Особености при съвместна работа на честотен преобразувател и асинхронен двигател

Миглена Христова, Димо Димов

Summary: *The article presents the comparative analysis results of the consumed power, the stator winding overheating, the voltage and current curve shape and the other indicators when the AC motor is supplied directly and when it is supplied by frequency inverter.*

Key words: *frequency drive, induction motors*

ВЪВЕДЕНИЕ

В силовите електрозадвижвания най-масово се използват асинхронните двигатели с общо предназначение и номинална мощност (0,25...400)кW. Електрическите задвижвания използват 65% от консумираната електроенергията в промишлеността и около 30% от цялата електроенергия, консумирана в Европейския съюз [2]. Увеличава се делът на регулируемите асинхронни задвижвания с честотни преобразуватели. Те дават нови възможности за управление на технологичните процеси, но предизвикват редица проблеми, които са свързани основно с наличие на висши хармоници на напрежението и тока.

Целта на изследването е да се направи сравнителен анализ на консумираната мощност, прегряването на статорната намотка, формата на кривите на напрежението и тока и други показатели, при захранване на двигателя директно от мрежата и посредством честотен преобразувател.

ИЗЛОЖЕНИЕ

За постигане на поставената цел са проведени експериментални изследвания със стандартен трифазен асинхронен двигател тип АО 90s – 4 с номинална мощност 1,1кW и синхронна честота на въртене 1500min^{-1}. Всички изпитвания са проведени в режим на празен ход при захранване с номинално напрежение и честота на тока 50Hz.

За контролиране на качеството и количеството на консумираната електроенергия се използват трифазен анализатор на параметрите на електрическата мрежа тип CA 8334B Qualistar. Температурата на намотката на двигателя се измерва с помощта на термодвойка, монтирана в челните съединения на статорната намотка (откъм работния край на вала) и цифров мултиметър ME – 32, който е свързан към компютър (фиг.1). Софтуерът ScopeView към ME-32 позволява данните от направените изследвания да бъдат записани във файл и графиката на загряване на двигателя да бъде изчертана на екрана на монитора.

Свързването на анализатора към изхода на честотния преобразувател е показано на фиг.1. Той се включва по аналогичен начин към входа на преобразователя и към захранващата мрежа при директно захранване на АД.

Ефективната стойност на тока **I** (табл.1) е изчислена като средноаритметична стойност на отчетените ефективни токове за трите фази. Мощностите в табл.1 **P**, **Q** и **S** са трифазните мощности на основния и висшите хармоници – съответно активна, реактивна и пълна.

При изчисленията на отделните параметри използваният мрежов анализатор отчита влиянието на висшите хармоници с пореден номер **к**≤ 50.

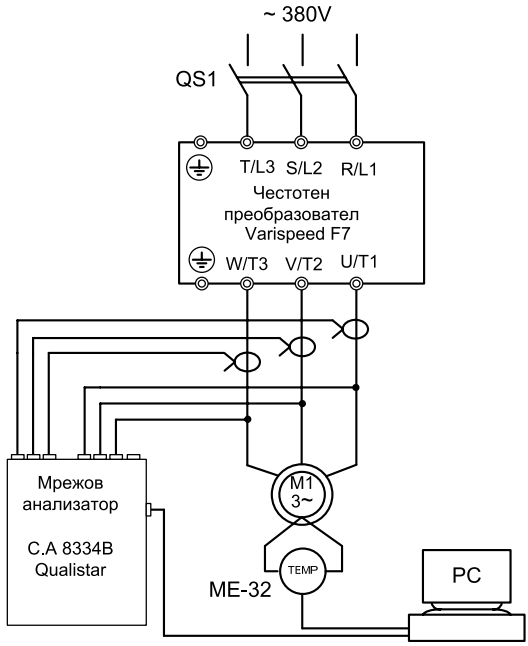
Общото хармонично изкривяване за напрежението **UTHD** и тока **ITHD** (Total Harmonic Distortion – THD) за фаза [1]

$$U(I)THD = \frac{\sqrt{\sum_{к=2}^{50} U(I)H_к^2}}{U(I)H_1} 100\ \%, \qquad (1)$$

където $U(I)\ H_к$ е ефективната стойност на **к**-тия хармоник на напрежението (тока);

$U(I)\ H_1$ - ефективната стойност на първия хармоник на напрежението (тока).

При отсъствие на висши хармоници в кривите на напрежението и тока $UTHD = 0\%$ и $ITHD = 0\%$.



Фиг. 1. Принципна схема на лабораторната уредба

Общото хармонично изкривяване на напрежението и тока, получено като средноаритметична стойност на общото хармонично изкривяване от трите фази, е посочено в табл. 1.

При периодични несинусоидални токове и напрежения коефициентът на мощността (power factor) **PF** се определя от отношението на активната мощност на всички хармоници към пълната мощност също на всички хармоници

$$PF = \frac{\sum_{к=1}^{50} PH_к}{\sqrt{\sum_{к=1}^{50} UH_к^2}\sqrt{\sum_{к=1}^{50} IH_к^2}}. \qquad (2)$$

където $PH_к$ е активната мощност на **к**-тия хармоник.

