

РАЗРАБОТВАНЕ НА ЛАБОРАТОРНА СИСТЕМА ЗА ИЗПИТВАНЕ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Васил Димитров
vdimitroff@abv.bg

**ВТУ „Тодор Каблешков“ – София, 1574, ул. "Гео Милев" 158
БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** асинхронни двигатели, електромагнитна спирачка, лабораторни изпитания*

***Резюме:** В доклада е проектиран и разработен стенд за изпитване на асинхронно задвижване. Осигурено е натоварване на двигателя с електромагнитна спирачка. Създадена е възможност за реверсиране на двигателя, предвидени са необходимите блокировки, апаратура за управление и защита. Предложена е методика за провеждане на лабораторни упражнения, проведени са и експерименти, като се използва измервателна апаратура с висок клас на точност: снемане на механични и електромеханични характеристики и зависимости на енергийните показатели на задвижването при промяна на натоварването. Изграждането на такава система за изпитване на електродвигатели е много полезна в процеса на обучение и за провеждане на изследователски и изпитателни дейности.*

ВЪВЕДЕНИЕ

За осигуряване на оптимални условия за хранване и управление на всяко задвижване и за обезпечаване на максимална ефективност и ниска себестойност на разходите, е наложително да се извърши предварително правилно проектиране. На първо място е задължително да се познават добре характеристиките на задвижването, за да се избере най-добрият начин за пускане, спиране и управление в зависимост от зададените условия. Най-голям дял в съвременните електрозадвижвания в промишлеността и транспорта се пада на трифазните асинхронни двигатели с накъсосъединен (кафезен) ротор [1]. В резултат от бързото развитие на електрониката и изчислителната техника е възможна реализацията на регулируеми задвижвания с такива двигатели, гарантиращи голяма претоварваща способност и високи динамични показатели в широк диапазон на регулиране на скоростта [2]. Следователно е необходимо непрекъснато повишаване нивото и подготовката на специалистите, работещи в тези области, за да могат да се справят с правилното проектиране, внедряване и настройка на системи с асинхронни задвижвания. В тази връзка е разработен стенд за изпитване на асинхронно задвижване, което създава предпоставки за разширяване перспективите за обучение и подготовка на висококвалифицирани специалисти. Той е с алтернатива за модулно допълване с цел разширяване на възможностите му за изследователски и изпитателни дейности.

ЛАБОРАТОРЕН СТЕНД ЗА ИЗПИТВАНЕ НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ

Основният елемент на разработваната лабораторна система е трифазен асинхронен двигател, производство на българска фирма(табл. 1). Статорните намотки са свързани в звезда, тъй като лабораторията се захранва с трифазно напрежение 380 V.

Таблица 1

Четириполусен АД ($p=2$), $n_0=1500 \text{ min}^{-1}$	Корпус АТ 100 L4
Номинално напрежение	220 VD/380 VY, 50 Hz
Номинална мощност	3 kW
Номинална скорост	1430 min^{-1}
Номинална ъглова скорост	149,74 rad/s
Номинален въртящ момент	20 Nm
Номинален ток	12,3 A (D) ; 7,1 A (Y)
Фактор на мощността	0,78
Коефициент на полезно действие	82,3 %
Маса	23,3 kg
Материал	AL/AL

Натоварването на двигателя е реализирано с електромагнитна спирачка (ЕМС). На вала му е монтиран метален диск. На друг диск са монтирани шест електромагнитна с отворен магнитопровод, през който минава въртящият се диск. Шестте бобини се захранват от регулируем източник на напрежение. При протичане на ток се създава магнитно поле, силовите линии на което пресичат подвижния диск. Принципът на действие на такава спирачка може да се обясни с явлението електромагнитна индукция. Ако в магнитното поле, създадено от електромагнитна, се движи метален диск, по повърхността му се индуцират вихрови токове (токове на Фуко) [3]. Магнитната индукция на полето на вихровите токове във всеки момент (съгласно с правилото на Ленц) има противоположна посока на магнитната индукция на полето на електромагнитна. Това поражда сили на отблъскване между съответния полюс на електромагнитна и металния диск. По този начин се създава спирачен ефект – съпротивителен момент, който действа обратно на посоката на въртене на вала. Този метод за натоварване позволява регулиране на спирачната сила чрез промяна на големината на тока през бобините и работи без използване на силата на триене.

