

Сравнителен анализ на нормативни документи за енергийна ефективност на асинхронните електродвигатели

Миглена Христова, Вяра Русева

Comparative Analysis of the Three-phase Induction Motors Energy Efficiency Regulations: This paper provides an overview of the currently applied regulations that determine the energy performance of induction motors, which are used in evaluating their energy efficiency. As a result of the comparisons, the paper demonstrates that there exist many methods for evaluating the induction motors efficiency and, even if the same method is applied, different results could be obtained due to different requirements for the instrumentation and estimation procedures. In order to perform comparative analysis of the energy efficiency calculated it is necessary to harmonize the standards or to use a single standard worldwide.

Key words: induction motor, energy efficiency, international standards

ВЪВЕДЕНИЕ

Усилията за намаляване потреблението на електрическа енергия в света са насочени към трифазните асинхронни двигатели (АД), като един от най-големите консуматори. Приемат се нормативни документи, които въвеждат задължителни изисквания за минимални нива на ефективност за АД [2,3], сключват се доброволни споразумения за намаляване използването на двигатели от нисък енергиен клас.

В света се използват множество стандарти за изпитване на електрическите машини и определяне енергийната им ефективност. Най-широко използваните стандарти в тази област са разработени от: Международната електротехническа комисия (International Electrotechnical Commission (IEC)), от Института на инженерите по електроника и електротехника (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)) и от Националната асоциация на производителите на електроапаратура (National Electrical Manufacturers Association (NEMA)).

Прилагането на множество стандарти за изпитване на електрическите машини, дори при използване на метода за сумиране на загубите [5], води до получаване на различни стойности за к.п.д. [2]. Това се дължи основно на различия в: третирането на допълнителните загуби; условията за изпитване на двигателите [4]; изискванията по отношение на точността на измервателните уреди и в изчислителната процедура.

Използването на различни стандарти за определяне на енергийната ефективност на двигателите дава информация за енергийните показатели, но прави невъзможно сравняването на ефективността на двигателите. Това затруднява потребителите да направят информиран избор.

Целта на работата е да се направи сравнителен анализ на световните и европейски действащи стандарти за изпитване и определяне к.п.д. на АД.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В табл. 1. в обобщен вид е показана информация за широко използваните стандарти за изпитване на електрическите машини и за определяне на енергийната им ефективност (в частност на АД).

Основно се използват два вида методи за намиране к.п.д. на АД: директен и индиректен метод. При директния метод се измерва консумираната мощност, а отдадената (ползна) мощност на АД се изчислява посредством измерване на въртящия момент и честотата на въртене

$$P_2 = M_2 n \quad (1)$$

За изчисляване на к.п.д. при този метод се използва отношението на P_2/P_1 .

За да се направят необходимите измервания по директния метод са необходими измервателни уреди с висока точност, тъй като грешката при

определяне на к.п.д. в този случай може да е доста голяма. Консумираната и отдаваната мощност от асинхронния двигател са близки по стойност величини, особено при двигателите от висок енергиен клас, което намалява точността на метода.

Таблица 1.

Стандарти за изпитване на електрическите машини

Стандарт	Наименование	Разработен от	Област на приложение
IEC 61972 2002	Методи за определяне загубите и коефициента на полезно действие на трифазни асинхронни двигатели с накъс-соединен ротор	Международна електротехническа комисия (IEC)	Международно
IEC 60034-2-1 2007	Въртящи се електрически машини. Част 2-1: Стандартни методи за определяне на загубите и коефициента на полезно действие от изпитвания (с изключение на машините за транспортни средства)	Международна електротехническа комисия (IEC)	Основно в Европа
IEEE 112 2004	Стандартни методи за изпитване на многофазни асинхронни двигатели и генератори	Институт на инженерите по електроника и електротехника (IEEE)	САЩ
MG1:2011	Двигатели и генератори	Национална асоциация на производителите на електроапаратура (NEMA)	САЩ
JEC 37 1979	Стандарт за асинхронни машини	Японска електротехническа комисия (Japanese Electrotechnical Committee (JEC))	Япония
C-390-2010	Методи за изпитване енергийната ефективност на трифазни асинхронни двигатели	Канадска асоциация по стандартизация (Canadian Standards Association (CSA))	Канада

