

Jacek ZAWALICH

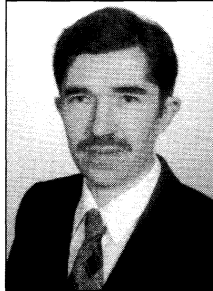
POLITECHNIKA GDAŃSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I AUTOMATYKI, KATEDRA AUTOMATYKI

Wybrane zagadnienia diagnostyki automatycznych synchronizatorów prądnic

Dr inż. Jacek ZAWALICH

W 1979 ukończył studia wyższe na Wydziale Elektrycznym Politechniki Gdańskiej. W roku 2001 uzyskał stopień doktora nauk technicznych w zakresie elektrotechniki. Od 2002 roku pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Automatyki Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Prowadzi badania z zakresu diagnostyki układów i urządzeń elektrotechnicznych z wykorzystaniem technik komputerowych i symulacyjnych. Współpracuje z przemysłem w dziedzinie automatyzacji obiektów melioracyjnych na terenach depresyjnych.

j.zawalich@ely.pg.gda.pl



Streszczenie

Diagnostykę stosuje się w wielu dziedzinach technicznych, m.in. do skomplikowanych obiektów technologicznych, układów transportowych programów komputerowych a także do urządzeń codziennego użytku. Jednym z takich urządzeń jest synchronizator prądnic, którego prawidłowe funkcjonowanie wpływa znacząco na niezawodne i bezpieczne prowadzenie procesu synchronizacji. Badania diagnostyczne synchronizatorów prądnic wykonywane są przede wszystkim w czasie długotrwałych okresów gotowości i polegają głównie na porównywaniu rzeczywistych charakterystyk statycznych i dynamicznych z charakterystykami podanymi przez producenta. Pomiar kontrolny dostępnych sygnałów wprowadzanych do urządzenia i generowanych przez to urządzenie, wymagają stosowania przyrządów pomiarowych o podwyższonej dokładności, ponieważ przedział kontrolny mierzonej wielkości jest zwykle o rząd mniejszy od całkowitej wartości mierzonej wielkości fizycznej. Stosowanie współczynnika określonego mianem zapasu danego parametru diagnostycznego umożliwia monitorowanie zmian właściwości urządzenia oraz przewidywanie wystąpienia jego awarii.

Abstract

The diagnostic is applies in many technical fields, for example in complex technological objects, shipping objects, computer programmes and daily used equipments. The generator synchronizer is one of the device, that correct operation affect unfailing and safe process of synchronization. Diagnostic investigations of generator synchronizers carry out first of all in long-lasting time on standby. The investigations mainly include the comparisons static and dynamic characteristics with characteristics guaranteed by the producer. Checking measurements of input and output signals require the measurement devices with high accuracy. The range of checking measurement quantity is usually less than whole value of this quantity. The factor, i.e. the reserve of the diagnostic parameter, makes possible a monitoring of property devices and a predicting of the breakdown.

Słowa kluczowe: diagnostyka, synchronizacja, synchronizatory, czas wyprzedzenia

Keywords: diagnostic, synchronization, synchronizers, advance time

1. Wprowadzenie

Termin diagnostyka - pochodzący od greckiego słowa *diagnosis*, oznaczającego rozpoznanie, rozróżnianie - od dawna stosowany na użytek medycyny, dziś jest używany w wielu dziedzinach nauki i zaczyna odgrywać coraz większą rolę, szczególnie przy obecnym dążeniu do zaspokojenia cywilizacyjnych determinantów życia współczesnego człowieka.