Влиянието на вихровите токове се определя теоретически, като се основава на допускането, че плоска електромагнитна вълна прониква във феромагнитния диск [3]. Изменението на магнитната индукция в материала от $-B_s$ до $+B_s$ (или обратно) се извършва мигновено в безкрайно тънък слой dz . Размерът l е по направление на магнитния поток. Нека началната стойност на индукцията да бъде $B_{\text{нач}} = -B_s$, а външното поле H да превишава H_c (коерцитивната напрегнатост при $B=0$). Ако външното поле е проникнало на дълбочина z , външните слоеве ще имат индукция $+B_s$, а вътрешните - $-B_s$. Общият поток Φ в диска ще бъде:

$$(1) \quad \Phi = -\Phi_s + \frac{2z}{d} \cdot 2\Phi_s,$$

където d е ширината на бобината, която създава магнитното поле.

Дълбочината на проникване z се определя по формулата:

$$(2) \quad z = \frac{B+B_s}{4B_s} d.$$

Изменението на магнитния поток (с нарастване на z) предизвиква индуктиране на е.д.н. e в двата крайни слоя z , което зависи и от ъгловата скорост ω на двигателя:

$$(3) \quad e = -2B_s d \frac{dz}{dt} \cdot \omega$$

Това е.д.н. обуславя вихров ток i_v равен на:

$$(4) \quad i_B = e \cdot \frac{z \cdot l}{\rho \cdot 2d},$$

където ρ е специфичното съпротивление на материала.

Вихровият ток създава в средата на пластината напрегнатост H_B :

$$(5) \quad H_B = \frac{i_B}{l} = \frac{-2B_s \cdot \omega \cdot z}{\rho} \frac{dz}{dt}$$

По време на целия процес на пренамагнитване в средата на диска сумата от външното поле H и полето от вихровия ток H_B е равна на H_c , т.е. $H_B + H = H_c$. Въз основа на тази връзка и на (2) и (5) се получава:

$$(6) \quad H = H_c + \frac{d^2}{8\rho} \cdot \frac{B+B_s}{B_s} \cdot \frac{dB}{dt}.$$

Пренамагнитването протича по същия начин, ако началната индукция $B_{нач}$ има произволна стойност, а не $-B_s$, както беше прието при извеждането на (6). В общ случай, за частен хистерезисен цикъл за възходящия и низходящия клон се получава:

$$(7) \quad \frac{dB}{dt} = \frac{H \cdot \text{sgn} \frac{dB}{dt} - H_c}{\frac{d^2}{8\rho} \cdot \frac{B - B_{нач}}{B_s}}$$

Ако е известен законът на изменение на магнитната индукция $B(t)$, се получава аналитичен израз, по който може да се оцени влиянието на вихровите токове. Законът на изменение на магнитната индукция в нашия случай е:

$$(8) \quad B(t) = -B_s + \omega \cdot B_m \cdot t, \quad \text{където:} \quad (9) \quad \omega \cdot B_m = \frac{dB}{dt} = const$$

След заместване на (8) в (6) се получава:

$$(10) \quad H = H_c + \frac{d^2 \omega \cdot B_m}{8\rho} \cdot \left(1 + \frac{B}{B_s}\right).$$

Магнитното поле се създава от протичането на постоянен ток през бобините, захранвани с напрежение u :

$$(11) \quad B(t) - B_s = \Delta B = \frac{1}{w \cdot S} \cdot \int_0^t u dt,$$

където w е брой на навивките на бобината от проводник с дължина l_0 ,
 S – сечението на магнитопровода.

От тях се определя индуктивността на бобината $L = \frac{\mu_0 w^2 S}{l_0}$.

