International Scientific Conference 20 UNITECH 26

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
19-21 November 2026
GABROVO

АНАЛИЗ НА РАБОТАТА НА УСТРОЙСТВО ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ С НАКЪСО СЪЕДИНЕН РОТОР

Любомир Димитров[1], Милена Рачева[2]

[1]Технически университет - Габрово, „Хаджи Димитър" 4, Габрово, България
[2]Технически университет - Габрово, „Хаджи Димитър" 4, Габрово, България
**кореспондиращ автор: ldimitrov@tugab.bg*

Център за компетентност „Интелигентни, мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии"

ANALYSIS OF THE OPERATION OF DEVICE CONTROLLING SQUIRREL-CAGE INDUCTION MOTOR

Lyubomir Dimitrov[1], Milena Racheva[2]

[1]Technical University of Gabrovo, 4 Hadzhi Dimitar str., Gabrovo, Bulgaria
[2]Technical University of Gabrovo, 4 Hadzhi Dimitar str., Gabrovo, Bulgaria
**Corresponding author: ldimitrov@tugab.bg*

Center of competence "Smart mechatronic, eco- and energy-saving systems and technologies"

Abstract
Inductions motors are characterized by certain operation, relatively simple construction, direct on line power supply, and ease of maintenance. These advantages explain their widespread use across all industrial sectors. The primary control devices for induction motors include variable frequency drives and soft starters, as well as conventional switching devices.

Keywords: induction motor, reactive energy, power factor, reactive power compensation.

ВЪВЕДЕНИЕ

Асинхронните двигатели се отличават с надеждна работа, сравнително елементарна конструкция, директно захранване от мрежа за променлив ток и отсъствие на специални изисквания по отношение на поддръжката. Изброените предимства обясняват широкото им разпространение във всички сфери на промишлеността. Известно е, че асинхронните двигатели са два основни вида - с фазен и накъсо съединен ротор.

Трифазните асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор намират широко приложение при задвижване на редица агрегати и механизми. Техните предимаства, 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 промишленоста и индустрията [1].

ИЗЛОЖЕНИЕ

Управлението на скоростта и момента на трифазните асинхронни двигатели с

накъсосъединен ротор се осъществява на базата на три основни решения. Първото включва управляеми преобразуватели на променливото мрежово напрежение и преобразуватели на честотата, захранващи статорната намотка. Второто се базира на управляеми преобразуватели в роторната верига, познато още като реостатно регулиране и регулиране по схемата на асинхронно-вентилния каскад. Друго решение включва използването на електромагнитни съединители с хлъзгане.

Затворена система на управление с отрицателна обратна връзка по скорост се използва за стабилизиране на скоростта в електрозадвижванията с управляем преобразувател на напрежението в статорната верига. Причината е, че при отворена система преобразувателят на напрежение осигурява регулиране на момента на електрозадвижването. Преобразувателите на напрежение не се използват широко във функцията на средство за регулиране на скоростта на асинхронен двигател с накъсо съединен ротор в затворена система при продължителен работен режим. Сравнително слабото им използване се дължи основно на ограничения диапазон на регулиране на скоростта при постоянен момент, поради значителните загуби в двигателя. Доста по-широко се използват електрозадвижвания с асинхронен двигател с фазен ротор и допълнителен резистор в роторната верига.

Широко разпространен метод за регулиране на честотата на въртене на асинхронните двигатели е чрез изполването на честотни преобразуватели, които създават възможност за регулиране на честотата на въртене в голям диапазон. [2].
Най-широко разпространените преобразуватели на честота за управление на асинхронни двигатели са тиристорните. От своя страна, тиристорните преобразуватели са два основни вида - със звено за постоянен ток и с непосредствена връзка. Характерно за тиристорните преобразуватели на честота със звено за постоянен ток е, че напрежението на променливотоковата верига първоначално се изправя, след това се изглажда. Посредством автономен инвертор вече изправеното и изградено напрежение се преобразува в напрежение с регулируема честота и амплитуда.

Тиристорните преобразуватели на честота със звено за постоянен ток също са различни видове - с управляем или неуправлвяем изправител, с автономен инвертор на ток или на напрежение. При използване на тиристорни преобразуватели с управляем изправител (УИ), управлението на напрежението и честотата на преобразувателя се свежда до въздействие върху УИ. Посредством въздействие върху управляемия изправител се регулира напрежението на тиристорния преобразувател. При тиристорни преобразуватели с неуправляем изправител се използват автономни инвертори с широчинно-импулсна модулация. Напрежението и честотата се управляват посредством въздействие върху автономния инвертор по разделени канали.
Основен проблем, който създават тези устройства е свързан със способността им да генерират висши хармоници в електрозахранващата мрежа. Нисък фактор на мощността, зависим от ъгъла на регулиране на тиристорите на управляемите изправители. Всички тези фактори водят до появата на допълнителни смущения в системата и др.

В тази връзка е извършен анализ на работата на честотен преобразувател ”Schneider”, модел: Altivar 320, с номинална мощност: $P_{ном.} = 3,0$ kW.
Изследвания честотен преубразувател е част от стенд за изследване на работата на асинхронен двигател с накъсо съединен ротор – АДНСР, използван за практическо обучение на студентите от специалност: ”Електроенергетика и електрообзавеждане” – фиг. 1.