Od połowy poprzedniego wieku datuje się rozwój diagnostyki maszyn, którą, obok systemów eksploatacji, trybologii, niezawodności i bezpieczeństwa maszyn, zalicza się do nauk eksploatacyjnych. W latach osiemdziesiątych zanotowano zainteresowanie procesami przemysłowymi - chemicznymi, cieplnymi i energetycznymi - w aspekcie diagnostycznym. Obecnie mówi się o diagnostyce technicznej, jako

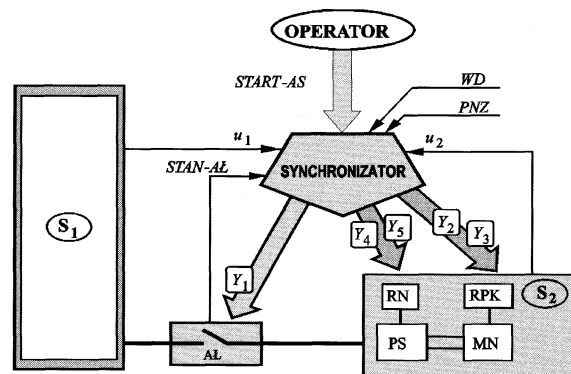
nauce o charakterze dychotomicznym, czyli nauce łączącej w sobie diagnostykę maszyn zajmującą się głównie oceną stanu technicznego, identyfikacją i lokalizacją uszkodzeń samego urządzenia oraz diagnostykę procesu analizującą jakość czynności sterowanych złożonymi układami technicznymi [1, 2, 3, 4].

Przy obecnym dążeniu do diagnozowania układów o skomplikowanej strukturze, programów komputerowych, jak również urządzeń codziennego użytku, jest rzeczą oczywistą, że układy posiadające miano urządzeń krytycznych, których niezawodna praca warunkuje bezpieczeństwo środowiska socjotechnicznego, powinny być poddawane ciągłym badaniom diagnostycznym. Takim urządzeniem, którego gabaryty są niewspółmiernie mało znaczące w stosunku do pełnionej odpowiedzialnej funkcji w systemie elektroenergetycznym, są automatyczne synchronizatory prądnic zwykle wykonywane w technice mikroprocesorowej, a obecnie również jako aplikacje komputerowe [5].

2. Synchronizator i jego zadania

Automatyczny synchronizator prądnic pełni rolę sterownika, który składa się z układów pomiarowych, mikroprocesorowych układów przetwarzających, jak również wyjściowych układów wykonawczych oddziałujących na regulatory amplitudy i częstotliwości napięcia oraz na łącznik główny między obiektami elektroenergetycznymi. Głównym jego zadaniem jest przeprowadzenie dwóch niepołączonych obiektów elektroenergetycznych S_1 i S_2 systemu elektroenergetycznego S ze stanu pracy asynchronicznej do stanu synchronizmu w możliwie krótkim czasie, uwzględniając istotne czynniki mające wpływ na proces synchronizacji i zachowując przy tym warunki bezpieczeństwa środowiska socjotechnicznego [5, 6].

Powiązania synchronizatora z systemem elektroenergetycznym (rys. 1) najprościej można wyjaśnić na przykładzie wprowadzania do ruchu pojedynczego zespołu prądotwórczego (S_2) składającego się z prądnicy synchronicznej PS z regulatorem napięcia RN, napędzanej maszyną napędową MN z regulatorem prędkości kątowej RPK.



Rys. 1. Schemat blokowy powiązań synchronizatora z systemem elektroenergetycznym

Fig. 1. Block scheme of connections of synchronizers with power system

Informacje, dostarczane w postaci: napięć przemiennych u_1 oraz u_2 , sygnałów odzwierciedlających dodatkowe warunki WD , pomocniczego napięcia zasilającego PNZ , sygnału $STAN-AL$ określającego stan łącznika głównego oraz sygnału $START-AS$ rozpoczynającego proces synchronizacji automatycznej, są przetwarzane w układzie mikroprocesorowym w celu generowania sygnałów zwiększających lub zmniejszających wartość amplitudy i częstotliwości ($Y_2 \pm Y_3$) oraz wygenerowania głównego sygnału Y_1 załączającego aparat łączeniowy AL . W rezultacie realizowana jest funkcja

$$Y = f(u_1, u_2, WD, PNZ, STAN-AL, START-AS) \quad (1)$$

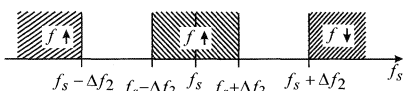
gdzie: Y - wektor zmiennych wyjściowych, u_1, u_2 $WD, PNZ, STAN-AL$ i $START-AS$ - zmienne wejściowe.

