

Silniki przeciwwybuchowe zasilane z przetwornic częstotliwości

Michał Górny

1. Wstęp

Po wielu latach stosowania napędów wykorzystujących silniki zasilane poprzez przekształtniki zauważono bezsporne korzyści i szerokie możliwości techniczne, jakie dzięki takim rozwiązaniom są uzyskiwane

Jednak mimo coraz większej powszechności stosowania takich rozwiązań w dalszym ciągu na szczególne zagrożenia wynikające z niewłaściwego stosowania narażone są układy pracujące w przestrzeniach zagrożenia wybuchem.

Wprawdzie zasady użytkowania urządzeń w przestrzeniach zagrożenia wybuchem są dobrze uregulowane (przepisy, normy, zasady bezpieczeństwa), jednak napędy przekształtnikowe wciąż są tematem przez niektórych uważanym za kontrowersyjny – niuregulowanym, co nie znajduje odzwierciedlenia w faktach.

W latach 90. ub.w. w Kopalni Doświadczalnej „BARBARA”¹ prowadzono szerokie badania wpływu zasilania przez różne przetwornice częstotliwości na silniki indukcyjne w wykonaniu przeciwwybuchowym.

W ramach badań przeprowadzono próby ruchowe układów składających się z różnych (uznanych za typowe) silników i przetwornic częstotliwości różnych producentów.

Dzięki aktywnemu udziałowi jednego z producentów (CELMA INDUKTA SA) badania w tym obszarze mocowym przeprowadzono na tych samych egzemplarzach silników.

Badania potwierdziły m.in. silny wpływ przetwornicy na dopuszczalny zakres regulacji (tabela 1).

Tabela 1. Skrajne wartości dopuszczalnych zakresów regulacji silnika przy zasilaniu z różnych przetwornic częstotliwości

Silnik	Dopuszczalny zakres regulacji	
	Przetwornica A	Przetwornica B
cSg 225...	15–100% n_N	60–100% n_N

2. Silniki w wykonaniu przeciwwybuchowym – podstawy

Historia technik zabezpieczeń przeciwwybuchowych ma już ponad 100 lat. Prace naukowe znalazły odzwierciedlenie w normach i specyfikacjach technicznych, a następnie w przepisach [1]. Aktualnie w Polsce oraz w innych krajach Unii Europejskiej uregulowania mają charakter hierarchiczny – najważniejszym dokumentem jest dyrektywa 94/9/WE (tzw. ATEX)².

Z dyrektywą powiązane są normy zharmonizowane, za pomocą których najprościej wykazać zgodność z wymaganiami dyrektywy. W obszarach niuregulowanych normami zhar-

Streszczenie: W niniejszej publikacji przedstawiono aktualne wymagania odnośnie do napędów przekształtnikowych w przestrzeniach zagrożenia wybuchem. Zaprezentowano metody badań układów silnik – przekształtnik oraz wyniki badań własnych silników elektrycznych popularnych wielkości mechanicznych. Omówiono również najczęściej spotykane w praktyce przykłady niewłaściwych zastosowań.

Słowa kluczowe: silnik indukcyjny, przekształtnik, napęd, bezpieczeństwo przeciwwybuchowe

