

Klasy sprawności silników indukcyjnych niskiego napięcia

Tomasz Zieliński, Szymon Liszka

Produkowane obecnie silniki indukcyjne są urządzeniami o wysokiej sprawności (rysunek 1), szczególnie w porównaniu ze sprawnościami urządzeń, które zwykle napędzają. Dodatkowo różnice w sprawnościach dostępnych na rynku silników, które są rzędu kilku punktów procentowych (tabela 1), prawdopodobnie nie robią dużego wrażenia na kupujących.

Jeśli uwzględnić jeszcze wyższe ceny silników wysoko sprawnych, ma-

my skutek w postaci znikomego udziału w rynku silników energooszczędnych, który w Polsce jest bliski zera, a w przypadku całej UE wynosi ok. 8% (2004) dla silników klasy eff1.

Warto zwrócić uwagę, że w trakcie eksploatacji już w czasie pierwszych kilkuset godzin silnik pobiera energię elektryczną o wartości równej cenie jego zakupu, w ciągu roku pobrana energia

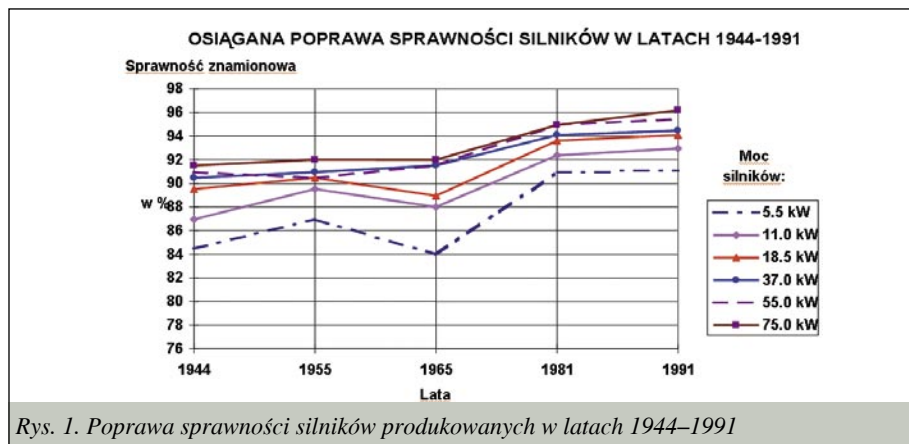


Tabela 1. Sprawności znamionowe silników 4-biegunowych niskiego napięcia produkcji polskiej (serie Sf, Sg, SEE) oraz silników produkowanych w innych krajach UE na tle klasyfikacji CEMEP (Eff2, Eff1)

Moc	Sf ¹	Sg min ¹	Sg max ¹	SEE ¹	Eur min ²	Eur max ²	Eff2	Eff1
kW	%	%	%	%	%	%	%	%
1,1	74	74	76	83,8	72	85,2	76,2	83,8
1,5	77	77	78,1	85	74	85	78,5	85
2,2	80	75	82	86,4	76	87,5	81	86,4
3	81	81	82,7	87,4	77	87,1	82,6	87,4
4	83,5	81,5	85,1	88,3	80	89,1	84,2	88,3
5,5	85	82	85,9	89,2	81,4	90	85,7	89,2
7,5	86,5	86,5	87	90,1	83,5	90,9	87	90,1
11	88,5	87	89,3	91	84	92	88,4	91
15	89	89,5	91	91,8	87	92,2	89,4	91,8
18,5	90	90,5	90,8	92,2	88	93,3	90	92,2
22	90	91	91,5	92,6	89	94	90,5	92,6
30	92	92,5	92,5	93,5	89	94,2	91,4	93,2
37	91,5	92,6	93	94,3	89,5	94,3	92	93,6
45	92,5	94	94	94,5	91	95	92,5	93,9
55	92,5	93,5	93,5	95	91	95,1	93	94,2
75	94	94	94,2	95,2	92	95,7	93,6	94,7
90	93	94,4	94,8	95,2	92,5	95,9	93,9	95

Oznaczenia:

Sf	Silniki produkcji krajowej seria Sf (lata 70. i 80.).
Sg min	Silniki produkcji krajowej seria Sg, dostępne obecnie na rynku, najniższe sprawności.
Sg max	Silniki produkcji krajowej seria Sg, dostępne obecnie na rynku, najwyższe sprawności.
SEE	Silniki produkcji krajowej o wysokiej sprawności seria SEE.
Eur min	Silniki dostępne na rynku europejskim, najniższe sprawności.
Eur max	Silniki dostępne na rynku europejskim, najwyższe sprawności.
Eff2	Minimalne poziomy sprawności wymagane dla klasy eff2.
Eff1	Minimalne poziomy sprawności wymagane dla klasy eff1.

