

## АНАЛИЗ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ВЕЛИЧИНИ ПРИ РАБОТА НА АСИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ С ЧЕСТОТНО УПРАВЛЕНИЕ

Любомир Димитров

Технически университет – Габрово, “Хаджи Димитър” 4, Габрово, България

\*Кореспондиращ автор: l.dimitrov@abv.bg

## ANALYSIS OF ELECTRICAL QUANTITIES DURING OPERATION OF INDUCTION MOTORS WITH FREQUENCY CONTROL

Lyubomir Dimitrov

Technical University – Gabrovo, 4 Hadzhi Dimitar str., Gabrovo, Bulgaria

\* Corresponding author: l.dimitrov@abv.bg

### Abstract

The paper deals with practical results of studies carried out on the power quality indicators for the joint operation of centrifugal pumps driven by three-phase squirrel-cage induction motors. The control of induction motors is implemented by frequency regulators. A METREL MI 2292 measuring device has been used for the measurements and analysis of the electricity quality. The results obtained are presented in tabular and graphical form and relevant conclusions are drawn.

**Keywords:** induction motor, power quality, power quality analyzer, electricity, frequency control.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Трифазните асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор намират широко приложение при задвижване на редица агрегати и механизми. Техините предимства, като проста конструкция, лесна поддръжка, възможност за регулиране на честотата на въртене в широки граници и др., ги правят предпочитани при избор на електрически двигател в промишлеността и индустрията.

Широко разпространен метод за регулиране на честотата на въртене на асинхронните двигатели е чрез изпълването на честотни преобразуватели, които създават възможност за регулиране на честотата на въртене в голям диапазон.

Основен проблем, който създават тези устройства е свързан със способността им да генерират висши хармоници в електрозахранващата мрежа.

В електроснабдителните системи непрекъснато се увеличава броят и мощността на консуматорите с нелинейна волт-амперна характеристика.

Вентилните преобразуватели (токоизправителни уредби, преобразуватели на честота, преобразуватели на броя на фазите, регулатори на напрежение), електродъговите пещи, заваръчните агрегати и газоразрядните светлинни източници са най-разпространените консуматори с нелинейна волт-ампер на характеристика. Тези консуматори независимо от това, че се захранват със синусоидално напрежение, са източници на висши хармоници на тока в електроснабдителните системи. Хармониците на тока причиняват спадове на напрежения в съпротивленията на електрическата верига, които се наслагват със захранващото напрежение с основна честота 50 Hz и искричават (деформират) синусоидата на напрежението [1].

Хармониците, разпространяващи се в разпределителните мрежи, предизвикват намаляване качеството на електрическата енергия, което може да предизвика редица отрицателни ефекти:

- увеличени загуби и претоварвания в разпределителните мрежи, поради увеличена ефективна стойност на тока;

- претоварвания в нулевите (неутрални) проводници в трифазни мрежи, поради сумиране на токовете с висши хармоници, кратни на три, които се генерират от еднофазни товари;

- претоварвания, вибрации и ускорено стареене на генератори, трансформатори и електродвигатели, както и увеличен шум на трансформаторите;

- претоварвания и ускорено стареене на кондензаторите за повишаване фактора на мощността;

- изкривяване формата на захранващото напрежение, което може да смущава работата на чувствителни потребители;

- смущения в комуникационните мрежи и телефонните линии;

- намаляване на точността на електроизмервателните уреди и влошаване на работата на телемеханичните устройства и релейната защита [1].

Хармониците на тока причиняват спадове на напрежението в съпротивленията на електрическите вериги и деформират синусоидата на захранващото напрежение. Това води до влошаване на качеството на електрическата енергия, доставяна на потребителите, което може да причини проблеми в работата им [2].

