



DEVELOPMENT AND SETTING UP OF AN ASYNCHRONOUS DRIVE - LABORATORY STAND

Vasil Dimitrov*, Petko Kostadinov

Todor Kableschkov University of Transport – Sofia, Bulgaria

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 September 2019

Accepted 20 November 2019

Keywords:

induction motor drive; frequency converter; ELDI/V-A; Sentron PAC 3200

ABSTRACT

A laboratory stand has been developed to meet the higher educational quality requirements. It includes an induction motor, controlled by a frequency converter ELDI/V-A. The closed loop control is provided by an encoder. The necessary protection devices are ensured. Using the energy meter Sentron PAC 3200 offers many opportunities for tests and laboratory exercises: examination of an open loop or closed control of an induction motor drive, as well as the influence of various setting parameters on the drive performance; remote monitoring of the drive and state assessment.

© 2019 Journal of the Technical University of Gabrovo. All rights reserved.

ВЪВЕДЕНИЕ

Правилното проектиране на всяко електрозадвигване изисква задължително да се познаят добре характеристиките му и да се избере най-добрият начин за пускане, спиране и управление в зависимост от зададените условия. По този начин може да се обезпечи постигането на максимална ефективност и ниска себестойност на разходите по време на експлоатация.

Трифазните асинхронни двигатели с накъсосъединен (кафезен) ротор имат най-голям дял в момента в съвременните електрозадвигвания в промишлеността и транспорта [1]. Тенденциите за непрекъснато подобряване и поевтиняване на електронните компоненти и бързото развитие на изчислителната техника налагат все по-често употребата на задвигвания с асинхронни двигатели с честотно управление – реализират се регулируеми задвигвания, които гарантират голяма претоварваща способност и високи динамични показатели в широк диапазон на регулиране на скоростта [2, 3]. Възможностите, които предлага векторното управление, разширяват значително сферата на приложение на такива задвигвания, особено за ЕТС [4, 5].

В тази връзка е необходимо непрекъснато повишаване нивото и подготовката на специалистите по проектиране, настройка и обслужване на съвременни асинхронни задвигвания, за да могат да се справят с повишените изисквания към такива системи. В настоящия доклад е разработен стенд за изпитване на асинхронно задвигване, което създава предпоставки за разширяване перспективите за обучение и подготовка на висококвалифицирани специалисти. Предоставена е възможност за дистанционен мониторинг по време на експлоатация, както и алтернатива за модулно допълване с цел разширяване на възможностите му за изпитателни и изследователски дейности.

РАЗРАБОТВАНЕ НА ЛАБОРАТОРЕН СТЕНД

При проектирането на лабораторния стенд се използва наличен трифазен асинхронен двигател (АД) Т90L 4 на „Елпром“ – Троян със следните технически параметри:

- захранващо напрежение: 400/230V Y/D,
- честота 50 Hz,
- мощност 1,5 kW,
- номинална скорост на въртене: 1410 rpm (синхронна 1500 rpm),
- номинален ток: 3,8A / 6,6A Y/D,
- фактор на мощност, $\cos\varphi = 0,8$
- к.п.д. $\eta=76\%$.

В съответствие с мощността на двигателя е избран еднофазен честотен преобразувател Електроинвент ELDI/V – А, 1,5 kW, за захранващо напрежение 230 V (фиг. 1) [6].



Фиг. 1. Честотен преобразувател ELDI/V – А

Честотният преобразувател се свързва към захранващата мрежа чрез филтър за електромагнитна съвместимост.

* Corresponding author. E-mail: vdimitroff@abv.bg

мост тип FS 5458 (фиг. 2). В стенда е монтиран спирачен резистор R_{br} тип MITSUBISHI FR-ABR-H2,2K 60Ω 100W (фиг. 3), по предписание на производителя за тази мощност на честотния преобразувател [6]. Включването на спирачен резистор в схемата не е задължително при задвижвания с малки инерционни маси и ако не е наложително бързо спиране.

За натоварване на двигателя е използвана електромагнитна (вихро-токова спирачка – BTC) с външно захранване.