EXPLOSIONPROOF MOTORS FED BY FREQUENCY CONVERTER

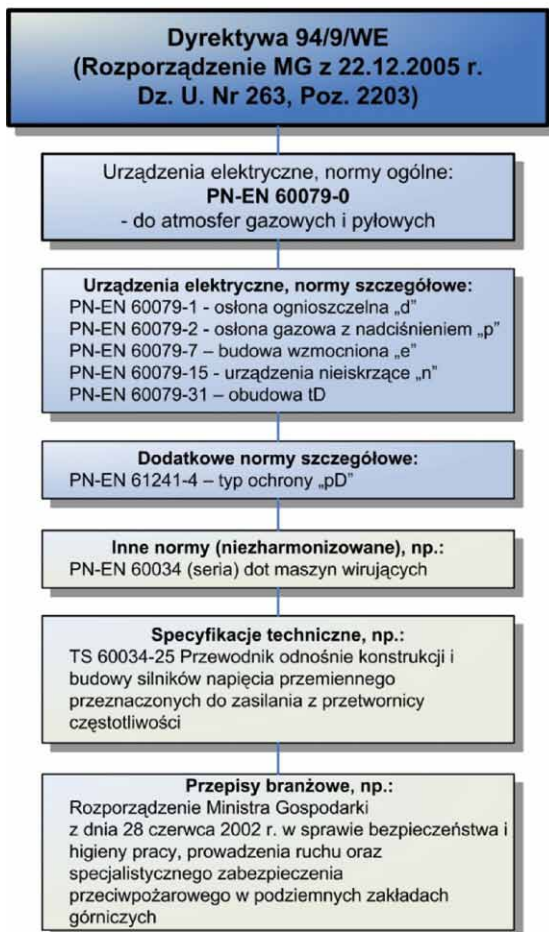
Abstract: This paper presents present requirements concerning to frequency fed motors in potentially explosive atmospheres. Tests methods for electrical motor – frequency converter sets and tests results for popular electrical motor sizes were presented. Discuss concerning to quiet often misuse of such sets.

Keywords: induction motor, converter, drive, explosionproof safety

monizowanymi stosuje się inne normy międzynarodowe, następnie inne normy krajowe, inne normy branżowe i przepisy lokalne (patrz rys. 1).

Wymagania zawarte w dyrektywie ATEX dotyczą wprowadzania wyrobów przeciwwybuchowych na rynek, więc z zasady obejmują producentów (lub importerów) urządzeń.

Producent również, podobnie jak w obszarach nieobjętych dyrektywą ATEX, odpowiada za poprawną konstrukcję urządzenia (silnika, układu napędowego) i określenie warunków bezpiecznego użytkowania. Producent posiada odpowiednią wiedzę i to właśnie on najlepiej zna swoje urządzenie. Efektem badań własnych producenta jest zbiór parametrów brzegowych definiujących bezpieczną pracę urządzenia. Zbiorem wymagań i parametrów granicznych urządzenia jest instrukcja obsługi urządzenia, która m.in. zawiera znamionowe parametry techniczne. Podczas procesu certyfikacji urządzenia (np. według wymagań dyrektywy ATEX) oceniane i badane są tylko te aspekty urządzenia, które mają wpływ na bezpieczeństwo przeciwwybuchowe – parametry takie podawane są precyzyjnie w certyfikatach. Np. nie ocenia się poziomu hałasu, który jest wymagany przez inne akty prawne. Dyrektywa ATEX nie obejmuje tego aspektu.



Rys. 1. Wymagania w zakresie urządzeń przeciwwybuchowych (na przykładzie silników elektrycznych)

Producent urządzenia odpowiada za przekazanie użytkownikowi wszystkich niezbędnych informacji, w tym również parametrów technicznych uzgodnionych z jednostką badawczą podczas procesu certyfikacji. W praktyce oznacza to, że instrukcja obsługi dostarczana wraz z urządzeniem jest identyczna z tą, która była oceniana przez jednostkę certyfikującą.

Obowiązkiem użytkownika jest stosowanie urządzenia zgodnie z przeznaczeniem – czyli zgodnie z zapisami instrukcji obsługi producenta. Mimo iż niektóre zapisy mogą wydawać się niezrozumiałe – nie zwalania to z przestrzegania zapisów instrukcji. Użytkownik zawsze ma prawo nie kupić urządzenia, jeśli wymagania instrukcji obsługi wydają mu się zbyt rygorystyczne.

Na przykład w instrukcji jednego z certyfikowanych silników pojawił się zapis, że wymiana uszczelnień może być wykonywana tylko przez producenta silnika. Zapis pozornie nadmiarowy miał jednak swoje uzasadnienie ze względu na konstrukcję silnika – podczas próby wymiany uszczelnienia dochodziło do uszkodzenia elementów uszczelnień – i tylko producent miał odpowiednie narzędzia i wiedzę, aby taką naprawę przeprowadzić. Próba wymiany uszczelnień w warunkach ruchowych (przy stosowaniu typowych środków technicznych) prowadziła do degradacji poziomu zabezpieczenia przeciwwybuchowego.