По своята същност електроенергията е търговски продукт, който трябва да има необходимото качество. Масово използваното понятие “качество на електроенергията” (*Power Quality*) означава доставяне без прекъсване на електроенергия на потребителите, като параметрите на мрежовото напрежение са в определени граници, позволяващи нормалното функциониране на свързаните към мрежата електрически товари. Идеално електрозахранване означава мрежовото напрежение никога да не се прекъсва, неговата стойност и честота да са в допустимите от действащия стандарт граници и да има чисто синусоидална форма без насложени шумове. На понятието качество на електрическата енергия се обръща сериозно внимание още от самото създаване на електрическите мрежи,

но днес то е още по-важно по две основни причини.

Те са свързани с наличието на множество съвременни типове товари, които от една страна се нуждаят от добро качество на електрическата енергия, а от друга го влошават поради естеството на своето действие. Като пример е достатъчно да се споменат импулсните захранвания, използвани в голяма част от компютърните, комуникационните и други електронни устройства, и управляващите блокове на постояннотоковите и променливотоковите електродвигатели с променлива честота на въртене.

Многобройни са областите на човешката дейност, където влошаването на качеството на електрическата енергия е свързано със значителни финансови загуби, най-вече в непрекъснатите производства. Например, краткотрайни прекъсвания на мрежовото напрежение могат да доведат до значителни загуби в стъklarската и стоманодобивната промишленост, в телекомуникациите и в работата на редица електрозадвижвания, като например помпените агрегати [3].

Качеството на електроенергията се определя от стандарти, прилагани в нашата страна – БДС EN 50160:2006, IEC 61000-3-1, IEC 61000-3-4.

Например, европейският EN 50160 се отнася за качеството на електроенергията в мрежи ниско и средно напрежение и задава допустимите граници на всички параметри на напрежението. Според него допустимите бавни промени на напрежението се оценяват чрез средноквадратичната стойност за интервал от 10 min, чиито относителни промени около номиналната стойност трябва да са до  $\pm 10\%$  през 95% от седмицата. Честотата се измерва като средна стойност за интервал от 10 s и трябва да е 49.5-50.5 Hz през 99.5% от седмицата и между 47 и 52 Hz през останалото време [4].

Широкото приложение на устройства с нелинеен характер на товара налага необходимостта за установяване на изменението на показателите за качеството

на електрическата енергия в електрическата мрежа на различни присъединени обекти.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

Широкото приложение на устройствата с нелинеен характер на товара налага необходимостта за установяване на изменението на показателите за качеството на електрическата енергия и измерването на електрическите величини в електроснабдителната система на помпена станция, предназначена за напояване на земеделски земи. Общият брой на помпените агрегати е 5, като мощността на всеки от тях е 73.0 kW.

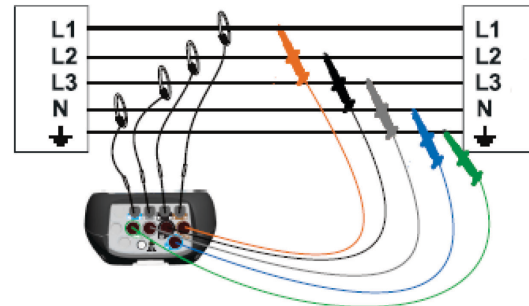
Работата на различни видове електрически устройства съществено се влияе от качеството на електрическата енергия и затова е необходимо да се извършат редица измервания на електрическите величини и да се установи дали тяхното изменение оказва съществено влияние върху работата на тези устройства [5].

За реализиране на измерванията и анализ на качеството на електрическата енергия е използван измервателен уред METREL, модел MI 2892 – фиг. 1. Измервателният уред разполага с редица функционални възможности, като измерване на ефективната стойност на електрическите величини (true RMS) и възможност за анализ на качеството на електрическата енергия (измерване по стандарт 50160). Притежава висок клас на точност, както и графично и таблично представяне на резултатите [6].



Фиг. 1 Анализатор на качеството на електрическата енергия METREL MI 2892

Измервателният уред е свързан в главното разпределително табло (ГРТ), като по този начин измерването обхваща всички електрически двигатели с честотно управление – фиг. 2.