Фиг. 2. Филтър за електромагнитна съвместимост



Фиг. 3. Спирачен резистор

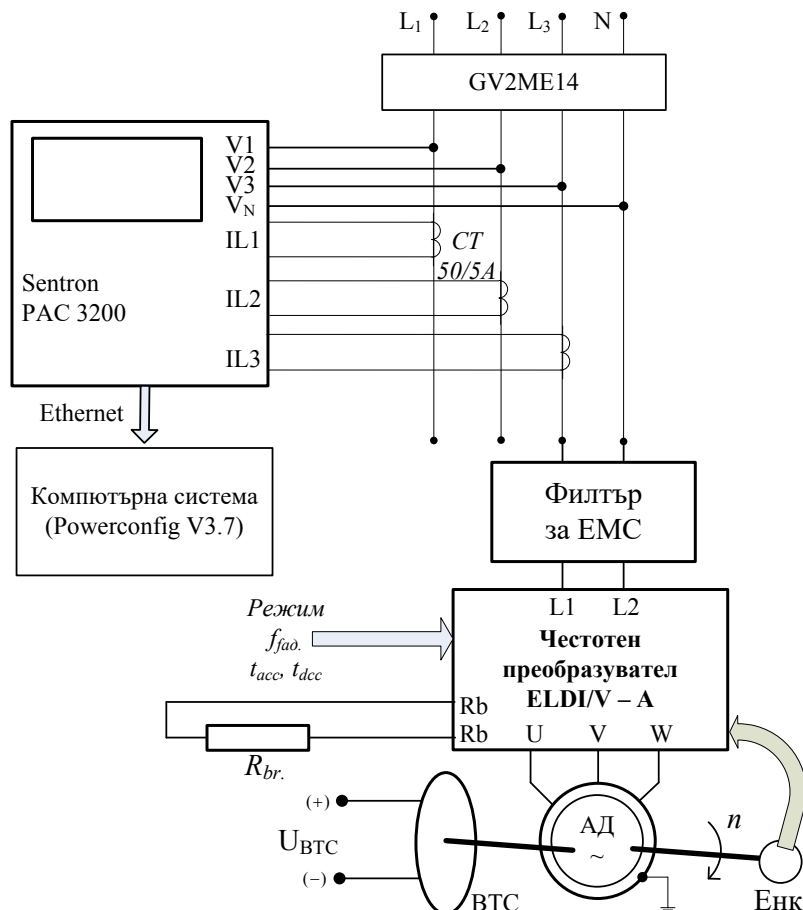
На вала на двигателя е монтиран също така енкодер тип X02011A-720 (Eltra) за реализиране на обратна

връзка по скорост. Тя е необходима за режимите на векторно управление и компенсиране на хлъзгането при пропорционално управление.

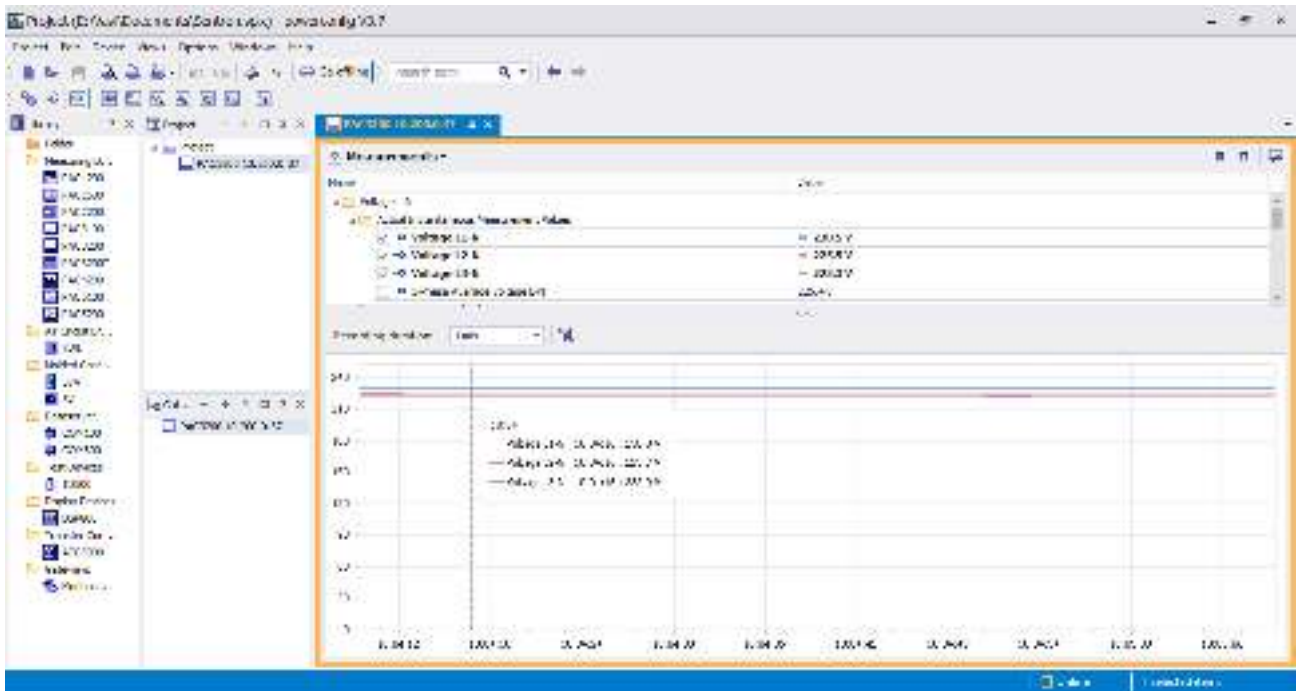
Предвидена е измервателна апаратура с висок клас на точност и с възможност за дистанционен мониторинг в реално време. Sentron PAC3200 (разработка на Siemens) предлага редица възможности за анализ на консумираната мощност [7]. Напреженията му входове са свързани директно към мрежата, а за измерване на ток са предвидени три токови трансформатора 50/5 А. Монтиран е триполюсен термомагнитен автоматичен прекъсвач MCB GV2-ME14 (номинален ток 10А и обхват за настройка на термична защита 6...10 А). На фиг. 4 е показана електрическата схема на проектираното електрозадвижване. Лабораторният стенд се свързва към една от фазите на измервателния уред. Интегрираният Ethernet интерфейс се използва за комуникация между уреда и компютър посредством протокол Modbus TCP Ethernet (10 Mbps). На компютъра е инсталиран софтуерен продукт Powerconfig V3.7. Sentron PAC3200 предава измерените стойности в реално време и данните могат да бъдат визуализирани (фиг. 5).

