

# ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ

Ангел Петлешков, Николай Стоманярски,  
Светлана Цветкова, Ваня Петрова

*Резюме:* В доклада са дадени резултати от изследване на ефективността на електрозадвижвания на асинхронен двигател. Направен е сравнителен анализ между асинхронен двигател управляван с честотно управление и асинхронен двигател управляван със софтстартер при различни натоварвания на двигателя. Направени са изводи за ефективността на честотното управление и софтстартера.

*Ключови думи:* енергийна ефективност, честотно управление, софтстартер.

## STUDY OF EFFECTIVENESS OF ELECTRIC DRIVES OF INDUCTION MOTOR

Angel Petleshkov, Nikolai Stomaniarski, Svetlana Tzvetkova, Vania Petrova

*Abstract:* The report gives results of a study of the effectiveness of electric drive of induction motor. A comparative analysis of the induction motor driven by frequency controlled and induction motor soft starter running at different engine loads. Conclusions are made about the effectiveness of adjustable speed drive and soft starter.

*Keywords:* energy efficiency, adjustable speed drive, soft starter.

### 1. Въведение

Все повече се обръща внимание на повишаване на ефективността на електрообзавеждането и намаляване на консумацията на електрическа енергия. Намаляването на консумацията на електрическа енергия води до намаляване технологичните разходи.

Проучванията показват, че около 65% от електрическата енергия в промишлеността се изразходва от асинхронни задвижвания, работещи с постоянни обороти. Използването на честотните преобразуватели би могло да доведе до енергоспестяване, повишаване на рентабилността и конкурентоспособността, както и до подобряване на екологията. В момента пазарният дял на честотните преобразуватели в световен мащаб се оценява на около 3 млрд. долара и се очаква ежегоден ръст от около 5,8%. Роля в

увеличаването на пазарния дял на честотните преобразуватели имат и достиженията на компютърната и микропроцесорна техника, които доведоха до разработването на интелигентни системи за управление.

Чрез използването на честотно управление, което изменя скоростта на двигателя, а от там и производителността може да се повиши ефективността и да се намалят разходите за електрическа енергия. Честотните задвижвания намаляват консумацията на електрическа енергия, подобряват експлоатационните характеристики и удължават живота на устройствата и системите, в които са вградени. Когато трифазен асинхронен електрически двигател работи с честотен преобразувател, той се захранва с променлива честота и напрежение. Зависимостта между честотата (оборотите) на електрическия двигател и напрежението му се описва с  $U/f$  графика. Алгоритъмът  $U/f=\text{const}$  е характерен за вентилаторен тип регулиране. Вследствие на все по-високите изисквания към съвременните електрозадвижвания, претърпя развитие и технологията на управлението им. Предлаганите в момента евтини трифазни асинхронни двигатели отговарят с известни условия на високите изисквания към управлението им [1].

Софтстартерите представляват съвременни електронни устройства за плавно пускане и спиране на асинхронни двигатели с понижено напрежение. Някои от предлаганите устройства се отличават с голяма гъвкавост на управлението и поддържат редица защитни функции. Основните им предимства са:

- елементарно и гъвкаво управление на пусковия ток и пусковия момент;
- плавно управление на напрежението и тока, без превключвания и пикове;
- възможност за осигуряване на чести пускания и ефективно регулиране при променливи условия на пуск.

В доклада са дадени резултати от изследването на електрозадвижването на трифазен асинхронен двигател с накъсосъединен ротор. Разгледани са различни начини за управление, а именно с честотен регулатор (при различни честоти на захранващото напрежение) и със софтстартер при различни натоварвания.