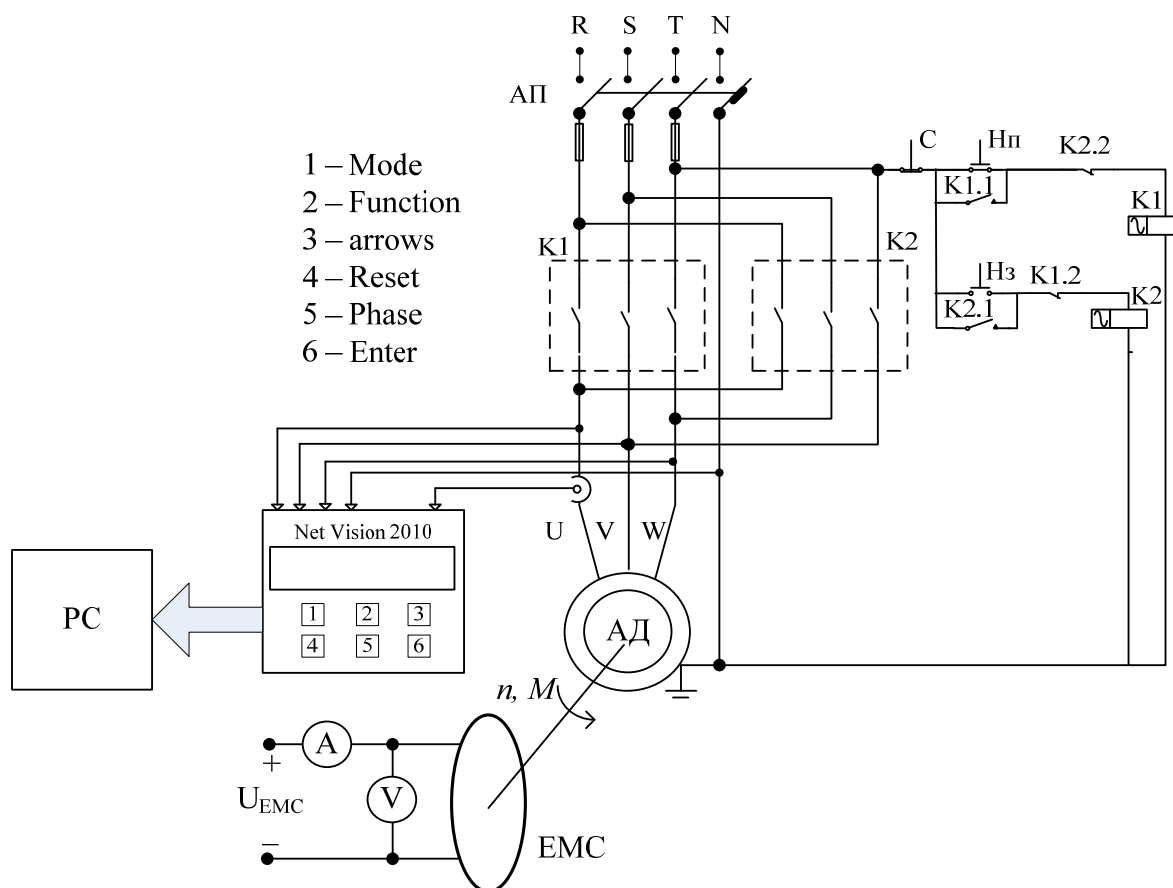
Следователно, в зависимост от подаденото напрежение се определя магнитната индукция B . С увеличаване на напрежението нараства B , а заедно с това расте големината на вихровите токове. Увеличава се интензитетът на полето, създадено от тях, но с противоположна посока на индукцията. Създава се съпротивителна сила, която оказва спирачен ефект и натоварва двигателя. $L=70mH$; $w=1600$; $S=2,16mm^2$; $l_0=186mm$.

Управлението на двигателя се осъществява по схемата, показана на фиг. 1. Реверсирането е реализирано с два контактора (за посоки „Напред“ и „Назад“), предвидени са необходимите блокировки и апаратура за управление и защита. Всички елементи на стенда са съобразени с параметрите на двигателя.

