

## ЕНЕРГЕТИКА НА АСИНХРОННИ РЕГУЛИРУЕМИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ – МОДЕЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ В MATLAB/SIMULINK СРЕДА

Георги Георгиев<sup>1</sup>, Владимир Христов<sup>2</sup>, Румен Райнов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Технически университет София, 1797 София, E-mail: gig@abv.bg

<sup>2</sup> Технически университет София, 1797 София, E-mail: vdh@abv.bg

<sup>3</sup> Технически университет София, 1797 София, E-mail: rrainov@tu-sofia.bg

**РЕЗЮМЕ.** Оценка за ефективността от внедряването на регулируеми електрозадвижвания е възможна или след като се закупи и внедри даден тип преобразувател, или още в предварителния етап на избор на закона за управление и типа на преобразувателя. В доклада се излагат резултати от изследване на такъв клас електрозадвижвания чрез модели, към които са добавени блокове за оценка на мощности и енергии в отделните елементи на електрозадвижването. Това позволява да се сравняват и оценяват качествата на различни по тип закони на управление и принципи на изграждане на регулируеми електрозадвижвания.

Посредством получените данни от моделните изследвания се оценяват консумираната активна енергия от мрежата, полезната мощност, загубите на мощност и коефициента на полезно действие на електрозадвижването

### THE POWER SYSTEM OF ASYNCHRONOUS ADJUSTABLE ELECTRICAL DRIVES – MODEL INVESTIGATIONS IN MATLAB/SIMULINK MEDIA

Georgi Georgiev<sup>1</sup>, Vladimir Hristov<sup>2</sup>, Rumen Rainov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Technical university of Sofia, 1797 Sofia, e-mail gig@abv.bg

<sup>2</sup> Technical university of Sofia, 1797 Sofia, e-mail : vdh@abv.bg

<sup>3</sup> Technical university of Sofia, 1797 Sofia, e-mail : rrainov@tu-sofia.bg

**ABSTRACT.** The rating about the effectiveness from the performance of adjustable electric drive is possible and after by as is bought and the transformer integrated offered type, or in the preliminary stage to choice to the statute of administration and the type to the transformer. The results from the exploration at such class electric drive by the models are exposed in the report, to that the blocks are added on for estimate to powers and energies with the separate components to the electric drives. This permits to be compared and they appreciate the qualities of laws, that are different by type, of operation and principles of construction of adjustable electric drive. By means of the received data from the models explorations, will be appreciate the consumed live energy from the infinity bus, the useful power, power energy indexes, and power factor.

### 1. Въведение

Общоприето е оценка за енергийната ефективност на работа на електрозадвижванията да се дава чрез коефициента на полезно действие (КПД)  $\eta$ , дефиниран като :

$$\eta = \frac{P_{\text{изх}}}{P_{\text{вх}}}, \quad (1)$$

където  $P_{\text{вх}}$  е консумираната мощност от електрозадвижването, а  $P_{\text{изх}}$  е полезната мощност, отдавана на вала на задвижващия двигател. Тези две мощности се различават една от друга с мощността на загубите  $\Delta P = P_{\text{вх}} - P_{\text{изх}}$  в двигателя и съответния преобразувател, ако има такъв. Тази оценка е твърде нагледна, но е справедлива само ако процеса на работа на електрозадвижването е неизменен във времето. Реално, в болшинството случаи, това не е така, тъй като при работата на електрозадвижването се наблюдават процеси на пускане, спиране, работа с променящо се натоварване и др. Тогава чрез КПД не може да се оцени реалния разход, загубите и полезната енергия, което за

потребителя е много важно. Поради това, в тези случаи е целесъобразно да се използва като по-удобен и информативен показател КПД<sub>t</sub>, дефиниран като отношение на енергии – консумирани и изразходвани за определено време  $t$  :

$$\eta_t = \frac{E_{\text{изх}}}{E_{\text{вх}}}, \quad (2)$$

където:

$E_{\text{вх}} = \int_0^t P_{\text{вх}}(t) dt$  е консумираната енергия, а

$E_{\text{изх}} = \int_0^t P_{\text{изх}}(t) dt$  енергията употребена за извършване на полезна работа от електрозадвижването.

