

## ПРЕТОВАРВАЩА СПОСОБНОСТ НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ ПРИ УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИЯ МОМЕНТ С ОРИЕНТИРАНЕ ПО ПОЛЕТО

**Ромео Александров**

*Минно-Геоложки Университет "Св. Иван Рилски" – София 1700 България*

**РЕЗЮМЕ.** В този доклад се разглеждат ограниченията, влияещи върху претоварващата способност на асинхронен двигател захранван от инвертор при един от вариантите на управление с ориентиране по полето. Механичната характеристика се използва за оценка и изводи по отношение на претоварващата способност при този вид управление.

### **OVERLOAD CAPABILITY OF INDUCTION MOTOR DURING THE FIELD-ORIENTED CONTROL AT ELECTROMAGNETIC TORQUE**

**Romeo Alexandrov**

*University of Mining and Geology "st. Ivan Rilski" – Sofia 1700 Bulgaria*

**ABSTRACT:** In the following document we will review one of the variants for field-oriented control, and the restrictions that are influencing on the overload capability of induction motor supplied by an inverter. The mechanical characteristics are used in order to estimate and make conclusions about the overload capability using this control mode.

### **Въведение**

При управление на асинхронен двигател по статични закони на стойностите на напрежението и честотата - механичната характеристика има екстремални стойности. В двигателен режим този екстремум съответства на критичното хлъзгане и критичния момент. От условието за съхраняване на претоварващата способност се извежда статичният закон за честотно управление. Най-често се изхожда от следната зависимост (Сандлер и Сарбатов 1966), известна като закон на Костенко, установен 1925 г.

$$\frac{U_1}{U_n} = \frac{f_1}{f_n} \sqrt{\frac{M_{em}}{M_n}} \quad (1)$$

където:  $U_1$ ,  $f_1$  - са напрежението и честотата му подавани към статора, а  $U_n$ ,  $f_n$  - са номиналните им стойности,  $M_{em}$ ,  $M_n$  - са електромагнитните моменти на двигателя.

Претоварващата способност може да се оцени чрез съпоставяне или на критичния с номиналния момент или на критичните моменти при различни условия на управление.

$$\lambda_1 = \frac{M_{k1}}{M_n}, \lambda_2 = \frac{M_{k2}}{M_n}, \lambda_1 = \frac{M_{k1}}{M_{k2}} \quad (2)$$

Претоварващата способност при различни статични закони за честотно управление е дадена в споменатата по-горе литература (Сандлер и Сарбатов 1966). Там се вижда, че претоварващата способност при управление с пълна компенсация т.е. при неизменен магнитен поток равен на поток при номинално захранване и идеален празен ход може да достигне стойности около 5,5 или около 3 пъти повече в сравнение с претоварващата способност при номинално захранване. Подобни данни,  $\lambda = 5$ , са дадени и в литература (Вешеневский 1977)

В някои случаи, обаче оценката по (2) на претоварващата способност не може да се приложи. Например при управление чрез ориентиране на управляемите величини, представени във векторна форма, в координатна система ориентирана по направлението на магнитното поле. Метод успешно използван и широко застъпен в съвременните променливо токови задвижвания. Това е така защото тук механичната характеристика е различна от добре познатата класическа механична характеристика спомената по-горе.

В този документ ще се спрем на един от вариантите за управление с ориентиране по полето и ограниченията влияещи върху претоварващата способност на асинхронен двигател захранван от инвертор.

## Претоварваща способност при управление на електромагнитния момент с ориентиране по полето

Осигуряването на управление на електромагнитния момент на двигателя може да се представи в следния вид. Избор на уравнения за построяване на системата за управление и използване на правоъгълна координатна система със ос ориентирана, във всеки един момент от време, по направлението на един от векторите определящ електромагнитния момент. Тогава проекцията на този вектор върху другата ос от координатната система и неговото произведение, като събираемо в израза за електромагнитния момент ще бъдат равни на нула. При модел на асинхронен двигател с взаимно неподвижни намотки коефициентите на взаимна индукция са независими от избора на координатна система. Движението на намотките и въртенето на координатна система се отчита в уравненията на статора и ротора, чрез въвеждане на е.д.н. на въртенето (Ключев 1989).

В общ вид електромагнитния момент може да се представи със следната зависимост:

$$|M| = \frac{m_{ph}}{2} z_p K \cdot \text{Im}(a \cdot b) \quad (3)$$

Където:  $m_{ph}$  - брой на фазите на статора,  $z_p$  - цифрове полюси на машината,  $K$  - коефициент зависещ от избора на векторите  $a$  и  $b$ , векторите  $a$  и  $b$  могат да бъдат потокосцеплението на статора, потокосцеплението на ротора, тока на статора и тока на ротора

Изборът на вектор по направлението на който се ориентира координатната система е произволен, но се определя от съображения за простота на системата за управление и възможност за реализация. Желателно е величините представени във векторна форма в уравнението на момента да се поддават на измерване и въздействие. Представянето на електромагнитния момент чрез потокосцеплението на ротора и тока на статора удовлетворява тези изисквания.

