

Ryszard Zapaśnik
Instytut Elektrotechniki, Warszawa

WYBRANE ASPEKTY WSPÓŁCZESNEJ SYTUACJI ŚWIATOWEJ W ZAKRESIE SILNIKÓW INDUKCYJNYCH

CHOSEN ASPECTS OF PRESENT WORLD SITUATION IN FIELD OF INDUCTION MOTORS

Abstract: Magnitude of the induction motors in present industrial electric drive. Constructional, technological, material and productive features of the current industrial induction motors. The efficiency as one from of the most important at present parameters of such motors. The different methods of determination the efficiency of motors and the different criteria for classes of efficiency of motors are on world applied at present. This creates barriers for technological development of induction motors and for worldwide market of such motors. The paper presents the workings undertaken by the international standardization (IEC) in aim of elimination these barriers.

1. Wprowadzenie

Wśród ogromnego asortymentu produkowanych obecnie na świecie silników elektrycznych różniących się zasadą działania, mocą, prędkością obrotową, konstrukcją oraz innymi właściwościami i parametrami, największe znaczenie gospodarcze, techniczne i handlowe mają trójfazowe silniki indukcyjne z wirnikiem klatkowym.

Silniki takie o mocach od kilkuset watów do kilkuset kilowatów – zwane przemysłowymi silnikami indukcyjnymi – dzięki swoim zaletom [4] – są podstawą napędu elektrycznego we wszelkiego rodzaju procesach produkcyjnych w przemyśle, rolnictwie, budownictwie, energetyce (napędy potrzeb własnych), usługach i gospodarce komunalnej (np. napędy pomp wodociągowych). Z udziałem ok. 85 %, silniki te dominują w całym europejskim rynku silników elektrycznych [19]. Silniki takie zainstalowane w UE pobierają ok. 70 % energii elektrycznej zużywanej przez przemysł i 38 % energii elektrycznej zużywanej przez sektor usług tych krajów [21] – podobne relacje występują w innych średnio- i wysokoprzemysłowych krajach.

Silniki indukcyjne są jedynym rodzajem silników elektrycznych obejmowanym różnymi funkcjonującymi na świecie fakultatywnymi i obligatoryjnymi programami dotyczącymi ich sprawności w kontekście efektywności energetycznej [19].

Europejski rynek przemysłowych silników indukcyjnych uważany jest za dojrzały, ustabilizowany z perspektywą nieznacznego wzrostu,

przy czym – co jest godne odnotowania – wzrost ten wg [19] będzie napędzany głównie rosnącym popytem w krajach wschodnich UE.

Przez ostatnie 30 lat nie następowały istotniejsze zmiany w rozwiązaniach konstrukcyjnych i procesach technologicznych dotyczących przemysłowych silników indukcyjnych oraz w materiałach czynnych i konstrukcyjnych stosowanych w tych silnikach. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest przeszło stuletnia historia produkcji, aplikacji i eksploatacji silników indukcyjnych powodująca, że jest to obecnie tzw. produkt technicznie dojrzały odporny na różnego rodzaju pomysły innowacyjne [4], [15]. Niebagatelną rolę odegrała tu również ukształtowana w dawnych latach i konserwatywna z zasady międzynarodowa (w konsekwencji także regionalna i krajowa) normalizacja maszyn elektrycznych w ogólności i silników indukcyjnych w szczególności.

W ostatnim czasie w światowej problematyce dotyczącej przemysłowych silników indukcyjnych pojawiły się nowe procesy, których genezą są:

- bariery w światowym handlu silnikami powodowane brakiem harmonizacji norm i przepisów dotyczących silników elektrycznych obowiązujących w różnych krajach i regionach świata;
- niewykorzystywanie tkwiącego w silnikach potencjału oszczędności energii pobieranej z sieci, dotyczy to szczególnie krajów Unii Europejskiej.

Do tych procesów należą podjęte ostatnio działania przez Międzynarodową Komisję Elektrotechniczną (IEC) w zakresie harmonizacji norm dotyczących wyznaczania sprawności silników oraz norm dotyczących klas sprawności silników. W wielu punktach obydwie te działania zbiegają się.