Стендът предлага възможности, свързани с изследвания при работа на АДНСР чрез честотно управление, софтстартер и схема звезда-триъгълник.

Процесът на управление е напълно автоматизиран, посредством програмируем логически контролер и приложение на SCADA система [3].



Фиг. 1 *Стенд за изследване на работата на асинхронен двигател*

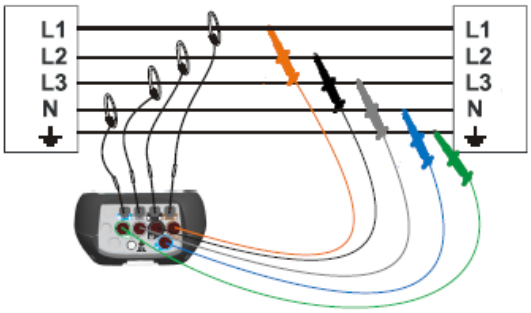
За анализ на работата на честотния преобразувател е използван измервателен уред METREL, модел MI 2892 – фиг. 2. Измервателният уред разполага с редица функционални възможности, като измерване на ефективната стойност на електрическите величини (true RMS) и възможност за анализ на качеството на електрическата енергия (измерване по стандарт 50160). Притежава висок клас на точност, както и графично и таблично представяне на резултатите [4].

Анализатора за качество на електрическата енергия е свързан към захранващата електрическа верига на стенда – фиг. 3. осигурявайки достоверни резултати при измерване.

За обработка на плучените резултати е използван приложен софтуерен продукт на фирмата ”METREL”.



Фиг. 2 *Анализатор на качеството на електрическата енергия METREL MI 2892*



Фиг. 3 *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_{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];

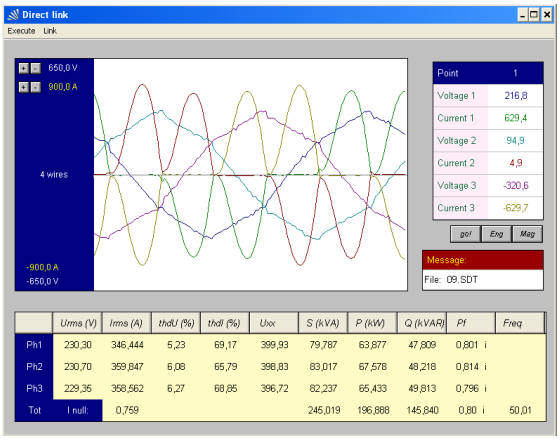
- измерване на тока в нулевия проводник: I_{null}, [A];

- измерване на мощността (пълна S, активна P и реактивна Q) в трифазната мрежа – Tot;

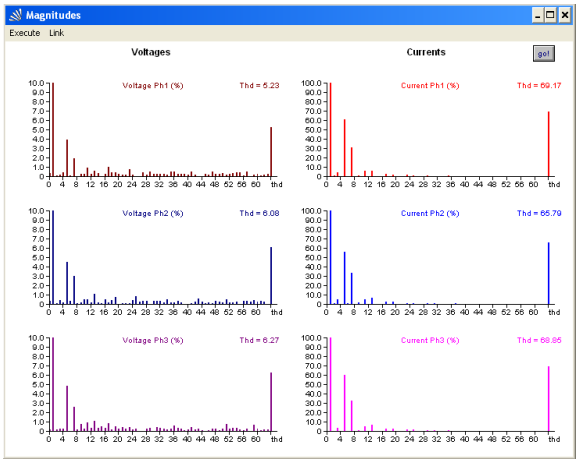
- измерване на коефициента на мощност (PF) в трифазната мрежа – Tot;

- графично изобразяване на формите на синосоидите 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*

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 съставящи на тока, както и общото хармонично изкривяване на тока. Техните стойности превишават многократно заложените в стандарта БДС IEC 61000-3-4 [5]. Измерванията показват, че тези превишени стойности се дължат на работа на асинхронните двигатели.

Причините за тези превишения до голяма степен се дължат честоттното 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 захранват 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 съпротивленията на електрическата верига, които се наслагват със захранващото напрежение с основна честота 50 Hz и изкривяват (деформират) синусоидата на напрежението.

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 токово-

дещите 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 – cosφ 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 финансирано от 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 мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.*

ЛИТЕРАТУРА

[1] Dimitrov L. Analysis of electrical quantities during operation of induction motors with frequency control. International Scientific Conference UNITECH, Gabrovo 2024, 21-22 November, Gabrovo, vol. I, pp. 25-30.

[2] Списание Инженеринг ревю, Издателство ”TLL Media”, брой 6, 2006.

[3] Димитров Л., Стенд за изследване на работата на асинхронен двигател чрез различни методи за управление. Международна научна конференция „Мехатроника, еко и енергоспестяващи системи и технологии“ - Пловдив' 2026.

[4] 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.

[5] БДС EN 50160:2003. Храктерисатики на напрежението на електрическата енергия, доставяна от обществените разпределителни системи.