При индиректните методи се намира сумата от загубите. Обикновено се измерва консумираната мощност, а отдадената мощност и к.п.д. се изчисляват по формулите:

$$P_2 = P_1 - \sum P_{\text{заг}}; \quad (2)$$

$$\eta = 1 - \frac{\sum P_{\text{заг}}}{P_1}. \quad (3)$$

Определянето на пълните загуби се извършва по един от един от следните два метода: измерване на пълните загуби или поотделно определяне на различните видове загуби и последващо сумиране, с цел получаване на пълните загуби.

При втория метод, за определянето на петте съставки на загубите се провеждат различни опити при празен ход и натоварване. Загубите в статорната и роторната намотка и механичните загуби се изчисляват от данните, получени при измерване на консумираната мощност, напрежение, ток и честотата на въртене, а допълнителните загуби се определят по различни начини за отделните стандарти. Методът на сумиране на загубите, известен още като метод на разделяне на загубите, е с най-висока точност и се използва за определяне на к.п.д. на двигателите с мощност (1...150)kW.

Използването на множество стандарти за изпитване на електрическите машини, води до получаване на различни стойности за к.п.д. Това се дължи основно на различия в: третирането на допълнителните загуби; условията за изпитване на двигателите [4]; изискванията по отношение на точността на измервателните уреди и в изчислителната процедура.

Например стандартът IEEE 112 поставя изискване по време на измерванията при изпитване на АД честотата да е в границите $\pm 0,5\%$ от обявената честота, докато в стандарта IEC60034-2-1 това ограничение е $\pm 0,3\%$.

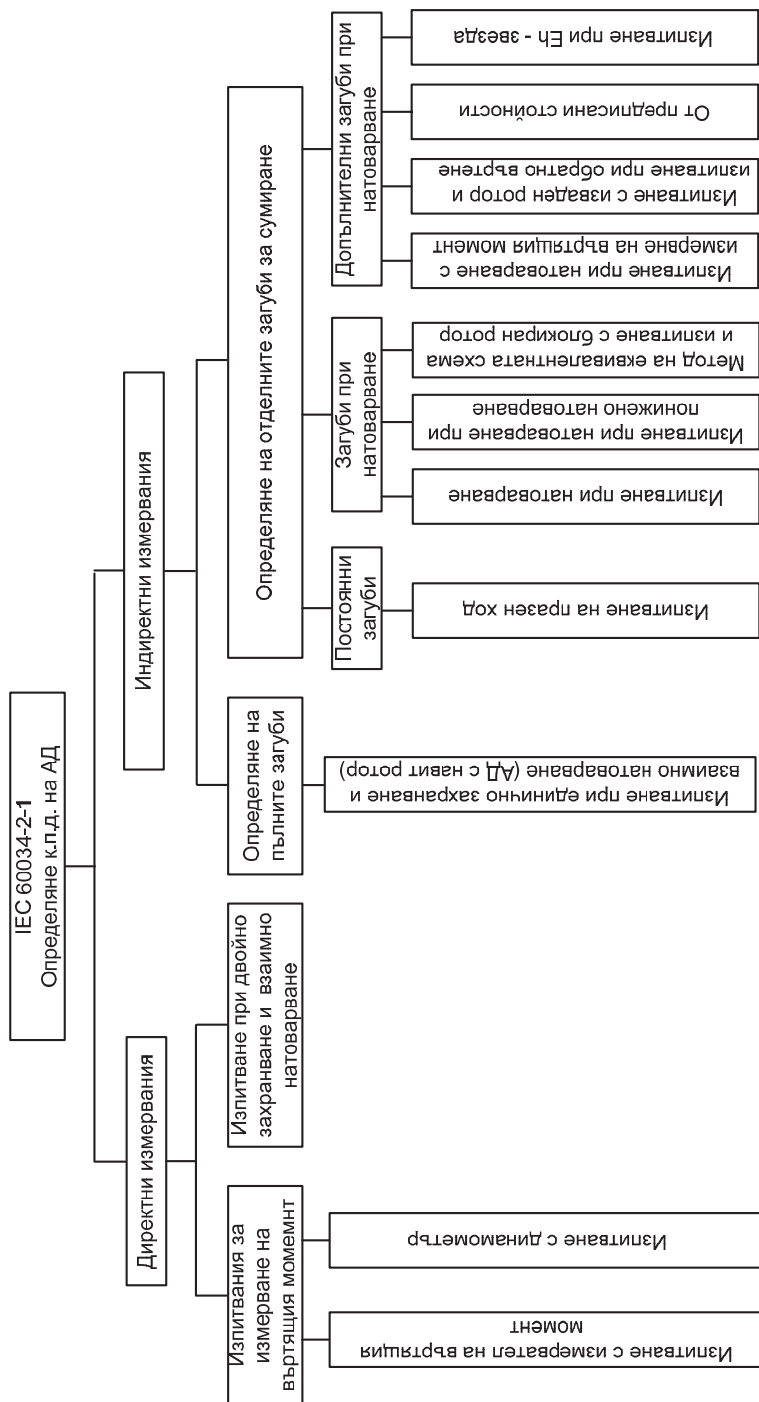
В стандарт IEEE 112 – 2004 са предложени 5 основни метода (означени с А, В, С, Е и F) на изпитване на АД и няколко модифицирани метода (означени с В1, Е1, F1, C/F, E/F и E1/F1). Най-често се използва директния Метод В, при който АД се куплира с динамометър за измерване на момента, а допълнителните загуби се определят посредством индиректно измерване като разлика между общите загуби и останалите четири вида загуби. Методът е приложим за двигатели с мощност до 150kW.