## 2. Характеристика на обекта на изследване

Изследваният обект е трифазен асинхронен двигател с накъсосъединен ротор със следните номинални данни [2]:

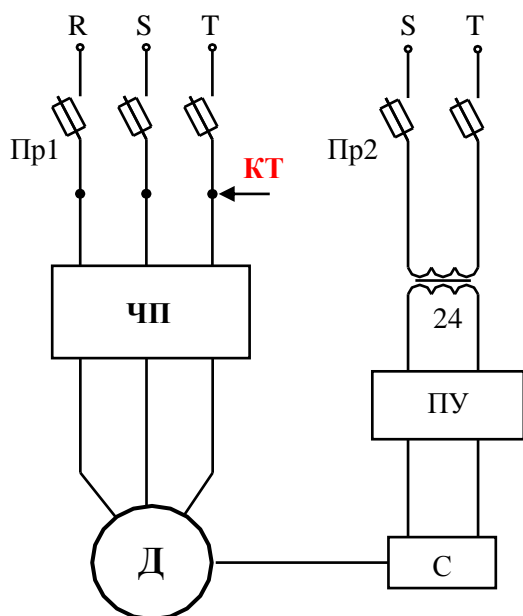
тип АО90s-4;  $P_H=1,1\text{kW}$ ;  $f=50\text{Hz}$ ; свързване  $\Delta/Y$ ;  $U_H=220/380\text{V}$ ;  $I_H=4,9/2,8\text{A}$ ;  $n_H=1410\text{min}^{-1}$ ;  $\cos\phi=0,80$ ; S1; IP44; БДС 5872-66, 18 kg.

За управлението му се използва:

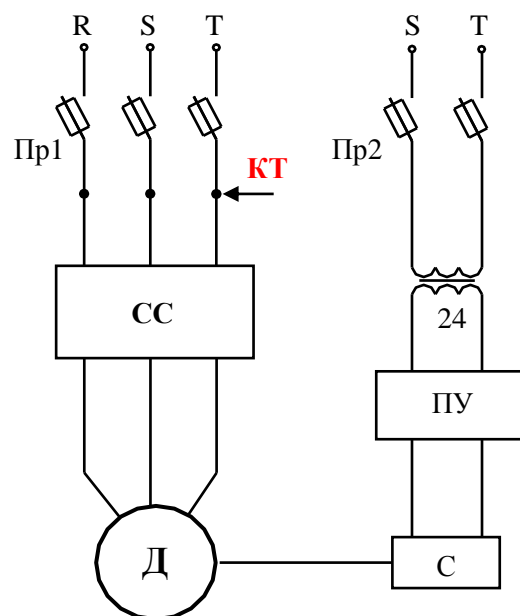
- честотен преобразувател на Danfoss тип VLT HVAC Drive за двигател с мощност  $1,1\text{kW}$  (400V) /  $1,5\text{Hp}$  (460V). Входни параметри:  $3\times 380-480\text{V}$ ;  $50/60\text{ Hz}$ ;  $2,7/2,6\text{A}$ ; Изходни параметри:  $3\times 0-V_{in}$ ;  $0-590\text{Hz}$ ;  $3/2,7\text{A}$ ; IP20;
- софтстартер на Danfoss Motor Controller с  $U_e=400-415\text{V}$ ;  $50/60\text{ Hz}$ ;  $I_e=\text{max } 3,5\text{A AC}$ ;  $U_c=24-415\text{V AC/DC}$ ;  $U_i=660\text{V}$ ;  $U_{\text{imp}}=4\text{kV}$ .

Като товарно устройство към двигателя е куплирана електромагнитна спирачка със захранващо напрежение 24V, осигурявано от трансформатор 400/24V. Входният сигнал може да се променя посредством потенциометър от 0 до 10V. Изходният сигнал се изменя от 0 до 2A. Максималната консумирана мощност е 30W. Чувствителността е 10mV.

На фиг. 1 е показана блок схема на опитната постановка при управление на асинхронния двигател с честотен преобразувател, а на фиг. 2 - при управление на двигателя със софтстартер. Използваните означения на фигурите са: КТ - контролна точка; ЧП - честотен преобразувател; СС - софтстартер; ПУ - платка управление; Д - двигател; С - спирачка.