3. Parametry diagnostyczne

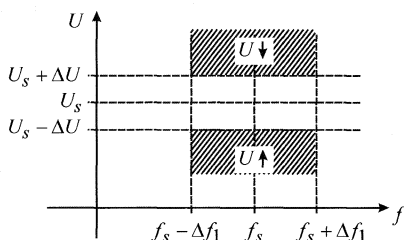
Zwykle parametry diagnostyczne mają charakter symptomów, tzn. mają związek z sygnałami, które ściśle zależą od uszkodzeń całego urządzenia lub jego podzespołów i które można rejestrować podczas pracy w okresie eksploatacyjnym. Pod uwagę brane są również charakterystyki statyczne i dynamiczne, wzajemne zależności między rejestrowanymi sygnałami, sekwencje wykonywanych operacji, informacje o alarmach oraz inne wskaźniki, które można porównać z wzorcami fabrycznymi, założonymi funkcjami lub przewidywanymi zadaniami i które są podstawą do tworzenia modeli diagnostycznych. Automatyczne synchronizatory prądnic są specyficznymi obiektami diagnostyki, gdyż ich właściwa praca trwa bardzo krótko - kilka do kilkunastu sekund - z bardzo długimi przerwami gotowości - od kilku dni do kilku miesięcy, w czasie których można swobodnie wykonywać testy kontrolne, badania diagnostyczne i inne prace konserwacyjne. Okres kilkusekundowej efektywnej pracy, podczas trwania procesu synchronizacji, ogranicza jednak możliwość łatwej i wielokrotnej rejestracji sygnałów generowanych w rzeczywistych warunkach ruchowych.

W automatycznych synchronizatorach, traktowanych jako black-box, zwykle są dostępne sygnały wejściowe oraz wyjściowe i to przede wszystkim one są brane pod uwagę przy określaniu oceny diagnostycznej urządzenia (na rys. 2, 3 i 4 przedstawiono przykładowe przedziały i obszary generowania sygnałów sterujących dla synchronizatora typu SM-05B [7]).

Badania diagnostyczne powinny umożliwić odpowiedź na pytanie: czy wysyłane sygnały spełniają warunki narzucone za pomocą zakresów dopuszczalnych, charakterystyk czasowych dostępnych wielkości fizycznych, równań wielkościowych oraz algorytmów sekwencyjnych. Funkcyjne możliwości urządzenia, podane przez producenta, powinny być weryfikowalne, przy założeniu prawidłowej eksploatacji, w każdych warunkach występujących w praktyce [8].

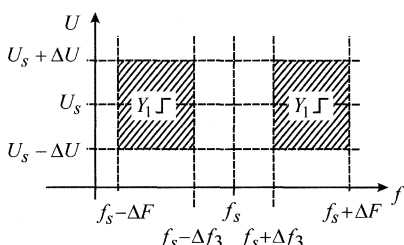


Rys. 2. Przedziały generowania sygnałów zmniejszających ($f\downarrow$) i zwiększających ($f\uparrow$) częstotliwość napięcia zespołu synchronizowanego
Fig. 2. The range of signals to decrease ($f\downarrow$) and increase ($f\uparrow$) voltage frequency of the synchronizing generator



Rys. 3. Obszary generowania sygnałów zmniejszających ($U\downarrow$) i zwiększających ($U\uparrow$) amplitudy napięcia zespołu synchronizowanego

Fig. 3. The range of signals to decrease ($U\downarrow$) and increase ($U\uparrow$) voltage amplitude of the synchronizing generator



Rys. 4. Obszary generowania sygnału (Y_1) załączającego wyłącznik główny
Fig. 4. The range of the closing signal of synchronizers (Y_1)

Identyfikacja rzeczywistych przedziałów wartości wielkości fizycznych, w których występuje generacja sygnałów zewnętrznych, poprzez wykonanie odpowiednich pomiarów napotyka na trudności technologiczne. Zdawałoby się, że przy dzisiejszej zaawansowanej technice metrologicznej nie będzie tu żadnych problemów, a jednak wykonanie standardowego pomiaru częstotliwości oraz wykonanie kontroli tej samej częstotliwości ma zupełnie inny charakter. Istota tej różnicy polega na konieczności zastosowania przyrządów o zwiększonej dokładności oraz na innym interpretowaniu przeprowadzonego pomiaru, aby w sposób wiarygodny wykonać przedmiotowe badanie. Tę różnicę najprościej przedstawić na przykładzie kontroli dopuszczalnego przedziału częstotliwości ($f_s - \Delta F, f_s + \Delta F$), w którym jest generowany sygnał załączający wyłącznik główny (rys. 4).