При изпитанията се използва преносим мултифункционален анализатор NET VISION 2010 – съчетание на мултимер, двулъчев осцилоскоп, спектрален анализатор и уред за определяне на векторна диаграма [4]. Има възможност за запазване на данните от измерванията и прехвърлянето им към компютър (PC).

МЕТОДИКА ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ИЗПИТАНИЯ

Целта на методиката е провеждане на изпитания на АД при променлив съпротивителен момент и спазване на условията за безопасна работа: снемане на механични и електромеханични характеристики и изменението на енергийните показатели на задвижването (фактор на мощността, КПД, коефициенти на изкривяване на формата на тока и напрежението) в двете посоки на въртене:



фиг. 1 Схема на лабораторния стенд за изпитания на асинхронен двигател

$$(12) \quad \omega = f(M), \quad \omega = f(I), \quad \cos\varphi = f(M), \quad \eta = f(M), \quad THD_I = f(M), \quad THD_U = f(M).$$

Редът за провеждане на изпитанията е следният:

1) Свързва се схемата (фиг.1). Захранването на EMC първоначално е изключено (празен ход на двигателя), тъй като не е осигурена апаратура за плавно пускане.

2) Затваря се автоматичният прекъсвач АП.

3) Посредством натискане на бутон Нп двигателят се включва и се развърта на празен ход в посока напред. Следят се показанията на NET VISION 2010. Измерва се скоростта на въртене n с безконтактен дигитален тахометър. Изчислява се $\omega = \pi \cdot n / 30$.

4) Двигателят се натоварва чрез увеличаване на напрежението, подавано към EMC. Токовете в трите фази на АД нарастват, а скоростта намалява. От електронна везна, монтирана към диска с електромагнитите, се отчита масата и се определя силата на тежестта ($G = m \cdot 9,81$). По този начин се извършват няколко измервания при различно напрежение на EMC.

5) Аналогично се провеждат изследвания за посока назад.

Възможно е по време на изпитанията данните да се записват в паметта на уреда NET VISION 2010, а не да се попълват в таблици. След приключване на изпитанията всички данни се изпращат към компютър и впоследствие се обработват. По този начин се спестява значително време и се намалява вероятността за прегряване на двигателя и EMC. При обработката на резултатите се използват следните формули:

$$(13) \quad I = \frac{I_U + I_V + I_W}{3}, A \quad (14) \quad P = P_U + P_V + P_W, kW$$

$$(15) \quad M = \frac{P}{\omega}, Nm \quad (16) \quad P_c = U_{EMC} \cdot I_{EMC}, W$$

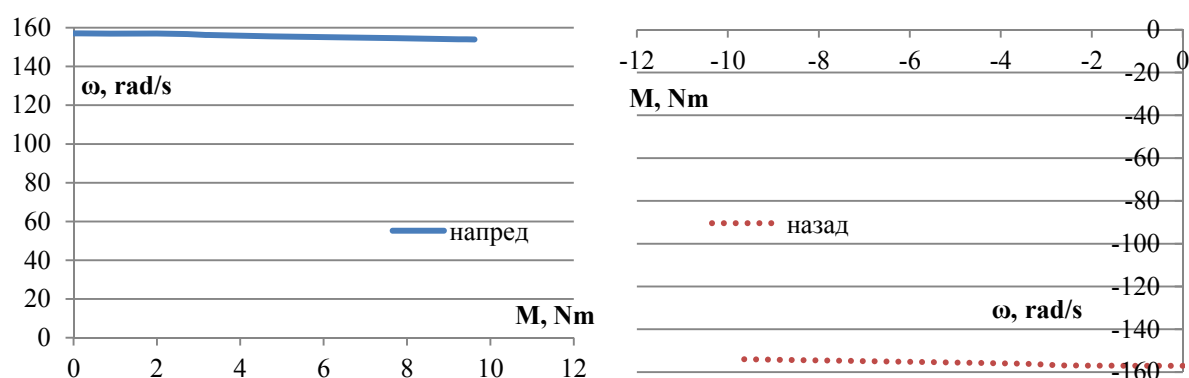
$$(17) \quad M_c = G \cdot r, Nm \quad (r - \text{радиус на въртящия се диск})$$