Фиг. 1. Управление с честотен преобразувател



Фиг. 2. Управление със софтстартер

### 3. Изследване и анализ на получените резултати

Измерването е проведено със специализиран измервателен прибор QUALISTAR С.А. 8332 на Chauvin Arnaux в контролните точки показани на фиг. 1 и фиг. 2. Мрежата е трифазна трипроводна. Точките, в които е свързан уреда са на клемите излизащи от автоматичния предпазител захранващ за фиг. 1 честотния регулатор, а за фиг. 2 софтстартера. От там е взет токов и напреженов сигнал [3].

Двигателят се натоварва посредством електромагнитната спирачка, променяйки захранващото ѝ напрежение чрез потенциометър.

При работа на двигателя със софтстартер измерването е проведено при честота на захранващото напрежение 50Hz и изменение на захранващото напрежение на електромагнитната спирачка в границите от 0 до 4V, като така се променя товара на двигателя. В Таблица 1 са показани резултатите от това измерване.

При работа на двигателя с честотен преобразувател са проведени четири измервания при различни честоти на захранващото напрежение съответно 50Hz,

45Hz, 40Hz, 35Hz и изменение на захранващото напрежение на електромагнитната спирачка в границите от 0 до 4V за всяка от посочените честоти, като така се променя товара на двигателя. Резултатите от проведените измервания са дадени в Таблица 2.

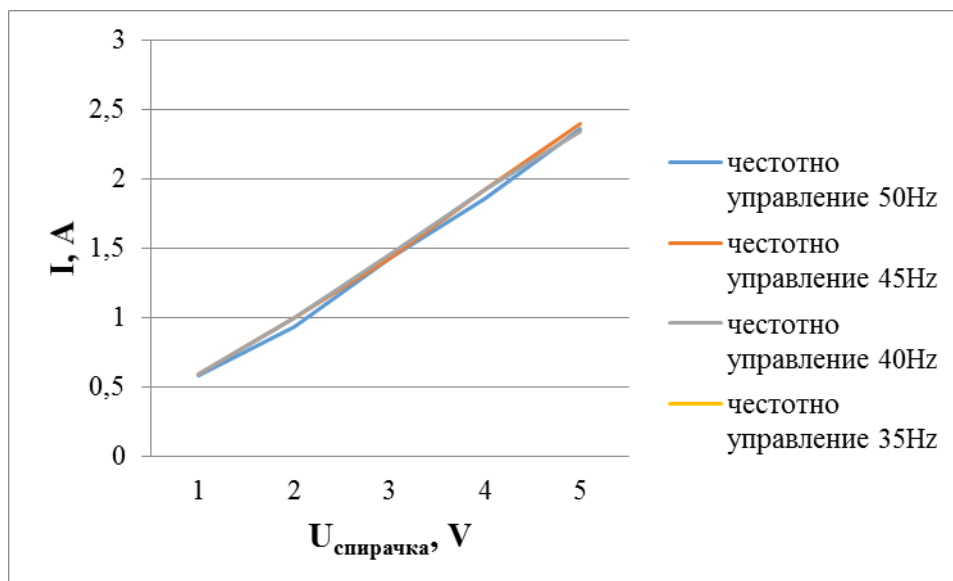
Таблица 1

Софтстартер	$U_{\text{спирачка}}, V$	0	1	2	3	4
50Hz	I, A	2,2	2,2	2,2	2,3	2,6
	$P_k, W$	208,4	292,7	473,3	758,5	1162