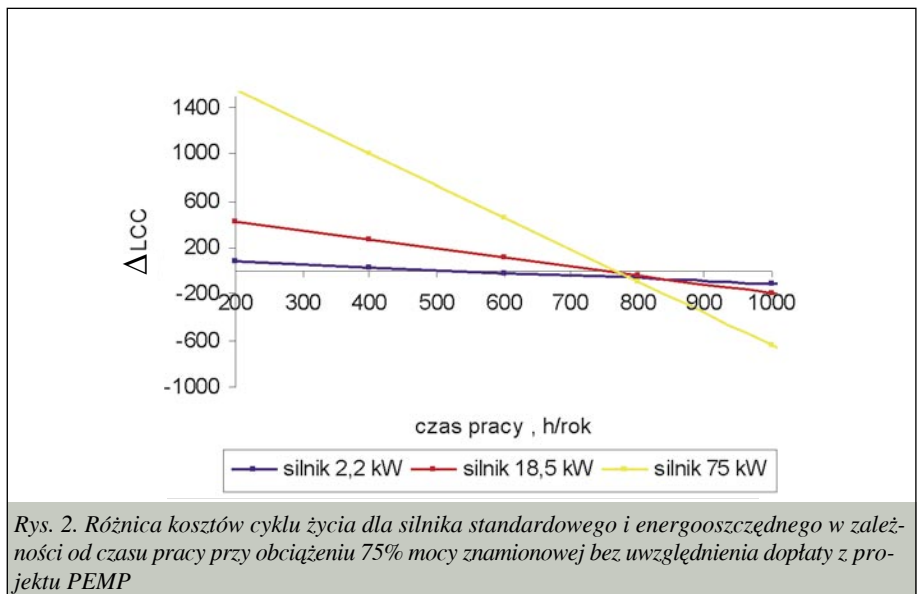
1 – na podstawie bazy EFEMotor

2 – na podstawie bazy EURODEEM

kosztuje kilka do kilkunastu razy więcej niż cena silnika, a w ciągu całego okresu pracy silnika koszt pobranej prądu energii może przekroczyć stukrotnie jego cenę (dla przypadku ciągłej pracy pod pełnym obciążeniem). Opłacalność stosowania silników energooszczędnych mierzona czasem zwrotu nakładów inwestycyjnych poniesionych dodatkowo na zakup takiego silnika zamiast standardowego bądź poprzez porównanie kosztów ponoszonych w cyklu życia silnika (LCC) standardowego i energooszczędnego (rysunek 2) zależy jednak od wielu czynników, w tym od:

- różnicy cen silnika energooszczędnego i standardowego;
- ceny energii elektrycznej;
- różnicy sprawności przy różnych obciążeniach silnika standardowego i energooszczędnego;
- stopnia obciążenia silnika;
- rocznego czasu pracy.

Zazwyczaj kupujący nie wie, w jakich warunkach i jak długo będzie pracował silnik, lub nie jest skłonny prowadzić szczegółowych analiz porównawczych poszczególnych silników. W takich przypadkach często prosta informacja dotycząca klas efektywności



Rys. 2. Różnica kosztów cyklu życia dla silnika standardowego i energooszczędnego w zależności od czasu pracy przy obciążeniu 75% mocy znamionowej bez uwzględnienia dopłaty z projektu PEMP

energetycznej urządzeń jest wystarczająca dla podjęcia decyzji o zakupie i zastosowaniu silnika energooszczędnego. Klasyfikacja pod względem efektywności energetycznej i odpowiednie etykietowanie urządzeń ma szerokie zastosowanie w sprzęcie AGD, oświetleniu czy ostatnio w budownictwie. Silniki elektryczne nie są wyjątkiem i również dla nich wiele takich systemów klasyfikacji zostało stworzonych. Odpowiednio oznaczone silniki energooszczędne do-

stępne są obecnie na rynku. W przypadku Polski silniki energooszczędne można nabywać po obniżonych cenach ze względu na dopłaty oferowane przez projekt PEMP (www.pemp.pl).

Klasyfikacja silników pod względem sprawności i standardy minimalne

Wyznaczanie sprawności silników elektrycznych, w tym silników energooszczędnych, jest regulowane wieloma

reklama



93,3% 93,7% 94,0% 94,6% 95,0%

elektryczne

SILNIKI ENERGOOSZCZĘDNE

dostępne po znacznie NIŻSZYCH CENACH

dzięki dopłatom z Funduszu na rzecz Globalnego Środowiska

Elektryczne silniki energooszczędne to:

- najwyższa sprawność energetyczna,
- największa trwałość i niezawodność,
- większa przeciążalność,
- cichsza praca,
- znacznie niższe koszty eksploatacji.