$$(18) \quad \eta = \frac{P_c}{P} \cdot 100, \%$$

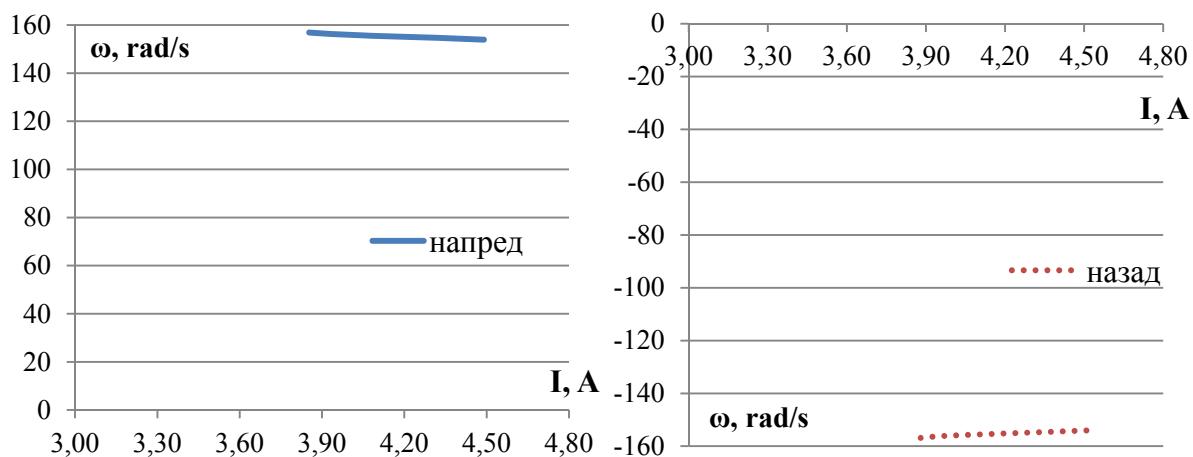
Получените графики са показани на фиг. 2-5. При увеличаване на натоварването скоростта на въртене намалява, но се подобряват енергийните показатели на задвижването ($\cos \varphi$, кпд, коефициенти на изкривяване на формата на тока и напрежението). Разликата от изпитанията в двете посоки на въртене е незначителна. По този начин е проведена експериментална верификация на зависимостите, известни от литературата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

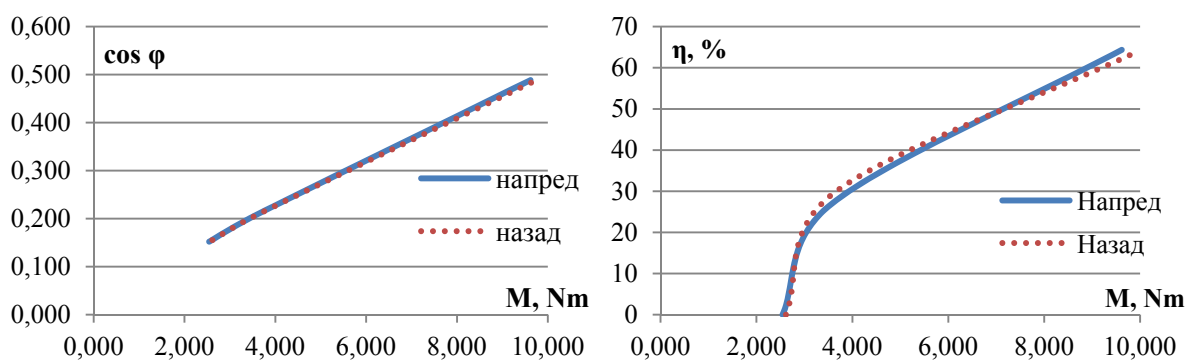
В доклада е разработен стенд за провеждане на изпитания на асинхронен двигател. Разработена е методика за провеждане на изпитания, чрез съвременна апаратура са снети различни характеристики, които съвпадат с известните от литературата. Изграденият стенд и разработената методика могат да бъдат използвани за провеждане на лабораторни упражнения със студенти, за научни изследвания и експерименти от преподаватели и докторанти. Обогаत्या се материалната база, повишава се нивото на подготовка на кадри за промишлеността и транспорта.