2. Wyznaczanie sprawności

Głównym zadaniem powołanej do życia przeszło 100 lat temu międzynarodowej organizacji IEC było opracowywanie i publikowanie norm międzynarodowych w celu ułatwiającego wymianę handlową ujednoczenia globalnego norm dotyczących wyrobów elektrotechnicznych. Wiele przyczyn złożyło się na to, że odnośnie wielu wyrobów celu tego nie osiągnięto – dotyczy to m.in. silników elektrycznych [8].

W Europie normalizacja z zakresu maszyn elektrycznych oparta jest na normach międzynarodowych IEC. Podstawową normą międzynarodową z zakresu silników elektrycznych jest norma IEC 60034-1 *Rotating electrical machines – Rating and performance*. Co jakiś czas norma ta jest nowelizowana i numer normy jest uzupełniany rokiem nowelizacji. Aktualnie obowiązuje norma [22], która jest normą „matką” dla normy europejskiej [23] o takim samym tytule i normy krajowej [24].

Na kontynencie amerykańskim (USA, Kanada) normy z zakresu maszyn elektrycznych (IEEE, NEMA, CSA) oparte są na odmiennych w wielu sprawach zasadach i różnią się istotnie od norm IEC.

W pozostałych krajach świata normalizacja w zakresie maszyn elektrycznych, jest oparta na normach IEC lub normach amerykańskich, zależnie od stopnia współpracy gospodarczej danego kraju z Europą lub USA.

Oznacza to, że w normalizacji światowej dotyczącej maszyn elektrycznych funkcjonują do tej pory dwa różniące się pod względem formalnym i merytorycznym rodzaje norm: oparte na normach międzynarodowych IEC oraz oparte na normach amerykańskich IEEE (badania) i NEMA (inne zagadnienia).

W ostatnich latach za priorytetowy problem silników elektrycznych uznawana jest ich efektywność energetyczna. Parametrem silnika określającym tę efektywność jest jego sprawność. Wzmiankowana wyżej różnica norm IEC i norm amerykańskich przejawia się również w traktowaniu tego tak ważnego obecnie parametru silnika.

Pod tym względem dotychczasowe normy IEC wyraźnie ustępowały normom amerykańskim, tak w kontekście formalnym jak i merytorycznym.

O małym znaczeniu, jakie dotychczas przywiązywano w normach IEC do sprawności jako parametru silnika może świadczyć fakt, że wśród wymienionych w podstawowej normie międzynarodowej IEC 60034-1 kilkunastu parametrach i oznaczeń, które powinny być umieszczone na tabliczce znamionowej silnika, nie ma sprawności znamionowej, a jest np. znamionowy współczynnik mocy – drugorzędny parametr energetyczny.

Zalecane w Publikacji IEC [25] – nie mającej formalnego statusu normy międzynarodowej, ale za taką normę powszechnie uważanej - metody wyznaczania sprawności silników od dawna budziły zastrzeżenia specjalistów odnośnie dokładności tych metod [1]. To było powodem, że przy końcu lat 90 ub. wieku na forum IEC podjęto pracę nad nową normą międzynarodową dotyczącą wyznaczania sprawności silników indukcyjnych. W rezultacie tych prac, w roku 2002 powstała norma IEC [26], która spełniała dwa zadania: zapewniała większą niż publikacja [25] dokładność wyznaczania sprawności oraz działała na rzecz ujednoczenia w skali światowej norm dotyczących wyznaczania tego parametru silnika m.in. dlatego, że podstawową metodą zalecaną w tej normie jest zmodyfikowana w pewnym stopniu amerykańska metoda „*Input-Output With Loss Segregation*.” (IEEE-112 metoda B).

Niestety, w wyniku głosowania przeprowadzonego przez Europejski Komitet Normalizacyjny Elektrotechniki CENELEC, norma IEC [26] nie została przyjęta jako norma europejska EN i w konsekwencji ta próba ujednoczenia w skali światowej normalizacji dotyczącej sprawności silników indukcyjnych zakończyła się fiaskiem. Ta nienormalna w dobie dzisiejszej, szkodliwa dla handlu światowego sytuacja braku ujednoczenia w zakresie metod wyznaczania sprawności silników, spowodowała podjęcie kilka lat temu przez IEC ponownych działań na rzecz unormowania tej sytuacji.