Има възможност за експортиране на информацията в таблици на Excel.

Конфигурацията на параметрите за измерване може да бъде направена директно от предния дисплей на уреда или чрез комуникационния интерфейс с помощта на компютъра.



Фиг. 4. Схема на лабораторния стенд



Фиг. 5. Софтуерен продукт Powerconfig V3.7 – мониторинг на трифазно напрежение

НАСТРОЙКИ НА АСИНХРОННОТО ЗАДВИЖВАНЕ

За програмиране и локално управление на честотния преобразувател има монтиран дисплей с клавиатура (вж. фиг. 1). Бутоните са стрелки за преместване на редовете от менюто, бутон за потвърждение и бутон за отказ. Настройките се извършват с клавиатурата, като се задават стойности на параметри. Те са систематизирани софтуерно в групи, като основно са разделени на:

- параметри за визуализация;
- параметри за настройка.

Параметрите са групирани в петнадесет менюта по функционалност. Всяко меню е обозначено с латинска буква, а съответният параметър – с цифра [6]. Параметрите за визуализация изобразяват текущата стойност на дадена величина, параметрите за настройка задават характеристиките за работа на честотния преобразувател.

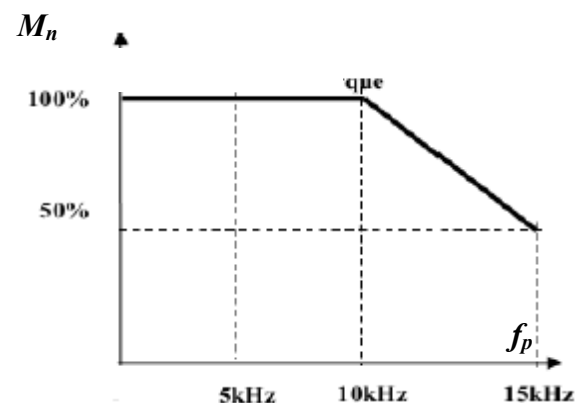
По-важните параметри за визуализация (b) са следните:

- b.00 – напрежение на изхода на вградения токоизправител (U_{DC_link});
- b.01 – фазов ток на двигателя;
- b.02 – скорост на въртене на ротора;
- b.03 – изходна честота на инвертора;
- b.04 – състояние на задвижването.

За първоначално включване се правят основни настройки, като се задават най-важните параметри, а именно тези от група (c), (d) и (q): данни за двигателя, за захранващо напрежение, за честотата на широчинно-импулсната модулация ШИМ (от 1 до 14 kHz), за базова честота, за максималната честота, до която се допуска управлението на двигателя. Към основните настройки се задават и параметрите за токоограничение при стартиране, при номинални обороти и при спиране.