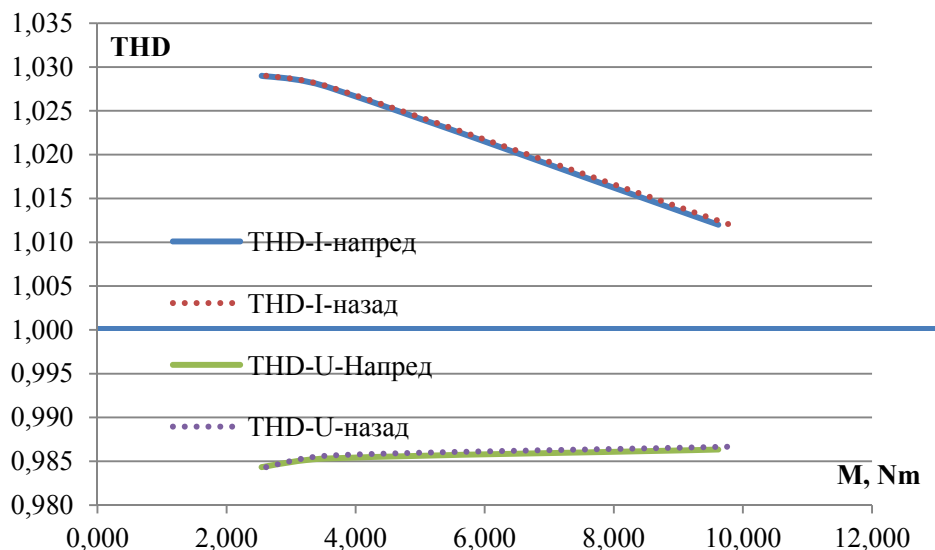
Фиг. 2 Механични характеристики



Фиг. 3 Електромеханични характеристики



Фиг. 4 Зависимости на $\cos \varphi$ и кпд от натоварването



Фиг. 5 Зависимост на коефициентите на изкривяване на формата на тока и напрежението от натоварването (при синусоидална форма THD = 1)

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Българанов Л., И. Миленов, Г. Павлов, Ч. Джамбазки, Електрозадвигване, София, 2009
- [2] Dimitrov V., E.Dimkina, E.Dimitrova, "Research of Frequency Controlled Asynchronous Drives Applicability in Electric Vehicles - Laboratory Simulator", 5th Int. Conf. on Experiments/ Process/ System Modeling/ Simulation/ Optimization IC-EpsMsO, Athens, Greece, 3-6 July, 2013, Proceedings, Vol. II, ISBN: 978-618-80527-2-7, pp. 489-495
- [3] Минчев М., П. Пенчев, Безконтактни апарати, ДИ „Техника“, 1976
- [4] Net Vision 2010 Three-phase network analyzer, <http://bg.emsyst.com/netvision.php>

DEVELOPMENT OF LABORATORY SYSTEM FOR ELECTRICAL DRIVES EXAMINATIONS

Vasil Dimitrov
vdimitroff@abv.bg

*Todor Kableshkov University of Transport - Sofia, 158 Geo Milev str.,
 BULGARIA*

Key words: asynchronous motor, electromagnetic brake, laboratory tests

Abstract: In this paper, a laboratory stand for asynchronous drive examinations has been designed and built. A load of the motor with electromagnetic brake, as well as possibility of reverse has been provided. The necessary locks and protection and control equipment have been also assured. Methods for laboratory examinations and tests by instrumentation with high accuracy are developed: determination of the static mechanical and electromechanical characteristics and characteristics that show the change of energetic parameters (power factor, efficiency, THD etc.) of the drive at the load change. Some experimental tests have been carried out. The presence of such a laboratory system in our university is very useful in the learning process. It is used for students training and research.