Instrukcja obsługi jest dla użytkownika dokumentem wiążącym i obowiązkowym.

Tabela 2. Kategorie urządzeń, poziomy zabezpieczenia urządzeń (EPL) i odpowiadająca im możliwość stosowania (w strefach) [10]

PN-EN 60079-0		Dyrektywa 94/9/WE		PN-EN 60079-10-X
EPL	Grupa	Grupa urządzeń	Kategoria urządzeń	Strefy
Ma	I	I	M1	Nie dotyczy
Mb			M2	
Ga	II	II	1G	0
Gb			2G	1
Gc			3G	2
Da	III	II	1D	20
Db			2D	21
Dc			3D	22

Dyrektywa ATEX wprowadza również podział urządzeń ze względu na kategorie – odpowiadający poziomowi zabezpieczenia. Najwyższy poziom bezpieczeństwa zapewniają urządzenia kategorii I i M1 oraz systemy ochronne. Silniki indukcyjne są najczęściej urządzeniami kategorii 2 lub M2 lub kategorii 3.

Z kategorii urządzenia wynika możliwość stosowania w odpowiedniej strefie zagrożenia wybuchem (tabela 2).

W przypadku silników indukcyjnych najbardziej powszechnymi wykonaniami przeciwybuchowymi są:

- osłona ognioszczelna Exd;
- budowa wzmocniona Exe;
- osłona gazowa z nadciśnieniem Exp;
- wykonanie nieiskrzące Exn.

3. Podstawowe rodzaje budowy przeciwybuchowej silników indukcyjnych

Osłona ognioszczelna – zapewnia, że obudowa wytrzyma ciśnienie wewnętrznego wybuchu oraz że wybuch nie wydostanie się do otaczającej atmosfery. W przypadku osłony ognioszczelnej szczegółowe wymagania techniczne i badawcze zebrane są w normie PN-EN 60079-1 [2]. Wymagania są zróżnicowane ze względu na grupę i podgrupę wybuchowości (I, IIA, IIB, IIC).

Więcej informacji na temat szczególnych właściwości osłony ognioszczelnej podano w innych szczegółowych publikacjach [3, 4].

Typowy silnik w osłonie ognioszczelnej przedstawiono na rys. 2.

Budowa wzmocniona – zapewnia, że w urządzeniu nie występują źródła zapłonu w postaci nadmiernych temperatur i elementów iskrzących. Szczegółowe wymagania podano w normie PN-EN 60079-7 [5]. Budowa wzmocniona dotyczy urządzeń kategorii 2 i M2, tzn. obejmuje również bezpieczeństwo w możliwych do przewidzenia stanach awaryjnych (np. utknięcie silnika).

Badanie silnika budowy wzmocnionej w warunkach utknięcia przedstawiono na rysunku 3.

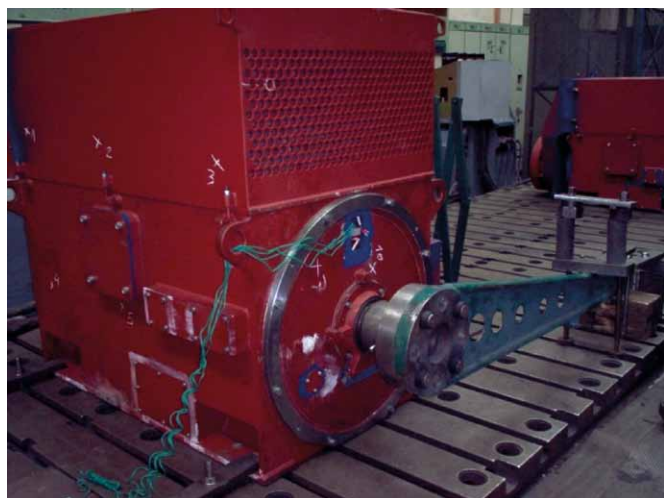
Szczegóły odnośnie do oceny i badań wysokonapięciowych silników budowy wzmocnionej podano w innych publikacjach [6].