Коефициентът на мощността е показател, който характеризира влиянието на реактивната мощност и мощността на деформиране върху енергийната ефективност на системите. Честотните преобразуватели с двойно преобразуване на енергията

имат два коефициента на мощността: входен по отношение на мрежата и изходен по отношение на товара, които обикновено се различават.

Когато напрежението и токът се изменят по синусоидален закон, коефициентът на мощността съвпада с косинуса на ъгъла на дефазиране φ между напрежението и тока (**PF** =cosφ).

Факторът на мощността на фазовото изместване при несинусоидални величини е отношение на активната мощност $\mathbf{PH_1}$ на първия хармоник към пълната мощност на първия хармоник

$$\cos\varphi = \frac{PH_1}{UH_1\, IH_1}. \tag{3}$$

Пик (крест) факторът за напрежението е отношение на максималната стойност $\mathbf{U_{max}}$ към ефективната стойност на напрежението с отчитане влиянието на хармониците с номер до **к**=50

$$UCF = \frac{U_{max}}{\sqrt{\sum_{к=1}^{50} UH_к^2}}. \tag{4}$$

В израза (4) за крест фактора на тока **ICF** вместо напрежението се заместват съответните стойности на тока.

Колкото крест факторът **CF**>1,4, толкова кривите на тока и напреженията имат по-ясно изразени пикове.

Резултати от изследването — Таблица 1

Измерване при	I	P	Q	S	PF	ITHD	UTHD	CFA	CFV
	A	W	VAr	VA	cosφ	%	%		
захранване директно от мрежата	2,33	237,5	1590,9	1608,7	0,147 0,150	3,97	1,73	1,51	1,44
входа на ЧП	0,96	305,1	214,5	682,3	0,447 0,980	195,3	1,50	1,81	1,50
изхода ЧП	2,33	202,6	1719,6	1731,7	0,116 0,156	13,2	36,9	1,50	1,81

От данните в табл.1 се вижда, че при захранване на АД с честотен преобразувател консумираната реактивна мощност от мрежата е малка, защото преобразувателят не е индуктивен товар и напрежението на мрежата се изправя веднага в преобразувателя. Реактивна мощност има само в участъка "честотен преобразувател - двигател", но като правило този участък е с малка дължина и загубите в него не са големи.

При несинусоидални величини пълната мощност

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}, \tag{5}$$

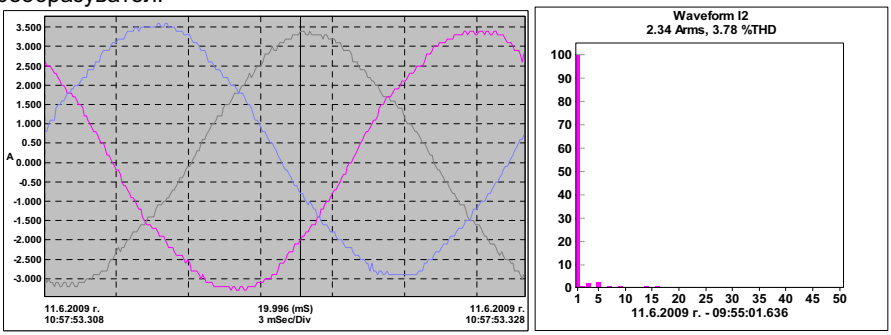
където **D** е мощността на изкривяване (distortion power).

Вследствие силно несинусоидалния характер на тока на входа на преобразувателя от мрежата се консумира мощност на деформиране

$$D = \sqrt{S^2 - (P^2 + Q^2)} = \sqrt{682{,}4^2 - (305{,}1^2 + 214{,}5^2)} = 570{,}9\ \text{VAr}. \tag{6}$$

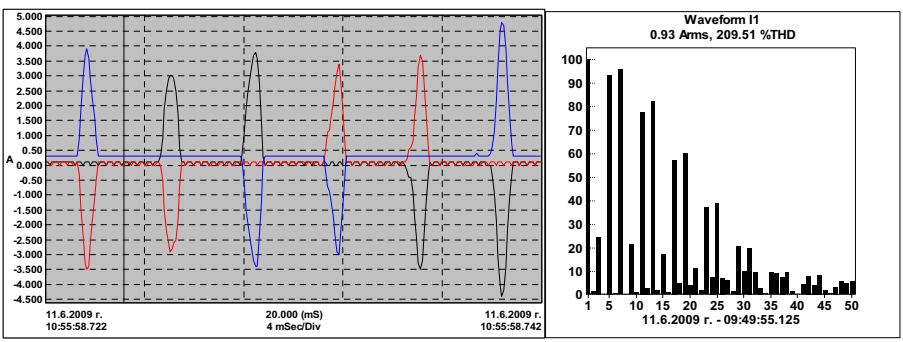
На фиг. 2 и фиг. 3 са показани кривите на токовете и хармоничният им състав снети посредством мрежовия анализатор при директно захранване от мрежата и на входа на честотния преобразувател. Кривите на напреженията не са показани, тъй като формата им е близка до синусоидалната. На фиг. 4 са показани кривите на на-

преженията, токовете и хармоничния им състав, снети на изхода на честотния преобразувател.