В стария стандарт IEC60034-2 от 1996г. се приема, че допълнителните загуби са 0,5% от консумираната мощност за цялата гама АД, независимо от номиналната им мощност. Процентното съотношение на допълнителните загуби от консумираната мощност съгласно новия стандарт IEC60034-2-1 от 2007г. за определяне на к.п.д. на АД, зависи от мощността на двигателите. В японския стандарт JEC 37 допълнителните загуби се пренебрегват напълно.

Стандартът IEC 61972 – 2002 е разработен да замени стария стандарт IEC60034-2-1996 по отношение изпитването на трифазни асинхронни двигатели и установява два метода за определяне на енергийната ефективност и загубите на АД. Първият метод е подобен на Метод В от стандарт IEEE 112, а вторият се отнася за двигатели, при които не се използват устройства за измерване на момента. И в двата случая процентното съотношение на допълнителните загуби зависи от номинална мощност на двигателите.

Посочените различия показват необходимостта от хармонизиране на стандартите и приемането по възможност на един стандарт от всички държави, което е целта на новия стандарт IEC 60034-2-1 – да внесе по-голяма последователност при изпитване на двигателите в света.

Със стандарта IEC60034-2-1 [5] от 2007г. се отменя действието на стандартите IEC60034-2: 1996 и IEC 61972: 2002. На фиг. 1. е показана блок схема с методите за директно и индиректно определяне на к.п.д. на АД според новия стандарт. Предложени са четири метода за определяне на допълнителните загуби, които са с различна точност.



Фиг. 1. Методи за определяне на к.п.д., съгласно стандарт ИЕС 60034-2-1: 2007

Енергийни класове на асинхронните двигатели според нормативните документи в световен мащаб

С цел намаляване на консумацията на електрическа енергия от асинхронните двигатели се приемат нормативни документи, които въвеждат задължителни изисквания за минимални нива на ефективност за електродвигателите [2,3], сключват се доброволни споразумения за намаляване използването на двигатели от нисък енергиен клас.