Osłona gazowa z nadciśnieniem – jest rodzajem budowy przeciwybuchowej zapewniającym, że dzięki nadciśnieniu

gazu ochronnego do wnętrza urządzenia nie wnika atmosfera wybuchowa z otaczającej przestrzeni. Jest to stosunkowo prosty i tani rodzaj zabezpieczenia przeciwwybuchowego, jednak jego wadą jest konieczność wyłączenia silnika, a co za tym idzie, urządzenia napędzanego w przypadku awarii układu przewietrzającego (utrzymującego wewnętrzne nadciśnienie) silnika.



Rys. 2. Silnik w osłonie ognioszczelnej na stanowisku badawczym



Rys. 3. Badanie temperaturowe silnika budowy wzmocnionej w warunkach utknięcia (ZME „EMIT”)



Rys. 4. Silnik w osłonie gazowej z nadciśnieniem na stanowisku badawczym

Szczegóły odnośnie do wymagań i metod badawczych urządzeń o takim rodzaju zabezpieczenia podano w normie PN-EN 60079-2 [7].

Badanie układu przewietrzającego silnika w wykonaniu Exp przedstawiono na rys. 4.

Wykonanie nieiskrzące – jest rodzajem budowy przeciwwybuchowej kategorii 3³ zapewniającym, że w normalnych warunkach pracy (nie rozpatruje się np. stanów przejściowych – rozruchu silnika) nie występują elementy iskrzące i nadmiernie nagrzewające się. Możliwość stosowania takich silników ograniczono do stref 2 i 22.

Szczegółowe wymagania techniczne i badawcze przedstawiono w normie PN-EN 60079-15 [8].

4. Wpływ zasilania przekształtnikowego na bezpieczeństwo przeciwwybuchowe silników

Zasilanie silników poprzez przekształtniki powoduje pewne niekorzystne skutki ze względu na bezpieczeństwo przeciwwybuchowe.

Przeciążenie silnika – poza okresami komutacji silnik zasilany jest dwufazowo, co skutkuje zmniejszeniem momentu silnika. Prowadzi to do wzrostu temperatury uzwojenia, a co za tym idzie, temperatury na powierzchniach zewnętrznych silnika.

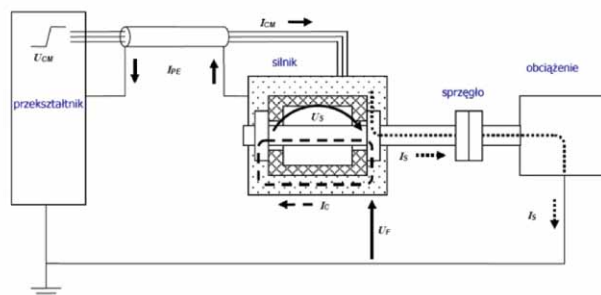
Zasilanie napięciem odkształconym powoduje wzrost strat w silniku, co prowadzi do wzrostu temperatury silnika.

Regulacja prędkości obrotowej prowadzi w przypadku silników z własnym przewietrznikiem do spadku wydajności chłodzenia – co również prowadzi do wzrostu temperatury silnika.

Zwiększanie prędkości maksymalnej silnika prowadzi do większych obciążeń mechanicznych wirnika, co w przypadku silników nieprzystosowanych do pracy z większymi prędkościami może prowadzić do rozerwania wirnika oraz do wcześniejszego zużycia łożysk.

Zmniejsza się trwałość układu izolacyjnego ze względu na narażenie na większe naprężenia dielektryczne niż w przypadku zasilania napięciem i prądem sinusoidalnym.

Powstają prądy łożyskowe (obwodowe, ułożyskowania wału, pojemnościowe). Prądy te mogą bezpośrednio prowadzić do zniszczenia łożysk, a co za tym idzie, do zniszczenia uszczelnień (w przypadku silników Exe, Exp, Exn decydujących o bezpieczeństwie) czy zniszczenia przejść ognioszczelnych wału (w przypadku silników Exd) – patrz wymagania odnośnie do luzów k oraz m podanych w normie PN-EN 60079-1 [2].