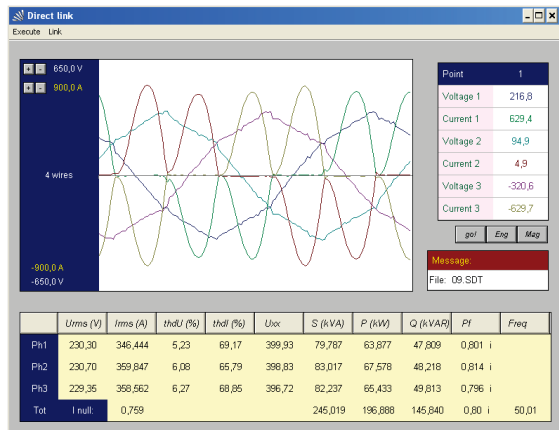


Фиг. 2 Принципна електрическа схема на свързване

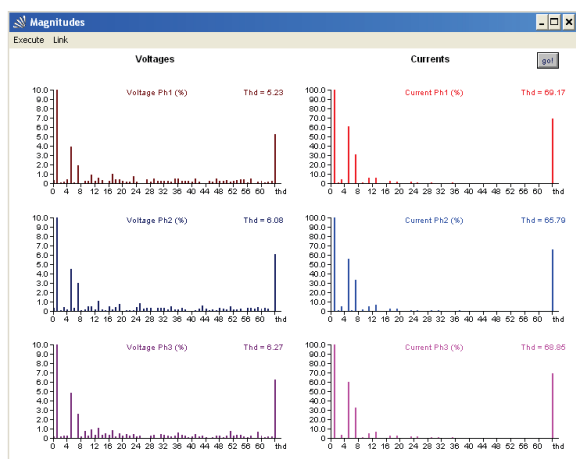
Получените резултати се отнасят до:

- измерване на ефективната стойност на фазовото и линейно напрежение Ph1  $U_{rms}$ , Ph2  $U_{rms}$ , Ph3  $U_{rms}$ ,  $U_{xx}$ ;
- измерване на ефективната стойност на фазовите и линейни токове ( $I_{rms}$ , Ph1  $I_{rms}$ , Ph2  $I_{rms}$ , Ph3  $I_{rms}$ ,  $I_{xx}$ );
- измерване и изчисляване на общото хармонично изкривяване на напрежението (thdU, %) в трите фази: Ph1, Ph2, Ph3;
- измерване и изчисляване на общо хармонично изкривяване на тока (thdI %) в трите фази: Ph1, Ph2, Ph3;
- измерване на пълна мощност (S, kVA) в трите фази: Ph1, Ph2, Ph3;
- измерване на активна мощност (P, kW) в трите фази: Ph1, Ph2, Ph3;
- измерване на реактивна мощност (Q, kVAr) в трите фази: Ph1, Ph2, Ph3;
- измерване на коефициента на мощност (фактор на мощността) PF в трите фази: Ph1, Ph2, Ph3;
- измерване на честотата на захранващото напрежение: Freq, [Hz];
- измерване на тока в нулевия проводник:  $I_{null}$ , [A];
- измерване на мощността (пълна S, активна P и реактивна Q) в трифазната мрежа – Tot;
- измерване на коефициента на мощност (PF) в трифазната мрежа – Tot;
- графично изобразяване на формите на синусоидите на напрежението и тока;

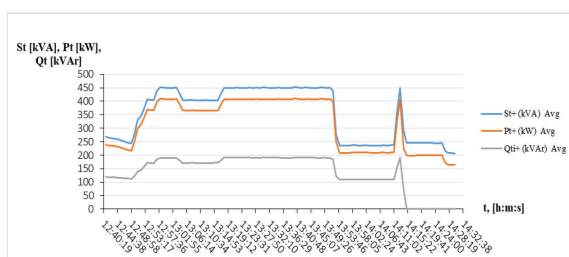
- графично изобразяване на стойностите на висшите хармоници на тока и напрежението: Voltage Ph1 %, Current Ph1 %. Уреда има възможност да измери до 63 хармоник.