Таблица 2

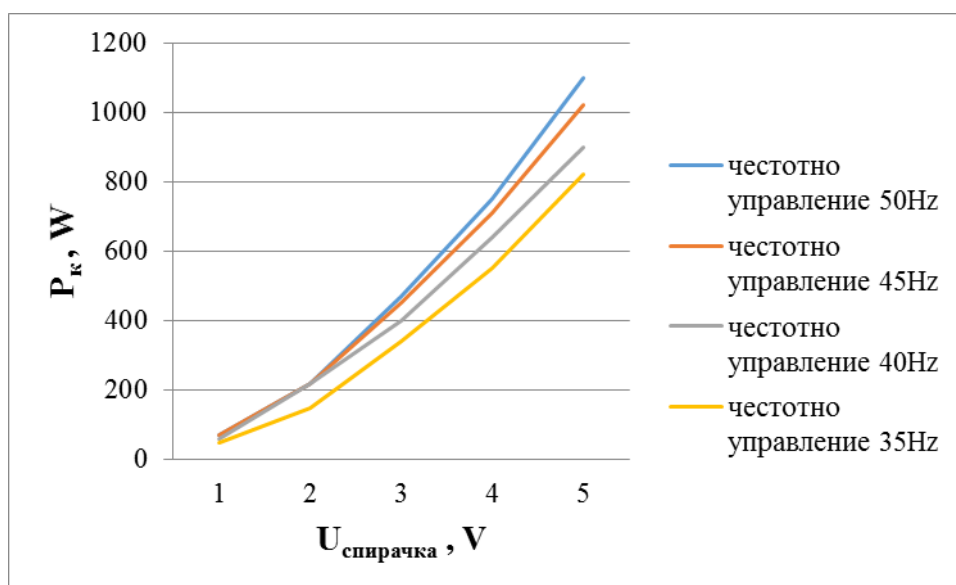
Честотен преобразувател	$U_{\text{спирачка}}, V$	0	1	2	3	4
50Hz	I, A	0,58	0,93	1,42	1,86	2,36
	$P_k, W$	70	220	470	750	1100
45Hz	I, A	0,59	1,00	1,42	1,92	2,4
	$P_k, W$	70	220	450	710	1020
40Hz	I, A	0,59	1,00	1,45	1,92	2,34
	$P_k, W$	60	220	400	640	900
35Hz	I, A	0,58	0,91	1,42	1,85	2,36
	$P_k, W$	50	150	340	550	820

На фиг. 3 е показано изменението на тока на двигателя при различни честоти на захранващото напрежение, променени посредством честотния преобразувател. Вижда се, че отчетените стойности на тока при различни честоти и един и същ товар са приблизително еднакви.



Фиг. 3. Изменение на тока през двигателя, при различни честоти на захранващото напрежение

Изменението на консумираната активна мощност от електрическият двигател при различни честоти на захранващото напрежение, променени от честотния преобразувател, е дадено на фиг. 4. От графиката се вижда, че консумираната активна мощност нараства с увеличаването на товара, но в същото време с намаляването на честотата на захранващото напрежение при едни и същи стойности на товара на двигателя, консумираната активна мощност намалява. Това се дължи на честотното управление, при което се поддържа отношението между напрежението и честотата константа, т.е.  $U/f = \text{const}$ . Следователно реализираната икономия на електрическа енергия се получава в следствие на намаляване на големината на захранващото напрежение и на честотата.



Фиг. 4. Изменение на консумираната активна мощност, при различни честоти на захранващото напрежение

В Таблица 3 е показана икономията на активна мощност  $\Delta P$  в проценти при различните честоти на захранващото напрежение и работа на двигателя с честотен преобразувател.