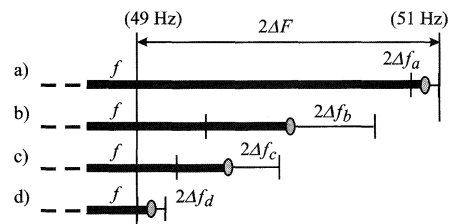
Chcąc, dla celów kontroli, wykonać standardowy pomiar częstotliwości, np. 50 Hz, stawia się pytanie: jaka jest wartość częstotliwości napięcia? i otrzymuje się odpowiedź: częstotliwość wynosi 50 Hz \pm 1 Hz, co w granicznych przypadkach może oznaczać, że częstotliwość ma wartość 49 Hz albo 51 Hz. Natomiast wykonując kontrolę należy postawić pytanie: czy wartość częstotliwości wynosi 50 Hz \pm 1 Hz?

Odpowiedź na drugie pytanie jest trudniejszym zadaniem, gdyż przedział (± 1 Hz), który był mało istotny przy standardowym pomiarze, teraz stał się przedziałem $2\Delta F$ i jest przedmiotem głównych rozważań (rys. 5). Pojawiają się problemy z dokładnością przyrządów pomiarowych i sposobem wykonania samej czynności kontrolnej. Mimo, iż badana jest ta sama częstotliwość i postawiono podobne pytanie, to odpowiedź na użytek kontroli będzie zupełnie inna, a mianowicie:

TAK - gdy jest spełniony zadany warunek,

NIE - gdy nie jest spełniony zadany warunek.

Dla przypadków b), c) (rys. 5) nie jest wymagana wysoka dokładność, ale jednak większa niż przy standardowym pomiarze, natomiast dla przypadków a) i d) dokładność musi być dużo większa. W granicznym przypadku, gdy wartość częstotliwości pokrywa się z dolną lub górną wartością dopuszczalnego przedziału, przyrząd do kontroli takiego przypadku musiałby mieć dokładność nieskończoną - co jest w praktyce nie do zrealizowania.



Rys. 5. Ilustracja kontroli częstotliwości napięcia

Fig. 5. The illustration of the checking of voltage frequency

Przy pomiarach kontrolnych w rzeczywistości mierzony jest przedział ΔF , mimo iż przyrząd pomiarowy wskazuje pełną wartość kontrolowanej wielkości fizycznej. W rezultacie dokładność, którą zapewnia przyrząd pomiarowy powinna być inna dla całej wartości f_s a inna dla przedziału ΔF . Na przykład, przyjmując względny błąd pomiaru dla całkowitej wartości częstotliwości $\delta f_s = (1/50) \times 100\% = 2\%$, otrzymuje się względny błąd pomiaru dla badanego przedziału $\delta \Delta F = (1/1) \times 100\% = 100\%$.

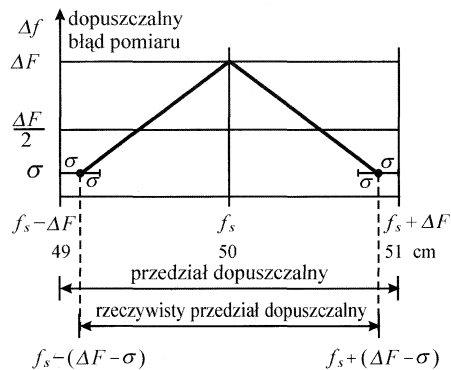
W celu zilustrowania wymaganych dokładności podczas kontroli, może być pomocny względny procentowy błąd kontroli częstotliwości ε_f określony wzorem

$$\varepsilon_f = \frac{\sigma}{\Delta F} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie: σ - błąd bezwzględny pomiaru, ΔF - dopuszczalna bezwzględna różnica między nastawioną i rzeczywistą wartością wielkości kontrolowanej.