Националната асоциация на производителите на електроапаратура (NEMA) разработва за първи път през 1987г. стандарт MG1 за т.н. „енергийно ефективни“ двигатели. Това са двигатели, които имат коефициент на полезно действие равен или по-голям от посочения в стандарта минимален номинален к.п.д. През 2003г. NEMA въвежда нов енергиен клас „premium efficiency“

През 1992 г. конгресът на САЩ приема закон, т.н. Акт за енергийната политика (Energy Policy Act (EPAct)) за намаляване консумацията на енергия посредством използване на енергийно ефективни продукти. Мерките за повишаване енергийната ефективност на двигателите с общо предназначение влизат в сила от октомври 1997г. Актът въвежда задължителни изисквания към вносителите и производителите на енергийно ефективни двигатели по отношение минималните стойности на к.п.д., които трябва да не са по-ниски от посочените в стандарта на NEMA MG1 - 1993. Регламентиран е и методът, който производителите на АД трябва да използват за определяне на енергийната ефективност (IEEE 112 Метод В).

Две години по-късно, през 1999г., в Европейския съюз се сключва доброволно споразумение между Европейската комисия (ЕК) и Европейски комитет на производителите на електрически машини и силова електроника (European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics (CEMEP)) за намаляване консумацията на електроенергия чрез използването на високоефективни двигатели. Споразумението се подписва от 36 производители на електрически машини, които произвеждат 80% от стандартните двигатели в Европа. Регламентирани са минималните стойности на к.п.д. за 2- и 4-полюсни енергоефективни двигатели с мощност от 1,1kW до 90kW. Двигателите, клас EFF са разделени в три енергийни нива:

- EFF1 - двигатели с висока ефективност;
- EFF2 - двигатели с подобрена ефективност;
- EFF3 - двигатели с ниска ефективност.

В резултат от приетото споразумение се намалява делът на двигателите с най-ниско енергийно ниво EFF3 на европейския пазар. От 2000г. до 2005г. делът на пазара на двигателите с ниво EFF3 намалява от 43% на 4%, а на двигателите с EFF2 нараства от 54% на 85%, но двигателите с EFF1 успяват да заемат само 9% от пазара до 2005г, започвайки с 3% през 2000г. Опитът за въвеждане на двигателите с високо енергийно ниво EFF1 не е толкова успешен, тъй като цената на двигателите EFF1 е с 20...30% по-висока от цената на двигателите EFF2.

От октомври 2008 е въведен стандартът IEC 60034-30:2008, който определя нов енергиен клас IE (International Efficiency) с три нива на ефективност за едноскоростните трифазни асинхронни двигатели с накъсосоединен ротор:

- IE1 - нормален к.п.д. (к.п.д. приблизително отговаря на к.п.д. от клас EFF2 според европейската класификация от 1999г.);
- IE2 - висок к.п.д. (равен на EFF1, EPAct);
- IE3 - премиум к.п.д. (15...20% по-ниски загуби от загубите за двигатели клас IE2, NEMA premium).

За определяне на нивата на ефективност в IEC 60034-30 се използват методите с ниска неопределеност за определяне на к.п.д., съгласно стандарт IEC 60034-2-1: 2007. Обхватът на стандарт IEC 60034-30 е разширен и се отнася за 2-, 4- и 6 полюсни двигатели с мощност 0,75 до 375kW.

Енергийните класове на АД са систематизирани в табл. 2.

Таблица 2.