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_{sr}}{L_r} (\Psi_{rx} + j\Psi_{ry}) \times (i_{sx} + ji_{sy}) \quad (4)$$

Където:  $L_{sr}$  - коефициент на взаимна индукция между статорна и роторна намотка,  $L_r$  - индуктивност на ротора,  $\Psi_{rx} + j\Psi_{ry}$  - потокосцеплението на ротора,  $i_{sx} + ji_{sy}$  - тока на статора,  $x, y$  - произволна координатна система

Векторите  $\Psi_r$  и  $i_s$  се въртят в пространството с ъглова честота  $\omega_0 = 2\pi f_1 / z_p$ . Следователно ако се избере за управление на електромагнитния момент с координатна система d,q въртяща се заедно с вектора  $\Psi_r$ , а надлъжната ос d е по направлението му, уравнението има вида:

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_{sr}}{L_r} \Psi_{rd} i_{sq} \quad (5)$$

Като се вземе предвид и уравнението за електричното равновесие в ротора:

$$0 = i_r r_r + \frac{d\Psi_r}{dt} + j\omega_r \Psi_r \quad (6)$$

където:  $\omega_r$  - ъглова честота на тока на ротора

В това уравнение трябва да се изключи роторният ток  $i_r$ , като неподдаващ се на измерване и да се замести със статорния  $i_s$ , като се използва зависимостта:  $i_r = (\Psi_r - L_{sr} i_s) / L_r$  за статорния ток се получава:

$$i_s = \frac{1}{L_{sr}} \left( \Psi_r + \frac{L_r}{r_r} \cdot \frac{d\Psi_r}{dt} + j \frac{L_r}{r_r} \omega_r \Psi_r \right) \quad (8)$$

в операторен вид:

$$i_s = \frac{\Psi_r}{L_{sr}} (1 + T_r p + jT_r \omega_r) \quad (9)$$

където:  $T_r = L_r / r_r$

При отделяне на проекциите по осите d,q на статорния ток  $i_s$ , съответно реалната част по надлъжната ос d, а имагинерната по q, се получават уравненията:

$$i_{sd} = \frac{\Psi_{rd}}{L_{sr}} (1 + T_r p), \quad i_{sq} = \frac{\Psi_{rd}}{L_{sr}} T_r \omega_r \quad (10)$$

В уравнение (5) заместваме  $i_{sq}$

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{\Psi_{rd}^2}{r_r} \omega_r \quad (11)$$

Като се има предвид, че  $\omega_r = \omega_0 - \omega$ . Получаваме зависимости от които се извеждат електромеханичната и механичната характеристики. Тези характеристики могат да се използват за оценка и изводи по отношение на претоварващата способност на асинхронен двигател захранван от инвертор при този вид управление.

За механичната характеристика се получава:

$$\omega = \omega_0 - \frac{M}{\beta} \quad (12)$$

където:  $\beta = \frac{3}{2} z_p \frac{\Psi_{rd}^2}{r_r}$  е твърдост на характеристиката

## Заклучение

От израза на механичната характеристика се вижда, че при константно потокосцепление на ротора тя има линеен характер, а претоварващата способност се определя от максимално токовете възможности на двигателя и силовата част на захранващия го инвертор.

Ако се приеме аналогия с котвения ток на задвижване с постояннотоков двигател с независимо възбуждане, където най-често се приема ограничение  $2,5I_n$ . Може да се каже, съставката по оста  $q$  на статорния ток трябва да е 2,5 пъти по-голяма отколкото при номинално натоварване, а тази по оста  $d$  да остане неизменна. Тук също е необходимо да се отчита изменението в топлинния режим на двигателя, особено при двигатели със собствено охлаждане.

Ако се има предвид, че за кратко време двигателя може да понесе сравнително големи токове (например пусковият ток е 5-7 пъти номиналния) проблема за претоварващата способност се прехвърля върху захранващия го преобразувател. Силовите полупроводникови елементи на инвертора са особено чувствителни към всякакви

претоварвания. За това в преобразувателя са предвидени различни видове защиты, такива като, защита от късо съединение между изходните фази, между входните фази и фаза – корпус, защита от недопустимо спадане на мрежовото напрежение, освен това е предвидена топлинна защита. Последната непрекъснато отчита топлинния еквивалент, а времето за сработване на защитата зависи и от скоростта на въртене на двигателя, когато той е със собствено охлаждане. Тази защита е едновременно за двигателя и преобразувателя. Въпреки това в преобразувателя обикновено е предвидена и топлинна защита отчитаща температурата на силовите полупроводникови елементи на инвертора. Очевидно изборът на преобразувател силно ще зависи от желаната претоварваща способност на задвижването и параметрите на вградените защиты.

## Литература

- Сандлер, А., Р. Сарбатов 1966, *Частотное управление асинхронными двигателями*, Энергия, 61-86с.  
Вешеневский, С. Н. 1977. *Характеристики двигателей в электроприводе*, Энергия, 304-305с.  
Ключев, В. 1989, *Теория не электродвижването*, Техника, С, 145-149, 415-418

Препоръчана за публикуване от  
катедра "Автоматизация на минното производство", МЕМФ