Wynikiem tych działań jest ustanowiona w roku 2007 norma IEC 60034-2-1:2007 [16]. Zawiera ona metody wyznaczania sprawności na podstawie badań maszyn prądu stałego oraz maszyn synchronicznych i indukcyjnych prądu przemiennego, wszystkich wielkości objętych normą podstawową IEC 60034-1:2004. Norma

IEC 60034-2-1:2007 została przyjęta jako norma europejska EN 60034-2-1:2007 pod takim samym tytułem oraz jako norma polska PN-EN 60034-2-1:2008 [27].

Norma IEC 34-2-1:2007 wprowadza sporo nowych zapisów i znaczących innowacji dotyczących wyznaczania sprawności silników indukcyjnych:

- wymienia 10 metod (procedur) wyznaczania sprawności silników indukcyjnych, wśród nich metodę strat poszczególnych z nowo wprowadzonym do norm sposobem (*Eh-star*) pomiaru strat dodatkowych;
- pod względem dokładności metody te są charakteryzowane tzw. *względą niepewnością*, klasyfikowaną jako *niska*, *średnia*, *wysoka*; przy czym: *niska* odnosi się do metod opartych wyłącznie na wynikach pomiarów; *średnia* do metod opartych na określonej liczbie przybliżeń (approximations); *wysoka* do metod opartych na założeniach (assumptions);
- norma nie określa szczegółowych zasad wyboru metody gdyż zależy to od konkretnej sytuacji: wymagana dokładność wyniku, rodzaj i wielkość badanego silnika, posiadane wyposażenie pomiarowe, zaleca jednak zawsze kierować się kryterium jak najniższej niepewności;
- w normie w rozdziale dotyczącym ogólnych informacji o metodach wyznaczania sprawności znajduje się uwaga „*Metody wyznaczania sprawności opierają się na pewnej liczbie założeń. Dlatego nie można porównywać wartości sprawności wyznaczonych różnymi metodami.*” Słuszność tej uwagi jest oczywista. Dobrze się stało, że uwaga taka znalazła się w normie. Bardzo często ten aspekt porównywania sprawności silników i obliczania efektu energetycznego z zastąpienia silnika standardowego silnikiem energooszczędnym jest nieświadomie nie brany pod uwagę.

Normę IEC 60034-2-1:2007, opracowaną na zasadzie porozumienia i kompromisu normalizacji europejskiej i północnoamerykańskiej, trzeba uznać za od dawna oczekiwany przełom w normalizacji światowej dotyczącej wyznaczania sprawności maszyn elektrycznych, w tym przemysłowych silników indukcyjnych.

3. Klasy sprawności

Na świecie jest w użyciu kilkanaście różnych się systemów klasyfikowania poziomu

sprawności przemysłowych silników indukcyjnych, co stwarza zamieszanie, tworzy bariery rynkowe i jest dużym problemem dla producentów silników dostarczających wyrób na rynek globalny.

To było powodem opracowania przez IEC i ustanowienia z końcem ubiegłego roku międzynarodowej normy IEC 60034-30 dotyczącej klas sprawności silników indukcyjnych [17].

Norma obejmuje silniki niskonapięciowe (do 1000 V), o mocach 0,75 – 370 kW, liczbie biegunów 2, 4 lub 6, na częstotliwość 50 Hz lub 60 Hz.

Norma ustanawia cztery klasy sprawności IE (International Energy-efficiency Class):

- IE1 – sprawność standardowa (odpowiednik klasy EFF2 wg CEMEP/UE);
- IE2 - sprawność wysoka (odpowiednik klasy EFF1 wg CEMEP/UE oraz EPAAct/USA)
- IE3 - sprawność Premium (odpowiednik NEMA Premium/USA);
- IE4 – sprawność Super Premium (przewidywana dla rozwiązań przyszłościowych).

Wymagane dla poszczególnych klas (IE1, IE2, IE3) sprawności znamionowe silników są podane w formie tabelarycznej oraz w formie wzoru matematycznego umożliwiającego uwzględnianie różnych regionalnych i krajowych różnic w gabarytach i mocach silników. Sprawność silników powinna być wyznaczana zgodnie z wcześniej wzmiankowaną nową normą IEC 60034-2-1, przy czym dla silników klasy IE1 dopuszcza się metody z niską lub średnią niepewnością, natomiast dla silników wszystkich wyższych klas sprawność powinna być wyznaczana tylko metodami z niską niepewnością. (Oznacza to, że w procedurach dotyczących klas sprawności IE nie znajdują w ogóle zastosowania wymienione w normie IEC 60034-2-1 metody z wysoką niepewnością.)