Енергийни класове на асинхронните двигатели

Нормативни документи, въвеждащи изисквания за минимални нива на енергийна ефективност		Доброволно споразумение между производителите на електрически машини и силова електроника (50Hz) (CEMEP) 1999г.	Регламент (ЕО) № 640/2009, с който въвеждат т.н. минимални нива на енергийна ефективност т.н. EU Minimum Energy Performance Standard (EU MEPS) 2008г.	Акт за енергийна политика US EPAAct - (60Hz) 1997г. NEMA Standards - (60Hz) 2002г.
Област на приложение		Европа	Европа	САЩ, Канада и Мексико (от 1998г. и 2003г.)
Обхват на стандарта	Мощност	1,1...90kW	0,75...375kW	EPAAct 0.74 - 147kW (1...200к.с.); NEMA Premium 0.74 - 368kW (1...500к.с.);
	Брой полюси	2 и 4	2, 4 и 6	2, 4 и 6
Стандарти, регламентиращи енергийните класове		CEMEP-EU 1999	IEC60034-30 2008	MG-1 2006
Съответствие между енергийните класове			IE3 Premium efficiency	NEMA Premium efficiency
		EFF1 High efficiency	IE2 High efficiency	EPAAct NEMA Energy efficiency
		EFF2 Improved efficiency	IE1 Standard efficiency	
		EFF3 Low efficiency		
Стандарти и методи на изпитване		IEC 60034-2-1996 Метод "сума на загубите"	IEC 60034-2-1-2007 Индиректен метод за определяне на загубите с ниска неопределеност	IEEE 112 - 2004 Метод В

Забележка: В табл.2. енергийните класове са дадени с оригиналните си означения и наименования, както са в съответните нормативни документи.

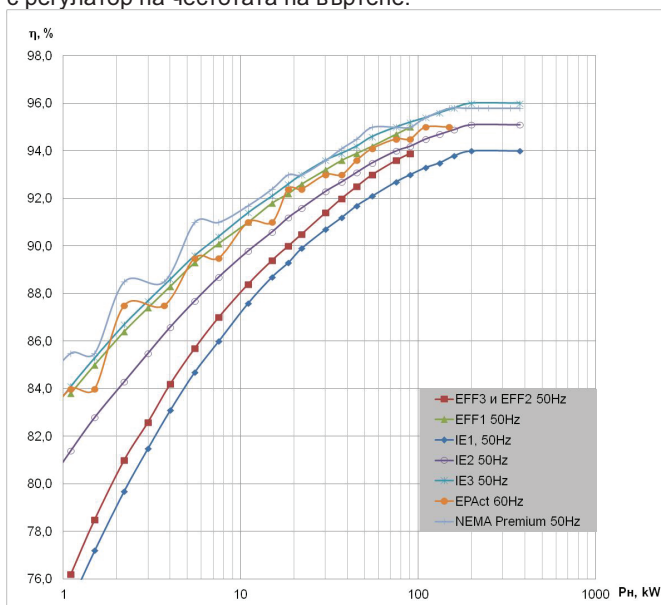
На 22 юли 2009г. Европейската Комисия приема Регламент (ЕО) № 640/2009 [1] за прилагане на Директива 2005/32/ЕО на Европейския парламент и на Съвета на Европа, който определя изискванията за екопроектиране, за предлагане на пазара и пускане в експлоатация на едноскоростните, трифазни асинхронните двигатели с накъсо съединен (кафезен) ротор, 50 или 50/60-херцови, които имат от 2 до 6 полюса; с номинално напрежение до 1000 V; с номинална мощност на вала между 0,75 kW и 375 kW. В приложението на регламента са посочени минималните стойности за к.п.д. за ниво на ефективност IE2 и IE3, съгласно стандарта IEC 60034-30: 2008.

Европейската Комисия определя следния график за въвеждане на изискванията на регламента:

- от 16 юни 2011г. електродвигателите не трябва да са с к.п.д., по-нисък от този за ниво на ефективност IE2;

- от 1 януари 2015г. двигателите с номинална мощност на вала между 7,5 и 375kW не трябва да са с к.п.д., по-нисък от този за ниво на ефективност IE3 или трябва да отговарят на ниво на ефективност IE2 и да бъдат оборудвани с регулатор на честотата на въртене;

- считано от 1 януари 2017г. всички двигатели с номинална мощност на вала между 0,75 и 375kW не трябва да са с к.п.д., по-нисък от този за ниво на ефективност IE3 или трябва да отговарят на ниво на ефективност IE2 и да бъдат оборудвани с регулатор на честотата на въртене.