Rys. 5. Prądy łożyskowe silnika: U_s – napięcie wałowe; U_f – napięcie kadłuba względem ziemi; I_c – prąd obwodowy; I_s – prąd ułożyskowania wału [9]

Prądy obwodowe mogą prowadzić też do powstawania iskrzenia w miejscach styku poszczególnych elementów składowych urządzenia.

Niewłaściwe uziemienie – ze względu na asymetrię zasilania w przewodzie neutralnym (powrotnym) mogą płynąć duże prądy, co w przypadku poluzowania lub braku konserwacji połączenia zacisku ochronnego może prowadzić do powstawania nadmiernych temperatur lub iskrzenia.

Powyżej wymieniono jedynie główne możliwe skutki zasilania silnika poprzez przetwornik częstotliwości.

Powyższe zagrożenia są możliwe do uniknięcia, lecz jest to możliwe jedynie wtedy, gdy zostały one uwzględnione w fazie produkcji – tylko przez producenta.

Metody zaradcze:

- Przeciążenie silnika podczas zasilania z przetwornicy może skutkować np. obniżeniem mocy znamionowej (drugi komplet danych znamionowych silnika).
- Wzrost temperatury silnika prowadzi do wyznaczenia innej klasy temperaturowej, np. silnik klasy temperaturowej T5 podczas zasilania z przetwornicy osiąga temperatury klasy T4.
- Spadek wydatku przewietrznika może być kompensowany przez stosowanie obcego (niezależnego) chłodzenia.
- Odporność na zwiększoną prędkość maksymalną należy potwierdzić podczas badań typu na stacji prób.
- Zwiększoną odporność układu izolacyjnego można uzyskać, stosując inny rodzaj czy inną konstrukcję izolacji (inne wykonanie pakietu uzwojeń).
- Prądy łożyskowe można ograniczyć przez stosowanie odpowiednich dodatkowych łączników przewodzących pomiędzy elementami konstrukcyjnymi silnika oraz przez izolowanie jednego z węzłów łożyskowych (np. izolowane łożysko). Dobrą praktyką jest też stosowanie izolujących sprzęgieł. Dodatkowej troski (przeglądy) wymagają zaciski przewodów ochronnych i wyrównawczych.

5. Badania układów napędowych wykorzystujących zasilanie przetwornikowe

Najprostszym rozwiązaniem jest ocena kompletnego układu silnik – przetwornik.

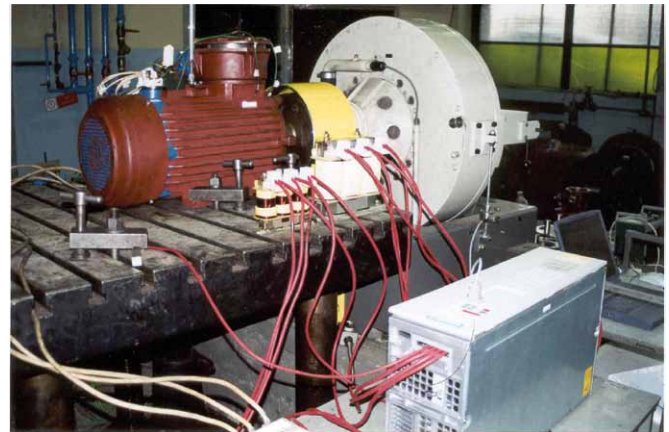
Większość parametrów jest wtedy zdefiniowana, co znacznie ułatwia ocenę i badania. Jednakże w praktyce takie rozwiązania są preferowane przez duże koncerny, posiadające w swej ofercie zarówno silniki, jak i przetworniki. Przedsiębiorstwa oferujące jedynie silniki, które w zamyśle konstruktorów powinny być jak najbardziej uniwersalne, stają przed problemem jak najszerzej (najbardziej uniwersalnej) oceny.

W latach 90. XX w. przeprowadzono szereg takich badań.

Wymagania badawcze określono następująco.