Фиг. 3 Графични и таблични резултати на електрическите величини



Фиг. 4 Нива на висшите хармоници



Фиг. 5 Товаров график на помпените агрегати

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От извършения анализ на получените резултати, може да се направят следните изводи:

- по отношение на показателите за качество на електрическата енергия, може да се каже, че те са в нормите и стойностите отговарят на заложените в стандартите изисквания. Изключение правят хармоничните съставлящи на тока, както и общото хармонично изкривяване на тока. Техните стойности превишават многократно заложените в стандарта БДС IEC 61000-3-4. Измерванията показват, че тези превишени стойности се дължат на работа на асинхронните двигатели.

Причините за тези превишения до голяма степен се дължат честотното електрозадвижване.

Тези устройства са с така наречената нелинейна волт-амперна характеристика и са предпоставка за влошаване на качеството на електрическата енергия.

Независимо от това, че се запазват със синусоидално напрежение, честотните управления са източници на електромагнитна енергия с периодичен несинусоидален характер и се разглеждат като източници на висши хармоници на тока в електрическата система.

Хармониците на тока причиняват спадове на напрежения в съпротивлението на електрическата верига, които се наслагват със запазващото напрежение с основна честота 50 Hz и изкривяват (деформират) синусоидалното напрежение.

Висшите хармоници на тока предизвикват допълнителни загуби на активна мощност и електрическа енергия в елементите на електрическата система. Увеличават многократно температурата на тоководещите части (кабели, шинопроводи), комутационни и защитни апарати. Нагряват намотките на електрическите машини, което е съпроводено с допълнителни загуби на електрическа енергия в тях. Тяхното ограничаване води до нормализиране на работата на тоководещите части, електрическите машини и комутационните и защитни апарати.

Препоръчва се при работа на такива устройства, (честотни преобразуватели) да се монтира на входа им филтър за висши хармоници.

Относно превишената консумация на реактивна мощност, може да се каже, че ограничаването на реактивните товари и подобряването на фактора на мощността –  $\cos\varphi$  е от съществено значение за оптимизиране на режимите на реактивните товари и повишаване на ефективността на електроснабдителната система, което конкретно се изразява в намаляване на загубите на мощност и енергия, намаляване на сечението на проводници, кабели и шинопроводи. В резултат на това се намалява загряването на съоръженията и загубите на напрежение, което трябва да бъде взето предвид тяхното оразмеряване.

*Благодарности: Това изследване е с подкрепата на Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., Проект BG16RFPR002-1.014-0005 Център за компетентност „Интелигентни меха-тронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.*

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tsankov P. Elektrosnabdyavane. Universitetsko izdatelstvo "Vasil Aprilov" Gabrovo, 2014.
- [2] Rachev S., L. Dimitrov, I. D. Ivanov. Harmonic components of electric drives with frequency control for centrifugal mechanisms, machines, technologies, materials, year XII, issue 11/2018, pp. 463-465. ISSN 1313-0226.
- [3] Rachev S., G. Ivanova, D. Koeva. Vector Control of Pump Unit Electric Drive with Medium Voltage Induction Motor, XIIth Scientific Conference BULEF 2020, 9-12 September 2020, Varna, Bulgaria, IEEE Xplore&#61650;(https://ieeexplore.ieee.org/document/9326032). ISBN 978-1-7281-9439-4.
- [4] BDS IEC 61000-3-4. Electromagnitna savmestimost, 2021.
- [5] Dimitrov L., D. Koeva, D. Slavov. Analysis of the variations of electrical quantities during the operation of an rope electric hoist. International scientific conference UNITECH, Gabrovo 2021, 19-20 November, Gabrovo, vol. I, pp. 25-30.
- [6] BDS EN 50160:2003. Harakteristiki na naprezenieto na elektricheskata energya, dostavyana ot obshtestvenite razpredelitelni sistemi.