Трябва да се има предвид, че изборът на модулираща честота f_p (честотата ШИМ) влияе върху претоварващата способност. При по-високи стойности намалява претоварващата способност на честотния преобразувател (фиг. 6). Има също така и зависимост

между f_p и разстоянието между честотния преобразувател и двигателя. При по-големи разстояния се избират по-ниски честоти. Изборът на по-високи честоти може да доведе до смущения в работата на други устройства или до утечки по корпуса на силовия модул (инвертора). При избор на ниска честота е възможна поява на „свирене“ в двигателя.



Фиг. 6. Зависимост на момента от честотата на ШИМ

След първоначалните настройки и пускане се преминава към прецизиране и задаване на параметри на цифровите и аналогови входове и изходи – групи (I), (J) и (L), настройки на обратните връзки, а при дистанционно управление – и настройка на комуникационните параметри – група (P). Режимът на стартиране се конфигурира чрез параметър n.00:

- n.00 = 0 – стартиране от цифров вход,
- n.00 = 1 – стартиране от аналогово задание за честота (по-голяма от зададената в параметър n.03).
- n.00 = 2 – стартиране от цифров вход при зададена фиксирана честота.

Режимът на спиране се конфигурира чрез параметър n.02:

- n.02 = 0 – честотата и напрежението се намаляват плавно за зададеното време,
- n.02 = 1 – захранването към двигателя се изключва и той спира неуправляемо (по инерция),

$n.02 = 2$ – неуправляемо спиране с DC – спиращка – конфигурира се отделно с параметри от група (O).

В режимите за неуправляемо спиране се активира таймер за забрана на повторно стартиране.

Времената за ускорение t_{acc} и спиране t_{dec} се задават чрез параметри от група (F), поотделно (0 – 32760 s). Освен линейна функция, има възможност и за настройка на S – образна крива при ускорение.

Режимът на управление и възможностите за стабилизация на скоростта се конфигурират чрез параметри от групи (G) и (H).

След тези първоначални настройки задвижването е готово за пускане. Параметрите за управление са от група (A):

- A.00 – задава се функция: готовност (0000), старт (0001), стоп (0002) и реверс (0003);

- A.01 – задава се цяла стойност на желаната честота за управление $f_{зад.}$: от 0 до 400 Hz;

- A0.2 – с този параметър се задава дробна част на желаната честота за управление от 0.01 до 0.99 Hz.

След задаване на стойност се потвърждава с бутон ENTER.

С бутоните START и STOP се пуска и спира двигателят при избран режим за управление от клавиатурата – параметър q.00. В този случай желаната честота се задава с параметър A.01 и A.02 (може да се променя и при стартиран двигател). Посоката може също да се промени при въртящ се двигател, като при зададена смяна на посоката АД плавно спира и се завърта в обратна посока.

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ИЗСЛЕДВАНИЯ

Разработеният стенд предоставя възможност за провеждане на изследвания и лабораторни упражнения в различни аспекти при спазване на условията за безопасна работа:

- снемане на механични и електро-механични характеристики на АД при различен закон за честотно управление:

$$\omega = f(M), \omega = f(I) \quad (1)$$

- изследване на изменението на енергийните показатели на задвижването при различен режим на управление (фактор на мощността, КПД, коефициенти на изкривяване на формата на тока и напрежението):

$$\cos\varphi = f(M), \eta = f(M), \quad (2)$$

$$THD_I = f(M), THD_U = f(M). \quad (3)$$

- изследване влиянието на различни параметри за настройка на ЧП върху динамиката и ефективността на задвижването и др. [2, 3]

Честотен преобразувател ELDI/V-A дава възможност за избор на закон за честотно управление на двигателя от следните варианти:

- ✓ Пропорционално управление без обратна връзка по скорост $U/f = \text{const}$. При избор на този режим минималната честота на въртене, при която се постига номинален въртящ момент, е 2,5 до 5 Hz. Диапазонът на регулиране при постоянен момент е 1:20 (до номиналната честота 50 Hz). При по – високи скорости двигателният момент намалява.

Този метод на управление може да се използва за механизми, които не изискват висок стартов момент и динамика на управление на двигателя. Такива са помпи,

вентилатори, транспортни ленти и др. (този ЧП не предлага възможност за управление по енерго-спестяващата квадратична характеристика при задвижване на механизми с вентилаторен съпротивителен момент).