Фиг. 2. Криви и спектрален състав на токовете при директно захранване на АД от мрежата

При захранване на АД директно от мрежата (фиг.2) консумираният ток е синусоидален и общото хармонично изкривяване за тока е малко - 4%.



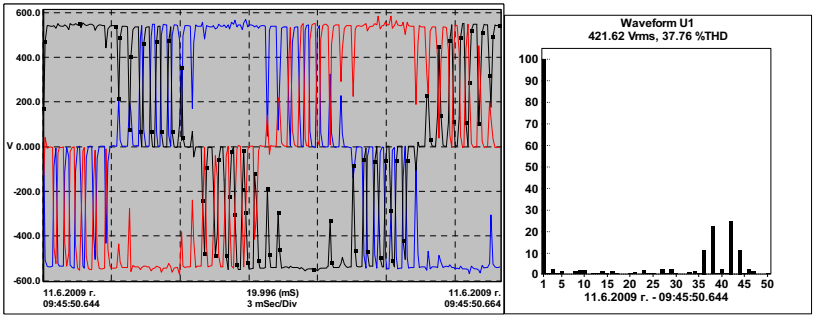
Фиг. 3. Криви и спектрален състав на токовете на входа на преобразувателя

Както се вижда от фиг. 3 токът на входа на честотния преобразувател има несинусоидална форма, той съдържа високи пикове, които достигат стойност до 4,5А при празен ход, като номиналният ток на АД е 2,7А. Вследствие наличието на високи пикове крест факторът е по-висок от 1,4 и достига стойност 1,81. На входа на преобразувателя разликата между **PF** = 0,447 и **cos**φ=0,98 е най-голяма. Общото хармонично изкривяване на тока е около 200%.

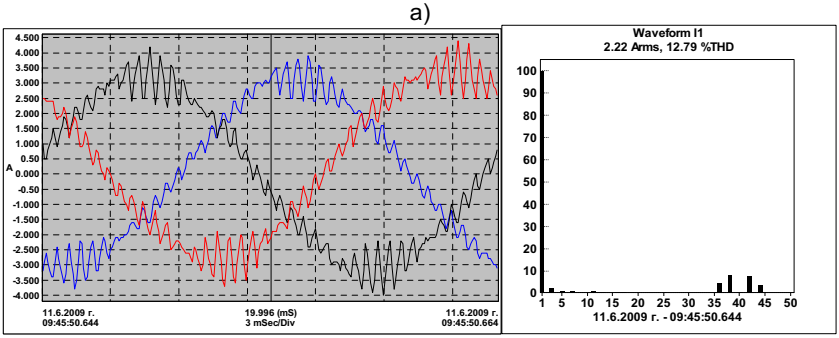
Кривата на изходното напрежение на преобразувателя представлява високочестотна двуполярна последователност от правоъгълни импулси (фиг. 4а). Общото хармонично изкривяване на напрежението е около 37%.

Кривата на тока на изхода на преобразувателя (фиг. 4б) е близка до синусоидалната благодарение на филтриращите свойства на индуктивността на намотките.

Наличието на висши хармоници на напрежението води до нарастване на загубите от вихрови токове, които предизвикват допълнително нагряване на статорния пакет. Висшите хармоници на тока предизвикват увеличаване на ефективната стойност на пълния ток. Всичко това повишава установеното прегряване на статорната намотка на изследвания двигател, което в режим на празен ход при захранване от честотен преобразувател е 44°C, а при директно захранване от мрежа - 39°C.



а)



б)

Фиг. 4 Криви и спектрален състав: а) на напреженията на изхода на преобразувателя; б) на токовете на изхода на преобразувателя

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При захранване на АД с честотен преобразувател факторът на мощността за мрежата е висок (**cos**φ = 0,98), но общото хармонично изкривяване на кривата за тока при входа на преобразувателя е голямо (200%).

2. Общото хармонично изкривяване на напрежението (36,9%) на изхода на преобразувателя е по-голямо от това на тока (13,2%), тъй като намотките на двигателя действат като филтър.

3. Поради наличието на висши хармоници в кривата на напрежението и тока при захранване с честотен преобразувател, установеното прегряване на статорната намотка на изследвания двигател в режим на празен ход е с 5°C по-високо, отколкото при директно захранване от мрежата.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Three phase power quality analyser C.A 8334B, User's manual, Chauvin Arnoux
[2] **http://www.motor-challenge.eu/**

За контакти:

Гл. ас. инж. Миглена Христова, Катедра "Електроснабдяване и електрообзавеждане", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 888 659, E-mail: mcankova@ru.acad.bg

Доц. д-р инж. Димо Димов, Катедра "Електроснабдяване и електрообзавеждане", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 888 659, E-mail: dnd@ru.acad.bg

Докладът е рецензиран.