_{kp} -value of technical condition k^{th} harmonics.



Rys. 5. Algorytm obliczeń procedury „diagnostyka”
Fig.5 "Diagnostics" procedure calculations algorithm

$$R_{p \max} = \sum_{k=1}^n (\hat{C}_{kp} - C_{kp})^2 \quad (2.9)$$

$$R_{p \max} = \sum_{k=1}^n (\hat{C}_{kp} - C_{kp})^2 \quad (2.9)$$

$$\hat{C}_{kp} = 0 \quad \text{dla} \quad C_{kp} \geq \frac{C_{kp}^o}{2} \quad (2.10)$$

$$\hat{C}_{kp} = 0 \quad \text{dla} \quad C_{kp} \geq \frac{C_{kp}^o}{2} \quad (2.10)$$

$$\hat{C}_{kp} = C_{kp \max}^o \quad \text{dla} \quad C_{kp}^o < \frac{C_{kp \max}^o}{2} \quad (2.11)$$

$$\hat{C}_{kp} = C_{kp \max}^o \quad \text{dla} \quad C_{kp}^o < \frac{C_{kp \max}^o}{2} \quad (2.11)$$

$$C_{kp \max}^o = \max(C_{kp}^o; k = 1, 2..n) \quad (2.12)$$

$$C_{kp \max}^o = \max(C_{kp}^o; k = 1, 2..n) \quad (2.12)$$

W wyniku obliczeń otrzymuje się wartość

$$S_k = \max(S_{kp}^o; p = 1, 2..m) \quad S_k = \max(S_{kp}^o; p = 1, 2..m)$$

Value:

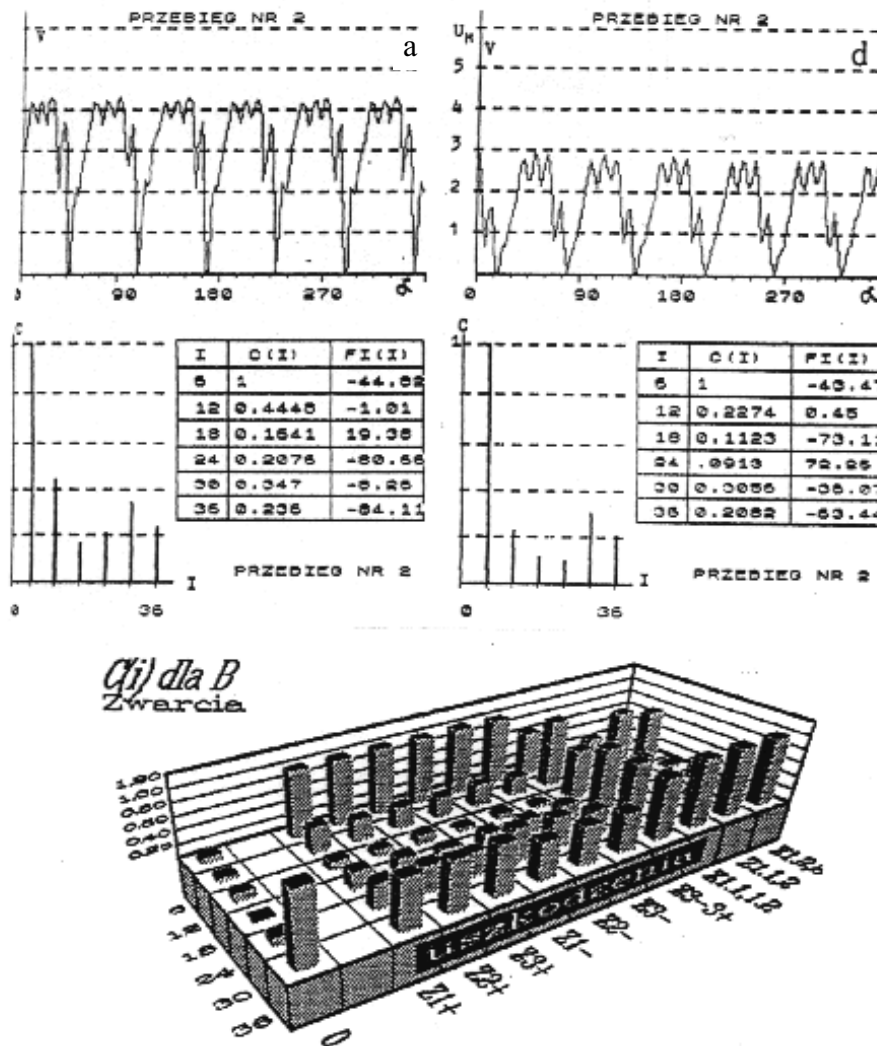
$$S_k = \max(S_{kp}^o; p = 1, 2..m) \quad S_k = \max(S_{kp}^o; p = 1, 2..m)$$

identyfikującą stan techniczny alternatora.

identifying alternator technical condition comes as a result of calculations.