Zgodnie z normą IEC 60034 30 na tabliczce znamionowej silnika powinny być umieszczone w sposób trwały: deklarowana przez producenta sprawność znamionowa silnika oraz klasa sprawności IE, przy czym sprawność znamionowa powinna być wyższa lub równa wartości sprawności wymaganej w normie dla danej klasy IE. (Nie dotyczy to silników, których sprawność jest niższa niż wymagana dla klasy standardowej IE1).

Sprawność każdego egzemplarza silnika wyznaczona dla mocy znamionowej, przy znamionowym napięciu i znamionowej częstotliwości nie może być niższa od sprawności znamiono-

wej minus tolerancja według normy podstawowej IEC 60034-1.

Przewiduje się, że wymagania odnośnie poziomu sprawności dla klasy Super Premium IE4 będą określone w następnym wydaniu normy IEC 60034-30. Należy się liczyć z tym, że spełnienie tych wymagań będzie wymagało zastosowania silników o rozwiązaniu innym niż indukcyjne klatkowe [17]. Według [20] mogą to być np. silniki oparte na technice magnesów trwałych, dostępne już na rynku, ale jeszcze nie produkowane na skalę przemysłową w odpowiednim zakresie mocy.

4. Podsumowanie

- Ze wszystkich rodzajów silników elektrycznych największe znaczenie gospodarcze, techniczne i handlowe mają trójfazowe silniki indukcyjne z wirnikiem klatkowym. Nic nie wskazuje aby miało to ulec zmianie w najbliższej przyszłości.
- Od kilku dziesiątków lat w budowie tych silników, pod względem konstrukcji, technologii i materiałów nie zachodzą istotniejsze zmiany.
- Zarysowuje się tendencja przywiązywania mniejszej wagi do silników jako jednostek napędowych, a większej jako urządzeń pobierających energię elektryczną. Przyczyną tego jest z jednej strony panująca obecnie na świecie i intensywnie nagłaśniana atmosfera wokół problemu efektywności energetycznej urządzeń i procesów produkcyjnych, a z drugiej - potężny potencjał oszczędności energii tkwiący w silnikach indukcyjnych.
- W kontekście tak ważnego obecnie problemu jakim jest efektywność energetyczna silników szczególnego znaczenia nabrała sprawność jako jeden z głównych parametrów silnika określający jego poziom techniczny i wartość handlową.
- Traktowanie przez wiele lat w normalizacji międzynarodowej sprawności jako parametru silnika o drugorzędym znaczeniu, przyczyniło się do braku światowego ujednoczenia norm dotyczących wyznaczania sprawności, co skutkuje, liczącymi się konsekwencjami produkcyjnymi i handlowymi w wymiarze globalnym.
- Jako przełom w normalizacji międzynarodowej w zakresie sprawności silników, należy uznać opracowanie i wydanie ostatnio przez IEC dwóch nowych norm, dotyczących wyznaczania sprawności oraz ustalania klas sprawności silników indukcyjnych.

- Nowe normy nie tylko przyczynią się do od dawna oczekiwanego ujednoczenia światowego norm dotyczących sprawności silników, ale będą również stanowić podstawowe narzędzie niezbędne do realizacji różnego rodzaju regionalnych i światowych nowych przedsięwzięć w zakresie efektywności energetycznej silników – np. wynikających z zamierzonego objęcia w najbliższej przyszłości silników indukcyjnych dyrektywą UE 2005/32/EC i traktowaniu silnika w kategoriach wyrobu *ecodesign* [20], [21].

- Ustanowienie w normie IEC 60034-30 najwyższej przyszłościowej klasy sprawności IE4 stanowi impuls do podejmowania prac nad silnikami energooszczędnymi również innymi niż indukcyjne klatkowe.