Postanowiono dokonać szeregu prób nagrzewania, zasilając badany silnik poprzez przetwornik częstotliwości, stosując następujące częstotliwości: 50 Hz, 40 Hz, 30 Hz, 20 Hz oraz 10 Hz. Badany silnik postanowiono obciążać momentem stałym (niezależnym od prędkości obrotowej) do czasu osiągnięcia dopuszczalnych temperatur, a następnie momentem o charakterystyce kwadratowej (typu wentylatorowo-pompowej).

Jako dopuszczalną temperaturę przyjęto temperaturę zadziałania czujników temperatury (wbudowanych w czołach uzwo-



Rys. 6. Silnik wraz z przetwornicą na stanowisku badawczym

jeń oraz w tarczach łożyskowych) lub – dla silników niewyposażonych w czujniki temperatury – dopuszczalną temperaturę uzwojeń wynikającą z klasy izolacji.

Po zakończeniu nagrzewania (pracy silnika) pomiary temperatur kontynuowano aż do osiągnięcia wartości maksymalnych – uchwycenie wzrostu temperatury po wyłączeniu silnika spowodowanego ustaniem chłodzenia.

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem laboratoriów producentów (Laboratorium Prototypów Maszyn Elektrycznych „CELMA” SA w Cieszynie) oraz w Branżowym Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Maszyn Elektrycznych „KOMEL”⁴ w Katowicach.

Próby przeprowadzono w układach z silnikami:

- typu dSg 225 S8-M;
- typu cSg 225 S4-M;
- typu cSg 225 M4-M;
- typu CSTe 200 L2B;
- typu BSTe 160 L4;
- typu CSg 90 L2.

Wytypowane silniki pokrywają bardzo szeroko zakres mocy, uwzględniają różnice znamionowych prędkości obrotowych, różnice w konstrukcji przewietrznika oraz reprezentują różne generacje konstrukcyjne.

Silniki zasilane były z przetwornic częstotliwości dwóch wielkości (15 kW oraz 45 kW), co pozwoliło ocenić pracę układów dobrze dopasowanych oraz niedopasowanych mocowo (przetwornica dużej mocy z silnikiem mniejszej mocy).

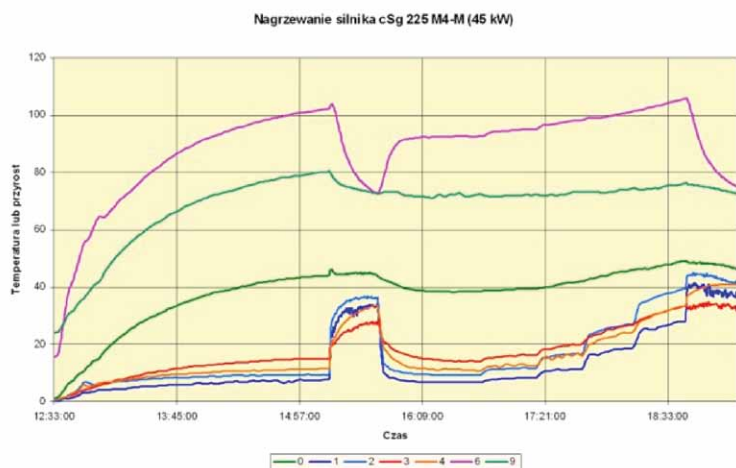
Badania dla zasilania 50 Hz poprzez przetwornicę pozornie wydają się beзуżyteczne, natomiast pozwalały one ocenić reakcję silnika na zasilanie napięciem i prądem odczłajconym.

Niestety w realizacjach przemysłowych udaje się znaleźć takie nieekonomiczne zastosowanie przetwornic.