Przykład analizy przebiegu napięcia Halla na czujniku umieszczonym w szczelinie przytwornikowej przedstawia rysunku 6. Szczegółowe wyniki badań alternatorów oraz regulatorów multifunkcyjnych zawarte są w pracach [3, 4, 5]

Example analysis of Hall voltage course on sensor put in by-armature gap is presented in fig. 6. Detailed results of alternator and multifunctional controllers tests are presented in papers[3, 4, 5].



Rys. 6. Przebieg napięcia Halla na czujniku umieszczonym w szczelinie przetwornikowej: α – kąt obrotu wirnika, c – współczynnik harmonicznych, I – rząd harmonicznej, FI – kąt fazowy, a – zwarcie w diodzie dodatniej $D1$, d – zwarcie w diodzie ujemnej $D1$, $c(i)$ dla B – zestawienie analizy widmowej indukcji w szczelinie przytwornikowej

Fig.6. Course of Hall voltage on sensor put in by-armature gap: a - rotor turn angle, c - harmonic coefficient, I - harmonic number, FI - phase angle, a - shorting on positive diode $D1$, d - shorting on negative diode $D1$, $c(i)$ for B - scheme of spectral analysis of induction in by-armature gap.

3. Podsumowanie

1. Przeprowadzone badania doświadczalne dla sygnałów diagnostycznych indukcji w szczelinie przytwornikowej, prądu i napięcia potwierdziły przydatność opracowanego zestawu pomiarowego.
2. Opracowana metoda diagnostyczna na podstawie zmian indukcji w szczelinie przytwornikowej oraz napięcia i prądu wyjściowego umożliwia jednoznacznie identyfikację uszkodzeń w postaci przerw i zwarc w diodach i uzwojeniach stojana alternatora.

3. Summary

1. Experimental investigation concerning diagnostic signals of induction in by-armature gap, current and voltage proved the usability of the worked out measurement set.
2. The developed diagnostic method makes it possible to identify unmistakably faults, such as gaps and shorting in diodes and alternator stator windings, on the group of both induction changes in by-armature gap and output current and voltage.

3. Przeprowadzona symulacja uszkodzeń występujących w trakcie eksploatacji alternatora potwierdziła realizację funkcji opracowanego zestawu diagnostycznego.

3. The carried out simulation of faults occurring during alternator operation proved that the worked out diagnostic set serves its turn.

4. References

- [1] Dziubiński M.: *Diagnostyka funkcjonalna samochodowej prądnicy synchronicznej*. Rozprawa doktorska. Politechnika Poznańska, Poznań 1991 r.
- [2] Dziubiński M., Ocioszyński J., Walusiak S.: *Elektrotechnika i elektronika samochodowa*. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 1999 r.
- [3] Dziubiński M.: *Analiza parametrów wybranych regulatorów wielozadaniowych współpracujących z alternatorem kompaktowym*. Polska Akademia Nauk Oddział w Krakowie, Kraków 2001 r.; Zeszyt Nr 22, 77-85.
- [4] Dziubiński M., Longwic R.: *Wpływ temperatury elementów alternatora na jego parametry wyjściowe*. Materiały V Międzynarodowej Konferencji Politechniki Lubelskiej, Katedra Pojazdów Samochodowych i PAN Oddział Kraków „Badania symulacyjne w technice samochodowej”, Kazimierz Dolny 22-24 maja 1995 r., 79-86.
- [5] Walusiak S., Dziubiński M.: *Komputerowa analiza pracy alternatora pracującego przy podwyższonych napięciach*.” Zastosowania komputerów w elektrotechnice” Instytut Elektrotechniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej, Poznań 2000 r., 703-705.

Dr inż. Mieczysław Dziubiński

Katedra Pojazdów Samochodowych

Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 26

20-618 Lublin

e-mail: dziubin@archimedes.pol.lublin.pl