Silniki energooszczędne po bardzo atrakcyjnych cenach dostępne są już u producentów uczestniczących w programie PEMP. Dane adresowe producentów oraz szczegóły dotyczące silników znajdują się na stronie internetowej www.pemp.pl

Więcej informacji uzyskać można w agencjach wdrażających projekt:



Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A. (KAPE S.A.)
ul. Mokotowska 35, 00-560 Warszawa, tel.: (+48) 22 626 0910, www.kape.gov.pl



Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii (FEWE)
ul. Wierzbowa 11, 40-169 Katowice, tel.: (+48) 32 203 5114, www.fewe.pl



Tabela 2. Zestawienie wymagań dla sprawności silników budowy zamkniętej wg EPAct i NEMA [7]

Moc HP	6-biegunowe		4-biegunowe		2-biegunowe	
	EPAct	NEMA Premium	EPAct	NEMA Premium	EPAct	NEMA Premium
1	80	82,5	82,5	85,5	75,5	77
1,5	85,5	87,5	84	86,5	82,5	84
2	86,5	88,5	84	86,5	84	85,5
3	87,5	89,5	87,5	89,5	85,5	86,5
5	87,5	89,5	87,5	89,5	87,5	88,5
7,5	89,5	91	89,5	91,7	88,5	89,5
10	89,5	91	89,5	91,7	89,5	90,2
15	90,2	91,7	91	92,4	90,2	91
20	90,2	91,7	91	93	90,2	91
25	91,7	93	92,4	93,6	91	91,7
30	91,7	93	92,4	93,6	91	91,7
40	93	94,1	93	94,1	91,7	92,4
50	93	94,1	93	94,5	92,4	93
60	93,6	94,5	93,6	95	93	93,6
75	93,6	94,5	94,1	95,4	93	93,6
100	94,1	95	94,5	95,4	93,6	94,1
125	94,1	95	94,5	95,4	94,5	95
150	95	95,8	95	95,8	94,5	95
200	95	95,8	95	96,2	95	95,4
250	–	95,8	–	96,2	–	95,8
300	–	95,8	–	96,2	–	95,8
350	–	95,8	–	96,2	–	95,8
400	–	95,8	–	96,2	–	95,8
450	–	95,8	–	96,2	–	95,8
500	–	95,8	–	96,2	–	95,8

normami, które w szczególności różnią się między sobą. Przykładowo:

- norma międzynarodowa IEC 61972 „Metody wyznaczania strat i sprawności trójfazowych silników indukcyjnych klatkowych”;
- norma europejska EN 60034-2 (oraz odpowiednik krajowy PN-E 60034-2);
- norma amerykańska IEEE 112;
- norma kanadyjska CSA – C390-90 (równoznaczna z IEEE 112 w wyniku harmonizacji standardów USA i Kanady, realizowanej w ramach Porozumienia o Wolnym Handlu) – obejmuje szerszy zakres silników niż norma amerykańska, np.: silniki specjalnych zastosowań [2];
- norma japońska JEC-37 (nie uwzględnia strat dodatkowych obciążeniowych);
- normy australijskie i nowozelandzkie: AS 1359.102.1 (odpowiadająca normie IEC 60034-2) oraz AS/NZS 1359.102.3 (odpowiadająca normie IEEE 112).

W Polsce dodatkowo mamy normy:

- PN-E-06741 „Silniki indukcyjne trójfazowe o wysokiej sprawności”;

- SEP-E-006 „Silniki energooszczędne (silniki o wysokiej sprawności). Wymagania. Wytyczne doboru. Komentarz”.

W konsekwencji rozbieżności w podejściu do wyznaczania sprawności na świecie stosuje się różne standardy klasyfikacji silników i stawia się im różne wymagania w zakresie sprawności minimalnych. Można tu m.in. wymienić standardy: amerykańskie NEMA i EPAct, europejskie CEMEP, standardy środkowo- i południowoamerykańskie COPANT, australijskie i nowozelandzkie AS/NZS, japońskie JIS. Te różne podejścia w klasyfikacji silników pociągają za sobą wiele trudności dla producentów i klientów działających na światowym rynku tych urządzeń.

Poniżej omówiono szczegółowo niektóre z przytoczonych przykładów klasyfikacji silników pod względem sprawności, przedstawiono zestawienie porównawcze.