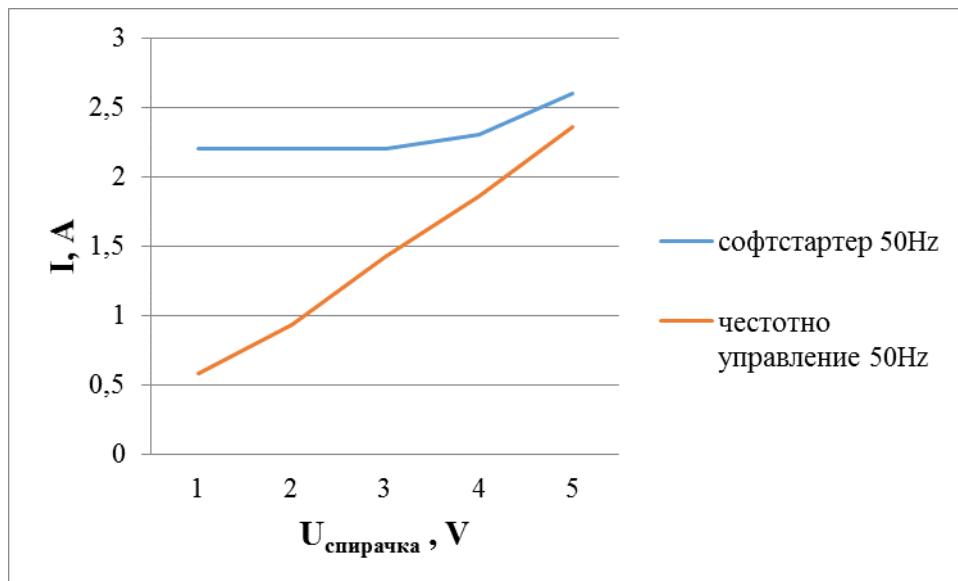
Таблица 3

Uспирачка, V	0	1	2	3	4
$\Delta P$ при 50Hz и 45Hz, %	0	0	4,26	5,33	7,27
$\Delta P$ при 50Hz и 40Hz, %	14,29	0	14,89	14,67	18,18
$\Delta P$ при 50Hz и 35Hz, %	28,57	31,82	27,66	26,67	25,45

От изчислените стойности се вижда, че най-голяма икономия на активна мощност се реализира при честота на захранващото напрежение 35Hz.

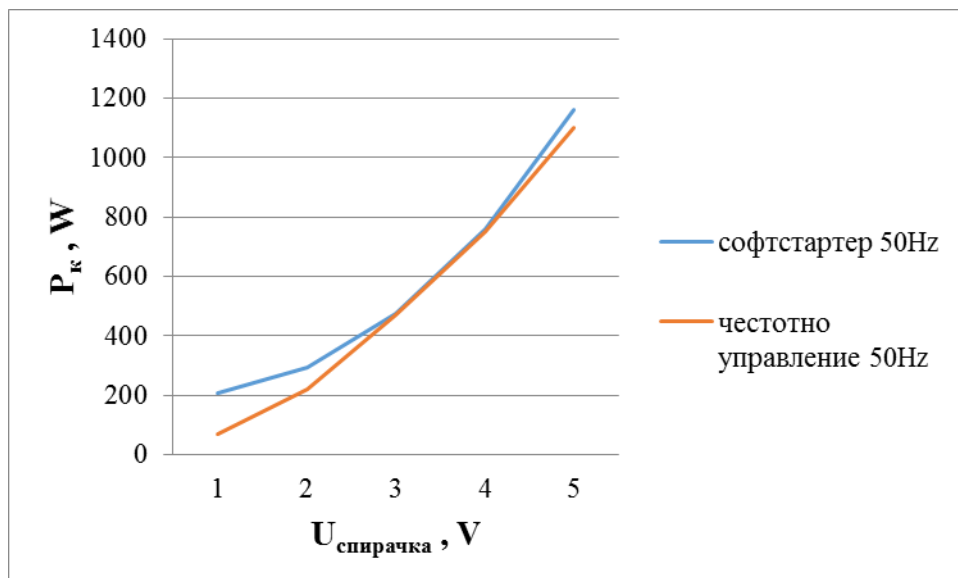
На фиг. 5 е показано изменението на тока на двигателя при работа със софтстартер и с честотен преобразувател. Честотата на захранващото напрежение и в двата случая е 50 Hz. Вижда се, че тока при работа на двигателя със софтстартер се променя в границите от 2,2А до 2,6А, а при регулиране с

честотно управление тока нараства плавно от 0,58А до 2,36А. Всички измерени стойности на тока при работа със софтстартер са по-големи от тези при работа с честотен преобразувател.