W praktyce wynik pomiaru kontrolnego musi zawierać się w przedziale dopuszczalnym pomniejszonym o wartość zależną od bezwzględnej wartości błęd pomiaru σ , którą oferuje zastosowany przyrząd, gdyż w przeciwnym przypadku nie można uznać badań kontrolnych za

wiarygodne. W rezultacie rzeczywisty przedział dopuszczalny jest określony od wartości $f_s - (\Delta F - \sigma)$ do wartości $f_s + (\Delta F - \sigma)$ (rys. 6).



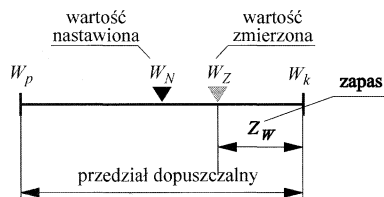
Rys. 6. Ilustracja rzeczywistej wymaganej dokładności przy pomiarze kontrolnym częstotliwości napięcia

Fig. 6. The illustration of real required accuracy at the checking measurement of voltage frequency

Parametry diagnostyczne są kontrolowane pod względem ich zgodności z założonymi przedziałami dopuszczalnymi (W_p, W_k). Dla wartości pojedynczego parametru można podać ocenę w postaci funkcji dwuwartościowej $\{1, 0\}$ lub w postaci określenia lingwistycznego, tzn. „prawidłowo” lub „nieprawidłowo” zgodnie z poniższym wzorem.

$$W_Z \text{ jest } \begin{cases} \text{"prawidłowo"} & \text{dla } W_p \leq W_Z \leq W_k \\ \text{"nieprawidłowo"} & \text{dla } W_Z < W_p \text{ lub } W_Z > W_k \end{cases} \quad (3)$$

W celu podania dokładniejszej oceny mierzonego parametru stosuje się współczynnik zapasu parametru Z_W określający różnicę między zmierzoną wartością parametru, a jego wartościami dopuszczalnymi (rys. 7) [6].



Rys. 7. Interpretacja graficzna zapasu parametru diagnostycznego
Fig. 7. The graphic interpretation of the reserve of diagnostic parameter

W ten sposób występuje możliwość śledzenia zmian badanego parametru nawet wówczas, gdy wartość tego parametru jest prawidłowa i zawiera się w dopuszczalnych przedziałach. Zapas parametru wygodnie jest wyrażać w procentach i wówczas słuszna jest zależność

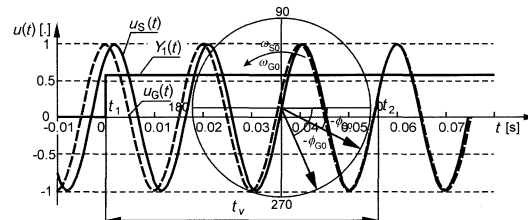
$$Z_W = \begin{cases} \frac{|W_k - W_p| - |W_Z - W_N|}{\frac{|W_k - W_p|}{2}} \cdot 100\% & \text{dla } W_p \leq W_Z \leq W_k \\ 0 & \text{dla } W_Z < W_p \text{ lub } W_Z > W_k \end{cases} \quad (4)$$

Najbardziej istotnym parametrem diagnostycznym dla automatycznych synchronizatorów jest czas wyprzedzenia t_v , którego wartość w zasadniczy sposób wpływa na proces synchronizacji. Metody określenia tego czasu wymagają bezpośrednich pomiarów napięć synchronizowanych obiektów (rys. 8) [6]. W chwili generowania sygnału Y_1 rejestrowane napięcia mają różne fazy początkowe oraz różne częstotliwości, co w rezultacie prowadzi do ich koincydencji w skończonym czasie. Rzeczywisty czas t_v upływa od chwili t_1 - wysłania sygnału głównego Y_1 synchronizatora do chwili t_2 - koincydencji mierzonych napięć wejściowych.