Działania na rynku północnoamerykańskim – Ustawa EPAct i standardy NEMA

Ustawa EPAct z 1992 r. wprowadziła obowiązkowe minimalne poziomy

sprawności dla silników sprzedawanych na terenie USA. Obejmuje ona 3-fazowe silniki indukcyjne 2-, 4- i 6-biegunowe zgodne ze standardem NEMA Design A i B w zakresie mocy od 1 do 200 HP na napięciu 230/400 V i częstotliwość prądu zasilającego 60 Hz, przewietrzane i zamknięte.

Klasyfikacja NEMA (*The National Electrical Manufacturers Association*) określa poziomy sprawności dla silników o wysokiej sprawności NEMA Premium. Obejmuje ona 3-fazowe silniki indukcyjne 2-, 4- i 6-biegunowe zgodne ze standardem NEMA Design A i B w zakresie mocy od 1 do 500 HP na napięciu 600 V lub niższe i częstotliwość prądu zasilającego 60 Hz, przewietrzane i zamknięte. Dla silników klasyfikowanych wg EPAct i standardów NEMA Premium ich sprawność wyznacza się zgodnie z normą IEEE 112-B. Zestawienie wymagań dla sprawności silników budowy zamkniętej wg EPAct i NEMA Premium pokazano powyżej.

Działania na rynku europejskim – dobrowolne porozumienie CEMEP

W 1999 r. Stowarzyszenie Europejskich Producentów Maszyn Elektrycznych i Energoelektroniki CEMEP określiło trzy klasy sprawności silników indukcyjnych klatkowych z zakresu mocy od 1,1 do 90 kW, oznaczone symbolami Eff1, Eff2, Eff3, co miało spowodować zmniejszenie zakresu zastosowań silników o niskiej sprawności (Eff3) i wzrost sprzedaży silników w klasie Eff2, Eff1.

Dobrowolne porozumienie zaproponowane przez CEMEP (*European Committee of Manufacturers and Power Electronics*) i Komisję Europejską zostało podpisane przez 36 producentów silników elektrycznych. Celem porozumienia było promowanie silników o podwyższonej sprawności. Zdefiniowano tu trzy poziomy sprawności dla 3-fazowych silników indukcyjnych, 2- i 4-biegunowych, w zakresie mocy od 1,1 do 90 kW (silniki budowy zamkniętej na napięcie 400 V i częstotliwość prądu zasilającego 50 Hz, testy sprawności wykonywane metodą pośrednią wg normy IEC 60034-2).

Klasyfikacja ta dzieli silniki na następujące grupy:

- w klasie sprawności Eff3 – silniki o niskiej sprawności;
- w klasie sprawności Eff2 – silniki standardowe (średni poziom sprawności);
- w klasie sprawności Eff1 – silniki o wysokiej sprawności.

Tabela 3. Klasyfikacja dla silników 4-biegunowych [7]

Moc	Eff3	Eff2	Eff1
kW	%	%	%
1,1	<76,2	≥76,2	≥83,8
1,5	<78,5	≥78,5	≥85
2,2	<81	≥81	≥86,4
3	<82,6	≥82,6	≥87,4
4	<84,2	≥84,2	≥88,3
5,5	<85,7	≥85,7	≥89,2
7,5	<87	≥87	≥90,1
11	<88,4	≥88,4	≥91
15	<89,4	≥89,4	≥91,8
18,5	<90	≥90	≥92,2
22	<90,5	≥90,5	≥92,6
30	<91,4	≥91,4	≥93,2
37	<92	≥92	≥93,6
45	<92,5	≥92,5	≥93,9
55	<93	≥93	≥94,2
75	<93,6	≥93,6	≥94,7
90	<93,9	≥93,9	≥95

Silniki oznaczone są następującymi etykietami:



Wymagane poziomy sprawności przedstawiono w tabelach 3 i 4.

Standardy polskie

W Polsce w 1999 r. została opracowana norma PN-E-06741 „Silniki indukcyjne trójfazowe klatkowe o wysokiej sprawności. Wymagania i metody badań”. Określono w niej poziomy sprawności dla wysoko sprawnych silników indukcyjnych 2- do 8-biegunowych w zakresie mocy od 0,75 do 160 kW (tabela 5). Natomiast regulacje w zakresie minimalnych standardów efektywności energetycznej, m.in. dla silników elektrycznych, wprowadzało Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej w sprawie wymagań w zakresie efektywności energetycznej (Dz. U. 2003 nr 79 poz. 714). Akt ten jednak został uchylony w lipcu 2005. Minimalne wymagane wartości sprawności dotyczyły silników indukcyjnych 2- do 8-biegunowych w zakresie mocy do 200 kW. Dla przybliżenia problematyki silników energooszczędnych w 2006 r. Stowarzyszenie Elektryków Polskich wydało nową normę dotyczącą tych silników – N SEP-E-006. W normie tej podano najmniejsze dopuszczalne wartości sprawności dla silników energooszczędnych 2-, 4-,