Тези две форми за енергийна оценка се доближават една към друга колкото е по голяма абсолютната стойност

на времето за оценка  $t$ , като ще съвпадат напълно когато  $t \rightarrow \infty$ .

В доклада се предлага възможност за получаване на тези оценки на базата на изследвания за регулируеми асинхронни електрозадвижвания върху модели на такива в средата на Matlab/Simulink. Направените изследвания, позволяват да се оптимизират в енергиен аспект работата на електрозадвижването.

## 2. Енергийни изследвания на асинхронно електрозадвижване с регулиране на захранващото напрежение на статора

Обект на изследване е асинхронен двигател с накъсо съединен ротор, на който статора се захранва от източник на трифазно напрежение с регулируема големина при постоянна честота. В съставения модел са поставени измерители на консумираните от захранващия източник трифазна активна мощност  $P_{ex}$  и енергия  $E_{ex}$ . Механичната мощност  $P_{mex}$ , която се създава от двигателя при преобразуването на електрическата енергия в механична, се получава по изчислителен път от електромагнитния момент  $M$  на двигателя и ъгловата му скорост  $\omega$ :

$$P_{mex} = M\omega \quad (3).$$

За да се получи полезната мощност  $P_{uix}$ , която двигателя отдава на вала си, е нужно да се приспадат мощността на загуби от триене и вентилация  $\Delta P_{mp}$  в двигателя и мощността на допълнителните загуби  $\Delta P_{\delta}$  от висши пространствени хармоници на магнитното поле. Тогава:

$$P_{uix} = P_{mex} - (\Delta P_{mp} + \Delta P_{\delta}) = P_{mex} - \Delta P_n.$$

Тук сумата  $\Delta P_n$  от посочените загуби се отчита като процентна стойност от номиналната полезна мощност на двигателя  $P_N$ , като в изследвания случай са приети 5% от номиналната мощност на изследвания двигател (В. Ключев, 2001).

Направени са моделни изследвания за двигател с номинална мощност  $P_N=2200$  W и номинална честота на

въртене  $n_N=1410$  tr/min при управление чрез изменение на захранващото напрежение.

Целта на изследванията е да се проследи влиянието на големината на захранващото напрежение върху:

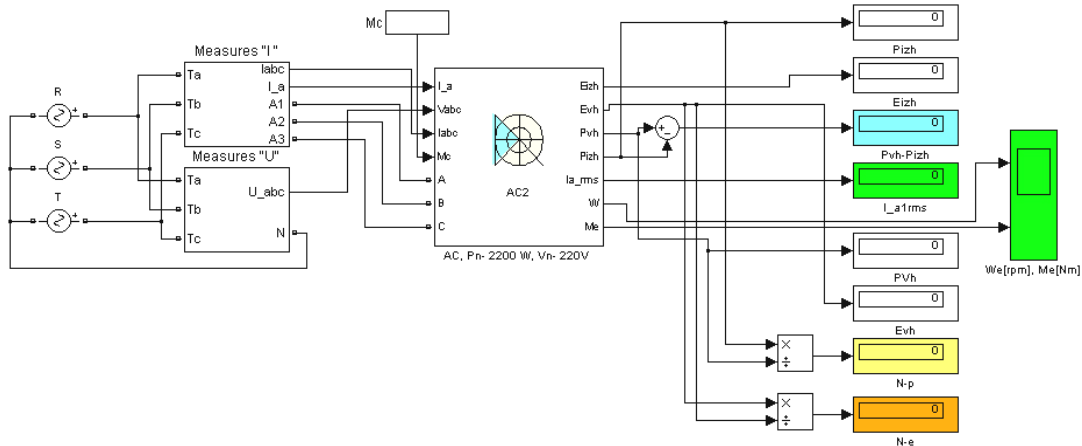
- консумираната мощност  $P_{ex}$ ;
- тока  $I_1$  в статора;
- сумарната мощност на загубите  $\Delta P$  в двигателя.

На фиг. 1 е показан реализираният в Simulink модел на изследваното асинхронно електрозадвижване. В модела се измерват:

- консумираната от захранващия източник трифазна активна мощност  $P_{ex}$  (блок Pvh);
- консумираната от захранващия източник енергия  $E_{ex}$  (блок Evh);
- полезната мощност на изхода на задвижването  $P_{uix}$  (блок Pizh);
- енергията употребена за извършване на полезна работа от задвижването  $E_{uix}$  (блок Eizh);
- мощността на загуби в задвижването  $\Delta P = P_{ex} - P_{uix}$  (блок Pvh - Pizh);
- ефективна стойност на статорния ток  $I_1$  (блок I\_a1rms).

В модела е възможно задаване на товарния статичен момент  $M_c$  (блок M\_c).

От измерените данни могат да бъдат получени стойности на моментния КПД, изчислен по (1), който носи в себе си информация за установените режими на работа на задвижването, без да дава конкретика за енергийните разходи и степента на използване на консумираната енергия в отделните етапи на работа на задвижването (преходни процеси и установен режим на работа). Последното е възможно да се получи само, ако се оценява енергийния разход след определен интервал на работа на електрозадвижването. Тогава по (2) може да се получи информация за КПД като функция на времето на работа. Тук за база при проследяване на зависимостта на  $\eta_t$  от времето е прието времетраенето  $t_n$  на преходния процес при пускане при зададен статичен момент.



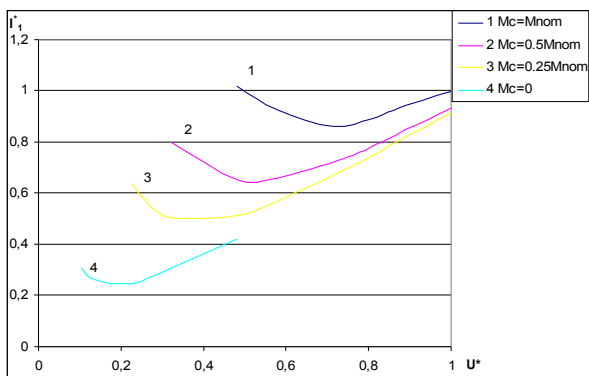
Фиг.1. Модел на регулируемо асинхронно електрозадвижване

- мощността на загубите от захранващото напрежение (фиг.3)  $\Delta P = f(U^*)$ ;
- консумираната мощност от захранващото напрежение (фиг. 4)  $P_{ex} = f(U^*)$ ;
- моментния КПД от захранващото напрежение (фиг. 5)  $\eta = f(U^*)$ ;
- КПД след време на работа  $t = 3t_n$  от захранващото напрежение (фиг. 6)  $\eta_{t3} = f(U^*)$ ;
- КПД след време на работа  $t = 7t_n$  от захранващото напрежение (фиг.7)  $\eta_{t7} = f(U^*)$ ;
- КПД след време на работа  $t = 10t_n$  от захранващото напрежение (фиг. 8)  $\eta_{t10} = f(U^*)$ ;

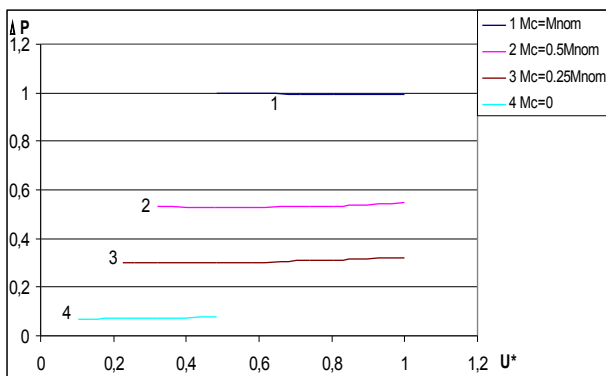
В тези зависимости за тока, напрежението и мощността се използват относителни стойности, като за базови величини са приети:

- номиналната стойност на тока в статора;
- номиналното фазно напрежение на двигателя;
- номиналната мощност на двигателя.

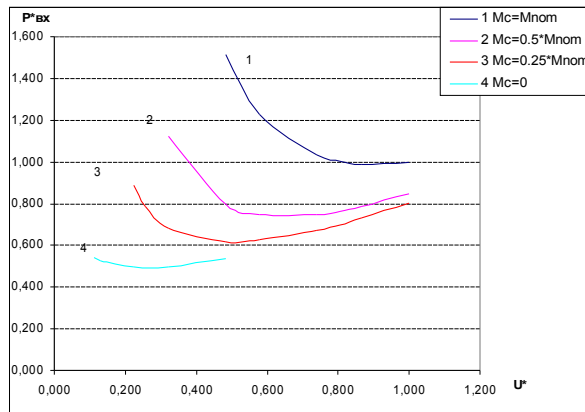
Всички тези зависимости са получени при вариране на товарния статичен момент  $M_c$  с четири дискретни стойности, посочени на съответните графики.



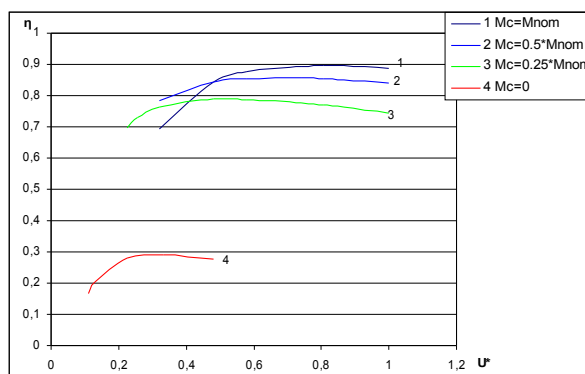
Фиг.2 Зависимостите  $I^* = f(U^*)$ , при различни стойности на съпротивителният момент



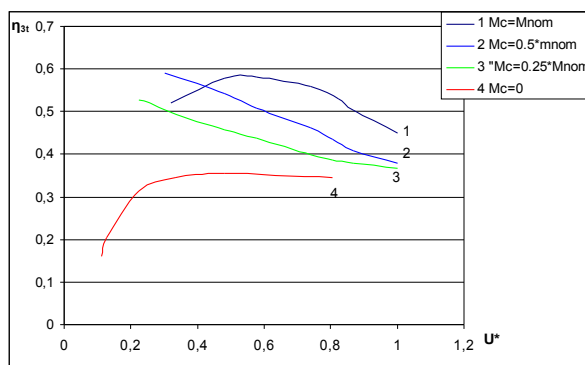
Фиг.3 Зависимостите  $\Delta P = f(U^*)$ , при различни стойности на съпротивителният момент



Фиг.4 Зависимостите  $P_{ex}^* = f(U^*)$ , при различни стойности на съпротивителният момент

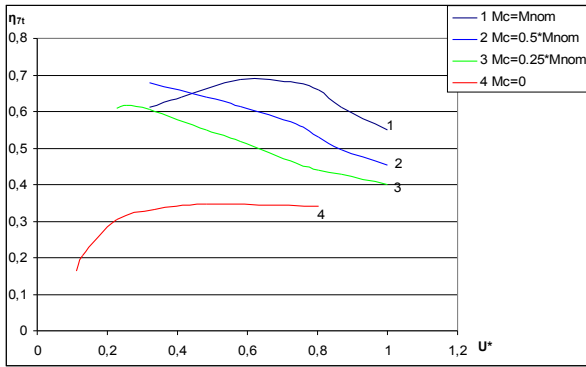


Фиг.5 Зависимостите  $\eta = f(U^*)$ , при различни стойности на съпротивителният момент

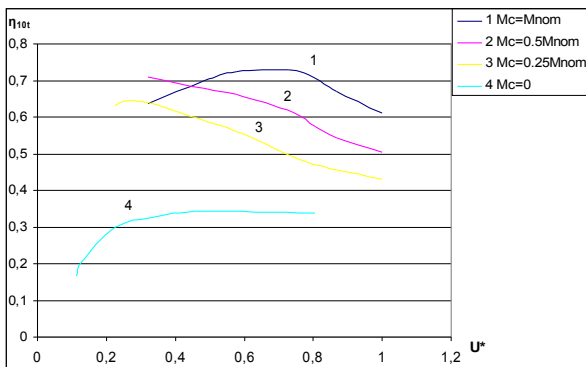


Фиг.6 Зависимостите  $\eta_{t3} = f(U^*)$ , при различни стойности на съпротивителният момент

Анализът на така получените зависимости показва, че чрез регулиране на захранващото напрежение е възможно да се постигат определени енергийни показатели на електрозадвигването, които да водят до минимизиране или на консумираната мощност, или на загубите в електрозадвигването или на тока в статора (фиг. 2, фиг.3 и фиг.4). Минимумът на тези показатели е свързан с конкретно натоварване, което показва, че изграждането на енергоефективно електрозадвигване е възможно само, ако се контролира това натоварване и системата за управление реагира на него.



Фиг.7 Зависимостите  $\eta_{t7} = f(U^*)$ , при различни стойности на съпротивителният момент



Фиг.8 Зависимостите  $\eta_{t10} = f(U^*)$ , при различни стойности на съпротивителният момент

Оценката на ефективността чрез коефициента на полезно действие трябва да отчита продължителността на работа на задвижването – виж фиг. 6, фиг.7 и фиг. 8( т.е. да си определя чрез енергиите), тъй като моментния КПД не носи информация за това, че освен установен режим на работа има и преходни режими в които се консумира енергия, която се изразходва за да се извърши съответната полезна и необходима работа от задвижването. Такава оценка е възможна да се извършва само чрез моментния

КПД (фиг. 5), ако съотношението между времето на работа и на продължителността на преходния процес е значително. В конкретните изследвания приемливи съотношение на тези времена са тези които надвишават 10 и повече пъти. При това трябва да се отчита конкретното натоварване на задвижването и големината на захранващото напрежение.

### 3. Заключение

Изложеният подход за енергийни изследвания може успешно да се използва и в случаите на управление на асинхронни задвижвания с конкретен тип преобразувател (параметричен в статора или ротора при двигатели с навит ротор, честотен и др.). В тези случаи е възможно да се даде оценка и за енергийните показатели на конкретния преобразувател, а от там да се прецени какъв преобразувател е целесъобразно да се използва при зададени условия на работа на електрозадвижването. Такъв тип изследвания стои като бъдеща задача пред авторите на доклада.<sup>1</sup>

### 4. Литература

- Ключев, В.И. 2001. *Теория електропривода*. М., Энергоатомиздат, 697 с.
- Ильинский Н.Ф. 2003. *Основы електропривода*. М., Издателство МЭИ, 221 с.
- Ильинский Н.Ф., В.В. Москаленко 2008. *Електропривод:енерго- и ресурсосбережение*. М., Издателски център Академия, 208 с
- Браславский И.Я. , З.Ш. Ишматов, В.Н.Поляков. 2004. *Енергосберегающий асинхронный електропривод*, Издателски център Академия, 256 с
- Ильинский Н.Ф., Ю.В. Рожановский, А.О. Горанов. 1989 *Енергосбережение в електроприводе*. М., Высшая школа, 127 с.

Препоръчана за публикуване  
от Редакционен съвет

<sup>1</sup> Този доклад е резултат на част от работата на авторите по договор №08217ПД-8/2008 г. към НИС при ТУ-София