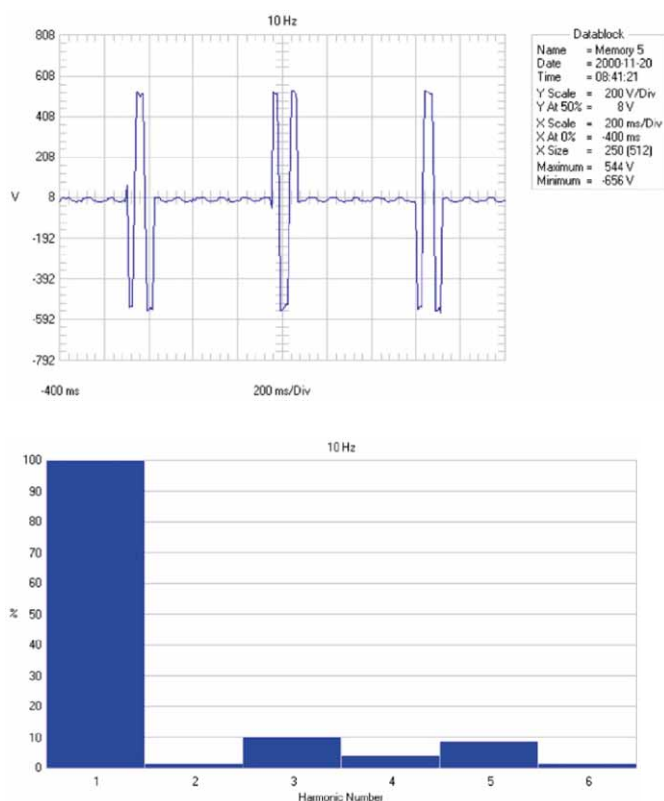
Przykładowe uzyskane wyniki z jednej serii prób nagrzewania przedstawiono na rysunku 7.

W silnikach ze skrzynką przyłączeniową budowy wzmocnionej odległości izolacyjne są dobierane w zależności od napięcia zasilającego. W związku z tym uznano za konieczne sprawdzenie wartości napięć chwilowych na zaciskach przyłączowych, zasilając silnik poprzez przetwornicę częstotliwości napięciem o częstotliwości 50 Hz, 40 Hz, 30 Hz, 20 Hz, 10 Hz oraz 5 Hz.

Kształty przebiegów napięć zarejestrowano w skrzynce przyłączowej silnika typu CSTe 200 L2B. Silnik zasilany był



Rys. 7. Wyniki badań termicznych jednego z silników. Próba nagrzewania dla 50 Hz zakończono po ok. 3 godzinach, wykonując pomiary podczas „stygnięcia”. Po stygnięciu wykonano nagrzewania dla częstotliwości 40 Hz, 30 Hz, 20 Hz, 10 Hz oraz 5 Hz



Rys. 8. Napięcia w skrzynce silnika (10 Hz) wraz z analizą

Zakresy regulacji prędkości obrotowej (silniki ...-f):

Wielkość mechaniczna	Charakterystyka obciążenia	Zakres regulacji prędkości	Klasa temperaturowa
225	Wentylatorowo - pompowa $T = T_N \times (n/n_N)^2$	$0 \div n_N$	T5
		$0.3n_N \div 1.2n_N$ 1/	T5
	Stałomomentowa $T = T_N$	$0.2n_N \div 1.2n_N$ 2/	T4
		$0.1n_N \div 1.2n_N$ 1,2/	T4 lub T3 3/

Uwagi:
 1/ w zakresie regulacji $n > n_N$ - stała moc silnika;
 2/ dla silników z obcym chłodzeniem
 3/ klasa temperaturowa zależna od silnika obcego chłodzenia

Rys. 9. Przykład zdefiniowania dopuszczalnych parametrów współpracy silnika z przetwornicą w certyfikacie badania typu WE (ATEX)

z przetwornicy 45 kW. Na wejściu przetwornicy podłączono dławik ($\Delta U = 2\%$).

Rejestracje wykonano dla częstotliwości 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz, 40 Hz oraz 50 Hz.

W celach identyfikacyjnych wykonano analizę widmową zarejestrowanych przebiegów.

Z przebiegów odczytano również chwilowe wartości maksymalne napięcia na zaciskach silnika.

Wartości maksymalne napięć:

- przy częstotliwości 5 Hz: 744 V;
- przy częstotliwości 10 Hz: 656 V;
- przy częstotliwości 20 Hz: 584 V;
- przy częstotliwości 30 Hz: 572 V;
- przy częstotliwości 40 Hz: 640 V;
- przy częstotliwości 50 Hz: 552 V.