Фиг. 5. Изменение на тока през двигателя при работа със софтстартер и с честотен преобразувател

На фиг. 6 е дадено изменението на консумираната активна мощност от изследвания двигател при работа със софтстартер и с честотен преобразувател. Консумираната активна мощност при честотно управление на двигателя е по-малка в сравнение с работа на двигателя със софтстартер.



Фиг. 6. Изменение на консумираната активна мощност от двигателя при работа със софтстартер и с честотен преобразувател

В Таблица 4 е показана икономията на активна мощност  $\Delta P$  в проценти при работа на двигателя със софтстартер и с честотен преобразувател, при честота на захранващото напрежение 50Hz.

Таблица 4

$U_{\text{спирачка}}, V$	0	1	2	3	4
$\Delta P, \%$	66,4	24,8	0,7	1,1	5,3

От направените изчисления се вижда, че реализираната икономия при използването на честотен преобразувател за управление на асинхронен двигател е най-голяма при работа на празен ход (66,4%), докато с увеличаване на натоварването икономията на активна мощност намалява.

В Таблица 5 е дадено изменението на фактора на мощността при работа със софтстартер и с честотен преобразувател. Честотата на захранващото напрежение е 50 Hz. Факторът на мощността е най-голям при максимален товар. С намаляване на натоварването и фактора на мощността намалява. При използването на честотен преобразувател за управление на двигателя се реализира по-голям фактор на мощността, като тази тенденция се запазва и при намаляване на товара.

Таблица 5

$U_{\text{спирачка}}, V$	1	2	3	4
Фактор на мощността при честотно управление и 50Hz	0,5	0,71	0,77	0,83
Фактор на мощността при софтстартер и 50Hz	0,2	0,31	0,45	0,65

#### 4. Заключение

От направените измервания на токовете и на консумираната активна мощност на изследвания обект – асинхронен двигател и от анализа на резултатите може да се каже, че:

- Токът през двигателя при едни и същи стойности на товара и различни стойности на честотата на захранващото напрежение е приблизително еднакъв.
- Консумираната активна мощност от двигателя намалява с намаляване на честотата на захранващото напрежение.
- При управление на двигателя посредством честотен преобразувател, тока през двигателя се променя плавно за различните стойности на товара, в сравнение със софтстартер.
- Консумираната активна мощност е по-малка при управление посредством честотно управление в сравнение със софтстартер.
- Реализираната икономия на активна мощност е най-голяма при празен ход и използване на честотен преобразувател, в сравнение с използването на софтстартер.

В заключение може да се каже, че използването на честотни преобразуватели за управлението на асинхронни двигатели осигурява икономия на енергия, в сравнение с използването на софтстартери.

## Благодарности

Изследванията в тази публикация са проведени благодарение на подкрепата на НИС при ТУ-София, договор № 141ПД0055-01.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Clarence A., *Variable Speed Drive Fundamentals*, The Fairmont Press Inc., ISBN 0-88173-258-3, 1997.

[2] [www.danfoss.com/drives](http://www.danfoss.com/drives).

[3] Цанев Ц., С. Цветкова, В. Цветкова, Определяне на контролните точки за монтаж на апаратура за измерване на качеството на електрическата енергия, Енергиен форум 2008, Варна, 11-14 юни 2008, Варна, стр. 321-329.

**Автори:** Ангел Петлешков, гл. ас. – катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, *email:* [apetl@tu-sofia.bg](mailto:apetl@tu-sofia.bg); Николай Стоманярски, маг. инж. – катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, *email:* [nstomaniarski@tu-sofia.bg](mailto:nstomaniarski@tu-sofia.bg); Светлана Цветкова, доц. д-р – катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, *email:* [stzvet@tu-sofia.bg](mailto:stzvet@tu-sofia.bg); Ваня Петрова, инж, ПГЖТ „Н. Вапцаров“, *email:* [vaniatzvet@abv.bg](mailto:vaniatzvet@abv.bg).