Фиг. 2. Минимални номинални стойности на к.п.д. за различни класове и нива на енергийна ефективност за четириполюсни трифазни асинхронни двигатели с различна номинална мощност

Въвеждането в експлоатация на асинхронни двигатели от високите енергийни класове IE2 и IE3 ще доведе до значителна икономия на електрическа енергия в Европейския съюз респективно и в България.

В табл. 2. са дадени стандартите, законите и споразуменията, отнасящи се до класовете на енергийна ефективност на АД.

На фиг. 2. са показани получените криви на минималните номинални стойности на к.п.д. за различните енергийни класове в зависимост от номиналната мощност на АД за четириполюсни двигатели. Те са построени като са използвани данни от:

- MG - 1 - 2006 за двигателите NEMA Energy efficiency и NEMA Premium efficiency стандарт;

- стандарт 60034-30 за енергийния клас IE;

- доброволно споразумение между ЕК и CEMEP [1].

Според доброволното споразумение между ЕК и CEMEP, двигателите, които имат к.п.д., по-нисък от стойностите дадени с кривата EFF3 и EFF2 50Hz на фиг. 2., са с енергиен клас EFF3. Двигателите с к.п.д. равен или по-висок от посочената крива са с енергиен клас EFF2.

Основната разлика между енергийните класове (EFF и IE) е в методите, които се използват за определяне на к.п.д. Въпреки съответствието между нивата EFF1 и IE2 и EFF2 и IE1 не е възможно непосредствено сравнение на к.п.д. за един и същ двигател. Например, четириполюсен двигател с мощност 30kW при енергиен клас EFF1 е с к.п.д. 93%, а при енергиен клас IE2 к.п.д. на същия двигател е с по-ниска стойност - 92,3%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направен е анализ на световните и европейски действащи стандарти за изпитване и определяне к.п.д. на асинхронни електродвигатели. Установено е, че те дават информация за енергийните показатели, но по тях не могат да се правят сравнения за енергийната ефективност на отделните АД, защото к.п.д. се определя по различни начини. Ето защо е необходимо да се хармонизират различните стандарти и да се приеме по възможност един стандарт от всички държави, което е целта на новия стандарт IEC 60034-2-1. Неговото приложение би довело до по-голяма последователност при изпитване на двигателите в света.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Регламент №640/2009 на Комисията за прилагане на Директива 2005/32/ЕО на Европейския парламент и на Съвета по отношение на изискванията за екопроектиране на електродвигатели, Официален вестник на ЕС, 23.07.2009, стр. 26-34.

[2] Almeida A.T, H. Falkner, J. Fong, K. Jugdoyal, EuP Lot 30: Electric Motors and Drives: Product Definition, Standards and Legislation, ENER/C3/413-2010, 2013, p. 30.

[3] Andrade Cássio T. C., S. T. Ricardo Pontes, Three-Phase Induction Motors Energy Efficiency Standards, Ceara Federal University, p. 5.

[4] Angers P., Comparison of Existing Standard Methods of Determining Energy Efficiency for Three-Phase Cage Induction Motors, EEMODS'09: Energy Efficiency in Motor Driven Systems, Nantes, France, 2009, pp 313-321.

[5] IEC 60034 - 2 - 1: 2007, Rotating electrical machines - Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles).

За контакти:

гл.ас. инж. Миглена Христова, катедра "Електроснабдяване и електрообзавеждане", Русенски университет "А. Кънчев", Тел.: 082 888 659, E-mail: mcankova@uni-ruse.bg.

доц. д-р инж. Вяра Русева, катедра "Електроснабдяване и електрообзавеждане", Русенски университет "А. Кънчев", Тел. 082 888 616; E-mail: vruseva@uni-ruse.bg.

Докладът е рецензиран.