5. Literatura

- [1] Zapaśnik R.: *Sprawność – parametr numer jeden silników energooszczędnych*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne, nr 55, 1998, wyd. BOBRME Komel
- [2] Zapaśnik R.: *Silniki indukcyjne przemysłowe u progu nowego stulecia*. Wiadomości Elektrotechniczne, nr 6, 2000
- [3] Zapaśnik R.: *Stan obecny i podejmowane w świecie kierunki dalszych działań w zakresie oszczędzania energii w napędach elektrycznych*. XIV Konferencja „Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej” IGSMiE PAN, Zakopane, 5 - 8 listopada 2000
- [4] Zapaśnik R.: *Niektóre aspekty współczesnych trendów rozwojowych maszyn indukcyjnych*. XXXVIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRICAL MACHINES SME'2002, Cedyzna-Kielce, Poland June 18-21, 2002
- [5] Zapaśnik R.: *Współczesne trendy rozwojowe przemysłowych silników indukcyjnych*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne, nr 64, 2002, wyd. BOBRME Komel
- [6] Jakubiec M., Zapaśnik R.: *Aktualne problemy krajowe w zakresie efektywności energetycznej silników*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne, nr 67, 2003, wyd. BOBRME Komel
- [7] Zapaśnik R.: *Silniki energooszczędne – współczesne wyzwania, bariery, programy*. Proceedings XL INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRICAL MACHINES SME'2004, Hajnówka, Poland, 15-18 June 2004
- [8] Zapaśnik R.: *Zagmatwana sytuacja w normalizacji światowej odnośnie metod wyznaczania sprawności silników indukcyjnych*. Nowa Elektrotechnika, nr 2, 2005
- [9] Liszka S.: *Konferencja EEMODS 05*. Nowa Elektrotechnika, nr 11, 2005

- [10] Zapaśnik R.: *Niektóre aspekty doboru silników energooszczędnych zastępujących silniki standardowe*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne, nr 74, 2006, wyd. BOBRME Komel
- [11] Brzoza-Brzezina K.: *Polski program efektywnego wykorzystania energii w napędach elektrycznych PEMP*. Nowa Elektrotechnika, nr 2, 2006
- [12] Wawrzeszkiewicz K.: *Niektóre zagadnienia konstrukcji i technologii współczesnych silników indukcyjnych, uwzględniające realia rynku krajowego*. Nowa Elektrotechnika, nr 2, 2006
- [13] Zapaśnik R.: *Targi Hanowerskie*. Nowa Elektrotechnika, nr 5, 2007
- [14] Zapaśnik R.: *Some Aspect of a Choice of the Energy-Efficient Motors Used in the Place of the Standard Motors*. EEMODS 2007-Energy Efficiency in Motor Driven Systems, Beijing/China, 10-15 June 2007
- [15] Zapaśnik R.: *Silniki z odlewana miedzianą klatką wirnika – aktualna sytuacja*. Nowa Elektrotechnika, nr 9, 2007
- [16] IEC 60034 – 2 – 1. Edition 1.0 2007 – 09. INTERNATIONAL STANDARD. *Rotating electrical machines – Part 2 – 1: Standard methods for determining losses and efficiency from test (excluding machines for traction vehicles)*
- [17] IEC 60034 – 30. Edition 1.0 2008 – 10. INTERNATIONAL STANDARD. *Rotating electrical machines – Part 30: Efficiency classes of single – speed, three – phase, cage – induction motors (IE – code)*
- [18] Śliwiński T.: *Metody obliczania silników indukcyjnych t.1 Analiza*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 2008
- [19] Anibal T. de Almeida i inni: *EUP Lot Motors, Final*. Coimbra February 2008
- [20] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Brussels C(2009) final Draft. *COMMISSION REGULATION implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for electric motors and their variable speed drives*.
- [21] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Brussels Draft *Explanatory Memorandum accompanying COMMISSION REGULATION (EC) No. /.. of [...] REGULATION implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for electric motors and their variable speed drives*.
- [22] IEC 60034–1:2004 *Rotating electrical machines – Rating and performance*
- [23] EN 60034-1:2004 *Rotating electrical machines – Rating and performance*
- [24] PN-EN 60034-1:2005 *Maszyny elektryczne wirujące. Dane znamionowe i parametry*.
- [25] IEC 34-2 *Rotating electrical machines. Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests*.
- [26] IEC 61972:2002 *Method for determining losses and efficiency of three-phase cage induction motors*.
- [27] PN-EN 60034-2-1:2008 *Maszyny elektryczne wirujące - Część 2-1: Metody wyznaczania strat i sprawności na podstawie badań (z wyjątkiem maszyn pojazdów trakcyjnych)*.

Autor

Dr hab. inż. Ryszard Zapaśnik, prof. IEL,
e-mail: r.zapasnik@iel.waw.pl
Instytut Elektrotechniki,
ul. Pożaryskiego 29, 04-703 Warszawa