- ✓ Пропорционално управление с обрат-на връзка по скорост ($U/f = \text{const}$), като се използва монтираният енкодер. Постига се номинален момент дори при спрял двигател. Диапазонът на регулиране следователно е 1:50 (до номиналната честота 50 Hz).

- ✓ При режим на векторно управление с ОВ по скорост се постига двукратен номинален въртящ момент при стартиране, като диапазона на регулиране е 1:100. В този случай задължително е да се използва датчик за обратна връзка по скорост (енкодер) на вала на двигателя. Режимът се използва за механизми, изискващи висок стартов момент, голяма динамика и широк диапазон на регулиране. Подходящ е за асансьори, подавателни механизми и др. Режимът на векторно управление без обратна връзка по скорост в тази версия не е реализиран.

Предвидени са същите режими за управление и на синхронен двигател.

При провеждане на изследвания първоначално се задава някой от описаните режими на управление. Наличието на измервателния уред Sentron PAC3200 предоставя възможност за мониторинг на следните параметри на LCD дисплей или дистанционно [7, 8], като се използва софтуерният продукт Powerconfig:

- Напрежение (U - фазно, линейно);
- Ток (I за всяка фаза и общ);
- Активна мощност ($\pm P$ за всяка фаза и обща);
- Реактивна мощност (Q за всяка фаза и обща);
- Пълна мощност (S за всяка фаза и обща);
- Фактор на мощността ($|PF|$ за всяка фаза и общ);
- Честота на захранващата мрежа f;
- Общо хармонично изкривяване на напрежението и тока (Total harmonic distortion – THD_U / THD_I за всяка фаза);
- Мин./макс. стойности, достигнати по време на изследването, на параметрите U / I / P / PF / THD / f (възможност за нулиране);
- Активна и реактивна енергия (импорт / експорт) в две тарифи.

В допълнение, в Sentron PAC3200 са вградени мултифункционални цифрови входове и изходи и чрез настройка могат да бъдат реализирани логически функции за сигнализация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е разработен лабораторен стенд за изследване на асинхронно електро-задвижване с честотно управление. Такива задвижвания намират голямо приложение в промишлеността и транспорта. Избрани са елементите от стенда, осигурена е обратна връзка по скорост, както и възможност за натоварване на двигателя.

Лабораторният стенд предлага възможности за провеждане на различни научни изследвания и експерименти, както и на лабораторни упражнения, с цел определяне на ефективността на задвижването в зависимост от избрания режим на управление и настройката на редица параметри:

- изследване на отворена система за управление на задвижването (без обратна връзка по скорост);

- изследване на затворена система (с обратна връзка по скорост) при пропорционално или векторно управление;

- изследване влиянието на различни параметри за настройка на ЧП върху динамиката и ефективността на задвижването – времена за ускорение и спиране, честота на ШИМ и др.

Осигурена е съвременна измервателна апаратура с възможност за дистанционен мониторинг в реално време и за обработка на информацията след експортиране в таблици на Excel.

Наличието на лабораторния стенд е основа за обучение на студенти за работа със съвременно оборудване:

- настройка на измервателна апаратура и на съответната комуникация с компютър и софтуерен продукт;

- дистанционен мониторинг на параметри и оценка на състоянието по време на експлоатация на задвижването;

- създаване на архиви, обработка и анализ на информация с цел повишаване на енергийната ефективност и оптимизация на работата на задвижването;

- оптимална настройка на честотен преобразувател в зависимост от изискванията на съответното приложение.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bakshi U., Bakshi M., Electrical Drives and Control, Technical Publications Pune, India, 2009
- [2] Petrov I., Investigation of Power Factor and Ways of its Improvement, Proceedings of Technical university of Sofia, Vol. 67/1, 2017
- [3] Pavlov G., Dimitrov G., Research on energetic indicators and possibilities for modernization of electric vehicles for AC power, Proceedings of University of Ruse, Vol. 51/3.1, 2012
- [4] Milenov I. & coll., Advantages of vector control in traction asynchronous drives, VIII Sc. Conf. "Smolyan-2006", Proceedings, pp. 112-118, 2006
- [5] Boynovski V., Milenov I., Analysis of technical parameters and choice of traction motor type for electric vehicles, Acad. J. MTC, Vol. 17, Issue 3/3, art. ID 1872, 2019
- [6] Frequency converter ELDI/V-A, Technical specification, Electroinvent, 2011
- [7] SENTRON PAC3200, Technical specification, Siemens, 2011
- [8] <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/low-voltage/components/sentron-measuring-devices-and-power-monitoring.html>