Jak zaznaczono we wstępie, badania przeprowadzano dla różnych silników i różnych przekształtników (przekształtników różnych producentów). Dzięki zaangażowaniu jednego z polskich producentów silników producent ten zyskał bogatą wiedzę opartą wynikami badań i tym samym mógł określić uniwersalne parametry współpracy produkowanych przez siebie silników z przetwornicami. Udało się wyodrębnić część wspólną ze wszystkich badań i tym samym sformułować uniwersalne wymagania stawiane zasilającym przekształtnikom.

6. Podsumowanie

- Zasilanie silników przeciwwybuchowych poprzez przetwornice częstotliwości stwarza dodatkowe zagrożenia. Większość z tych zagrożeń może być wyeliminowana, jedynie przez uwzględnienie ich w procesie produkcyjnym i certyfikacyjnym silnika.
- Silniki, dla których producent przewidział możliwość zasilania przez przetwornice częstotliwości, mają dokładnie określone parametry takiej pracy. Parametry te dokładnie opisane są w certyfikacie.
- Zasilanie silników przez przetwornice wymaga również dodatkowych zabiegów podczas konserwacji – szczególną uwagę należy zwracać na stan zacisków do podłączania przewodów ochronnych i wyrównawczych.
- Jak w przypadku innych urządzeń, najważniejszym dokumentem, do którego zobowiązany jest odnosić się użytkownik, jest instrukcja obsługi – jest ona zawsze dostarczana z urządzeniem.

- W niniejszej publikacji nie poruszono tematu urządzeń do łagodnego rozruchu (softstartów). Producent silnika powinien określić maksymalny czas trwania rozruchu – również dla softstartów.


Przypisy

1. Kopalnia Doświadczalna „BARBARA” jest częścią Głównego Instytutu Górnictwa. Więcej informacji na www.KDBEx.eu.
2. W lutym 2014 parlament europejski przyjął nową dyrektywę ATEX – dyrektywa 2014/34/UE.
3. W przypadku urządzeń kategorii 3 nie ma obowiązku udziału Jednostki Notyfikowanej w ocenie zgodności z dyrektywą ATEX.
4. Obecnie Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL w Sosnowcu.

Literatura

- [1] GÓRNY M.: *Historia bezpieczeństwa przeciwwybuchowego w Polsce* [w:] *Bezpieczeństwo przeciwwybuchowe. Wybrane zagadnienia*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2013, pp. 7–23.
- [2] PN-EN 60079-1 *Atmosfery wybuchowe – Część 1: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą osłon ognioszczelnych „d”*. Polski Komitet Normalizacyjny, 2010.
- [3] GÓRNY M.: *Ciśnienie wybuchu we wnętrzu ognioszczelnych silników indukcyjnych w niskich temperaturach*. „ZPME” 80/2008, pp. 99–105.

- [4] Górny M.: *Propagacja wybuchu przez szczelinę powietrzną silnika ognioszczelnego*. „ZPME” 2(99)/2013, pp. 121–127.
- [5] PN-EN 60079-7 *Atmosfery wybuchowe – Część 7: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą budowy wzmocnionej „e”*. Polski Komitet Normalizacyjny, 2010.
- [6] Górny M.: *Wysokonapięciowe silniki przeciwwybuchowe budowy wzmocnionej*. „ZPME” 2(95)/2012, pp. 77–82.
- [7] PN-EN 60079-2 *Atmosfery wybuchowe – Część 2: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą osłon gazowych z nadciśnieniem „p”*. Polski Komitet Normalizacyjny, 2010.
- [8] PN-EN 60079-15 *Atmosfery wybuchowe – Część 15: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą budowy typu „n”*. Polski Komitet Normalizacyjny, 2010.
- [9] TS 60034-25 *Rotating electrical machines – Part25: Guidance for the design and performance of a.c. motors specifically designed for converter supply*. International Electrotechnical Commission, 2007.
- [10] PN-EN 60079-0 *Atmosfery wybuchowe – część 0 Urządzenia – Podstawowe wymagania*. Polski Komitet Normalizacyjny.

 **dr inż. Michał Górny** – Główny Instytut Górnictwa, Kopalnia Doświadczalna „BARBARA”, e-mail. m.gorny@gig.eu

artykuł recenzowany