Pomiar czasu wyprzedzenia wykonuje się różnymi metodami [5, 6]. Chwile t_1 można bezpośrednio zarejestrować - jest to chwila wysłania sygnału Y_1 , natomiast chwilę t_2 określa się metodami pośrednimi np. korzystając z obwiedni napięcia dudnień lub wyznacza się na podstawie analizy napięć wejściowych $u_s(t)$ i $u_G(t)$ np. metodą zamiany chwilowych wartości napięć przemiennych na chwilowe wartości kąta

fazowego [6]. Znając chwilę t_1 wygenerowania sygnału Y_1 załączającego wyłącznik główny oraz najbliższą chwilę koincydencji t_2 następującą po chwili t_1 można w prosty sposób wyznaczyć czas wyprzedzenia t_v .

$$t_v = t_2 - t_1 \quad (5)$$



Rys. 8. Interpretacja graficzna czasu wyprzedzenia
Fig. 8. The graphic interpretation of the advance time

4. Podsumowanie

Synchronizator jest ważnym obiektem diagnostyki. Badania diagnostyczne mają zwykle charakter badań weryfikacyjnych. Utrudniony jest prosty sposób rejestrowania sygnałów o charakterze symptomowym w czasie krótkiego czynnego działania synchronizatora. Ponadto ocenę diagnostyczną trzeba znać przed wykonaniem diagnozowanego procesu, gdyż ewentualne uszkodzenia badanego urządzenia mogą prowadzić do poważnych awarii, a to wymaga przeprowadzania wielu wiarygodnych testów. Do wykonywania badań diagnostycznych niezbędne są specjalistyczne przyrządy gwarantujące wykonanie pomiarów przynajmniej o rząd dokładniejszych w porównaniu z klasycznymi pomiarami.

Synchronizator należy traktować jako urządzenie wymagające badań postrzeganych dychotomicznie, czyli zarówno w aspekcie diagnostyki maszyn jak również w aspekcie diagnostyki realizowanego procesu. Parametry diagnostyczne, takie jak czas wyprzedzenia, dopuszczalna różnica częstotliwości podczas łączenia, czasy trwania sygnałów sterujących, obszary generowania sygnałów sterujących, przyczyny i warunki sygnalizowania alarmów itp. można monitorować w ciągu całego etapu eksploatacji urządzenia. Stosując zapas danego parametru otrzymuje się możliwość wcześniejszego przewidywania awarii na podstawie określania trendów zmian jego wartości.

Niniejszy artykuł jest jedynie zasygnalizowaniem problemów występujących w badaniach diagnostycznych. Prowadzone są dalsze prace z wykorzystaniem szybkich kart pomiarowych w celu udoskonalenia metod kontroli parametrów diagnostycznych. Zastosowanie przyrządów o zwiększonych wymaganiach na dokładność oraz doskonalenie metod oszacowania niepewności wyników pomiaru powinny skutecznie zwiększyć jakość otrzymywanych ocen diagnostycznych.

Literatura

- [1] Cempel Cz., Tomaszewski F.: Diagnostyka maszyn. Zasady ogólne. Przykłady zastosowań. Radom: MCNEMT 1992.
- [2] Korbicz J., Kościelny J. M., Kowalczyk Z. Cholewa W.: Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania. Warszawa: WNT 2002.
- [3] Wiśniewski W.: Diagnostyka techniczna wytwórczych urządzeń energetycznych w elektrowniach. Warszawa: PWN 1991.
- [4] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Bydgoszcz: ATR 1996.
- [5] Grono A.J.: Komputerowa synchronizacja prądnic. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej 2001.
- [6] Zawalich J.: Diagnostyka układów automatycznej synchronizacji prądnic. Gdańsk: Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki 2001. Rozprawa doktorska.
- [7] Przedsiębiorstwo Usługowo-Produkcyjne „KARED” Sp. z o.o.: Mikroprocesorowy synchronizator generatorów synchronicznych typ SM-06B. Gdańsk 2000.
- [8] Polska Norma PN-IEC 706-5: 1996, Przewodnik dotyczący obsługiwalności urządzeń. Badania diagnostyczne.

Title: Some problems of diagnostic of automatic generator synchronizers