Tabela 4. Klasyfikacja dla silników 2-biegunowych [7]

Moc	Eff3	Eff2	Eff1
kW	%	%	%
1,1	<76,2	≥76,2	≥82,8
1,5	<78,5	≥78,5	≥84,1
2,2	<81	≥81	≥85,6
3	<82,6	≥82,6	≥86,7
4	<84,2	≥84,2	≥87,6
5,5	<85,7	≥85,7	≥88,6
7,5	<87	≥87	≥89,5
11	<88,4	≥88,4	≥90,5
15	<89,4	≥89,4	≥91,3
18,5	<90	≥90	≥91,8
22	<90,5	≥90,5	≥92,2
30	<91,4	≥91,4	≥92,9
37	<92	≥92	≥93,3
45	<92,5	≥92,5	≥93,7
55	<93	≥93	≥94,4
75	<93,6	≥93,6	≥94,6
90	<93,9	≥93,9	≥95,0

6-, 8-biegunowych w zakresie mocy od 0,75 do 160 kW oraz przedstawiono szereg zagadnień praktycznych związanych z doбором i stosowaniem tych silników (tabela 5).

Tabela 5. Minimalne wymagania sprawności silników indukcyjnych niskiego napięcia 4-biegunowych o podwyższonej sprawności wg PN-E-06741 i normy SEP[4, 5]

Moc	PN-E-06741 ²	N SEP-E-006
kW	%	%
0,75	83,9	80,5
1,1	84,8	82,2
1,5	84,8	83,5
2,2	88,3	84,9
3	88,3	86
4	89,2	87
5,5	90	87,9
7,5	90	88,9
11	91,5	89,9
15	91,5	90,8
18,5	92,8	91,2
22	92,8	91,6
30	93,4	92,3
37	93,4	92,8
45	93,9	93,1
55	94,2	93,5
75	94,6	94
90	94,6	94,4
110	95	94,7
132	95	94,9
160	95	95,2

Uwagi końcowe

Niezależnie od różnic w metodach wyznaczania sprawności silników elektrycznych istniejące sposoby ich klasyfikacji pozwalają na zdefiniowanie silnika energooszczędnego i jego czytelne oznakowanie, które powinno stanowić ważną informację dla kupującego. Jednak istniejące rozbieżności w tym zakresie stanowią utrudnienie zarówno dla producentów, jak i konsumentów. W związku z tym obecnie podjęte zostały prace nad ujednoczeniem klasyfikacji i sposobu oznaczania silników ze względu na ich efektywność energetyczną w ramach nowej normy międzynarodowej IEC.

Literatura

- [1] ZAPAŚNIK R.: *Sprawność – parametr numer jeden silników energooszczędnych*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne nr 55/1998. Wydawnictwo Branżowego Ośrod-

- ka Badawczo-Rozwojowego Maszyn Elektrycznych KOMEL.
- [2] CHODANIONEK J.: *Energooszczędność na rynku amerykańskim. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne* nr 63/2001. Wydawnictwo Branżowego Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Maszyn Elektrycznych KOMEL.
- [3] PN-EN 60034-2 *Maszyny elektryczne wirujące. Metody wyznaczania strat i sprawności na podstawie badań*. PKN, luty 2000.
- [4] PN-E-06741 *Maszyny elektryczne wirujące. Silniki indukcyjne trójfazowe klatkowe o wysokiej sprawności. Wymagania i metody badań*. PKN, sierpień 1999.
- [5] N SEP-E-006 *Silniki energooszczędne – silniki o wysokiej sprawności. Wymagania. Wytyczne doboru*. Komentarz. SEP, 2006.
- [6] Projekt normy IEC 2/1392/NP. – IEC 60034-XY: ROTATING ELECTRICAL MACHINES – Part XY: *Efficiency classes of single-speed three-phase cage induction motors*
- [7] witryny internetowe:
<http://www.energyrating.gov.au/motor2.html>
<http://www.aceee.org/Motors/epactapp.htm>
<http://www.nema.org/gov/energy/efficiency/premium/>
<http://www.cemep.org/cemep/index.htm>.

Tomasz Zieliński – Fundacja na Rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii – Centrum PEMP
Szymon Liszka – Fundacja na Rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii