



ОТНОСНО ВРЪЗКАТА МЕЖДУ ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ И ЕНЕРГЕТИЧНИ ПАРАМЕТРИ В ЕДИН КЛАС ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ

Людмил Попов

lucy6@abv.bg

*Главен асистент инж., Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
БЪЛГАРИЯ*

Резюме: Изложен е *on-line* метод за определяне на въртящия момент на вала на постояннотоково електрозадвижване, без да се използват специални преобразователи от типа “тордуктор”. Контролират се само скоростта, напрежението и тока на двигателя. За целта са използвани известни и изведени от автора еднозначни връзки между редица параметри на двигателя за постоянен ток като коефициент на полезно действие η , относителния и абсолютен наклон на механичната му характеристика, стойността на съпротивлението в силовата верига, стойността на коефициента на електромагнитно взаимодействие, електрическите загуби на двигателя, механичните загуби в него от триене и вентилация, електромагнитния и механичният момент на вала и пр. Мощността и скоростта са свързани с т.н. електромагнитен момент на двигателя $M_{ет}$, който съответства на мощността $P_{ет}$, предавана през въздушната междина на машината [1]. По-нататък са изведени връзките между $M_{ет}$ и механичният момент на вала $M_{мех}$. По този начин механичният момент на вала на машината $M_{мех}$ се оказва еднозначно свързан с коефициента на електромагнитно взаимодействие, тока на машината и нейния коефициент на полезно действие. Изложени са съображения за изграждането на цифров наблюдател на механичния момент, като предлаганият наблюдател е с минимална конфигурация. Извършена е компютърна симулация на разработката, която напълно доказва обосноваността на изведените изводи, като гарантира добра точност.

Ключови думи : електрозадвижване, въртящ момент, скорост, магнитен поток

1. УВОД

В известната литература по теория на електрозадвижването (напр. [1]) се работи често с приблизителната формула за определяне на съпротивлението на котвата на машината по презумпцията за минимум на загубите в нея при работа в номинален режим:

$$(1) \quad R = \frac{0,5 \cdot (1 - \eta) \cdot U}{I}$$

където η , U и I са съответно к.п.д. на двигателя, номиналното му напрежение и номиналният му ток.

От уравнението на електромеханичната характеристика следва

$$(2) \quad c = \frac{U \cdot (1 + \eta)}{2 \cdot \omega}$$

Тук ω е номиналната скорост на двигателя.

Скоростта на празен ход, явяваща се отношение между напрежението на двигателя и неговия коефициент на електромагнитно взаимодействие c се получава от (2):

$$(3) \quad \omega_0 = \frac{\omega \cdot 2}{1 + \eta}.$$

Доколкото к.п.д. е винаги по-малък от единица, очевидно скоростта на празен ход е винаги по-голяма от номиналната. Обратното отношение на тези две скорости е мярка за така наречената относителна твърдост на електромеханичната характеристика β :

$$(4) \quad \beta = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{1 + \eta}{2}.$$

Мощността и скоростта са свързани с т.нар. електромагнитен момент на двигателя M_{em} , който съответства на мощността P_{em} , предавана през въздушната междина на машината [1]:

$$(5) \quad M_{em} = \frac{P_{em}}{\omega},$$

където ω е скоростта на вала.

Определянето на M_{em} е свързано с измерване на тока I на двигателя:

$$(6) \quad M_{em} = C \cdot I,$$

където $C = c\Phi$ е коефициентът на електромагнитно взаимодействие.

2. СЪЩНОСТ НА МЕТОДА

Доколкото електромагнитният момент съответства на една идеализирана постановка, при която се пренебрегват загубите в двигателя, реалният механичен момент на вала M_b ще бъде по-малък от електромагнитния, тъй като е очевидна връзката:

$$(7) \quad M_b = M_{em} - \Delta M, \text{ респективно}$$

$$(8) \quad \frac{P_b}{\omega} = \frac{P_{em}}{\omega} - \frac{\Delta P}{\omega},$$

където ΔM , респективно ΔP са съответно загубите на момент, респ. мощност в ротора на двигателя.

Общото уравнение на баланса на мощностите в двигателя може да се представи с неравенствата

$$(9) \quad P_{vx} > P_{em} > P_v,$$

в което P_{vx} е входящата мощност, консумирана от мрежата.

Загубите на мощност от входа до въздушната междина се третираят основно като електрически загуби :

$$(10) \quad P_{vx} - P_{em} = \Delta P_{ел} = R \cdot I^2.$$

Загубите на мощност от въздушната междина до вала се третираят основно като механични загуби от триене, вентилация и пр.:

$$(11) \quad P_{em} - P_v = \Delta P_{мех}.$$

При автоматизирани електродвижения, както при всички автоматизирани системи, важи постулатът на Ляпунов – ако системата е автоматизирана, отклоненията на координатите ѝ са достатъчно малки. В този смисъл може да очакваме един сравнително малък диапазон на изменение на натоварванията (приблизително от 70 % от номиналната мощност до 20 - 30 % претоварване); тогава двигателят работи с коефициент на полезно действие, близък до номиналния. Това означава, че за този работен диапазон може с голямо основание да се напише [1]:

$$(12) \quad \Delta P_{мех} \approx \Delta P_{ел}.$$

От (12) и (10) следва:

$$(13) P_b \approx P_{em} - R \cdot I^2,$$

или, като се отчетат и (6) и (8), се получава:

$$(14) M_b = M_{em} - \frac{R \cdot I^2}{\omega} = C \cdot I - \frac{R \cdot I^2}{\omega}$$

Определяне на С и R. Определянето на тези величини е необходимо, доколкото от температурата, износването на четките и колектора и пр. съпротивлението R се променя. Същото важи и за коефициента на електромагнитно взаимодействие заради зависимостта му от магнитния поток Φ , особено ако достигането на високи скорости изисква намаляване на възбуждането. По-долу се дава един опростен метод за бързо изчисляване на текущите стойности на тези параметри, основан на следното:

При пускането на двигателя (става въпрос за маломощен двигател с право пускане с пренебрежима електромагнитна инерция), може да се запише уравнението на баланса на напреженията както следва:

$$(15) U = C \omega_1 + R I_1$$

След известно развъртане на двигателя поради положителния динамичен момент същото уравнение ще изглежда (скоростта се е увеличила, токът се е намалил):

$$(16) U = C \omega_2 + R I_2 ; \omega_2 > \omega_1 ; I_2 < I_1.$$

Уравненията (11) и (12) представляват една система от две уравнения с две неизвестни – R и C.

Директното решаване на системата предполага известни трудности поради еднаквостта на свободните членове. Този проблем се решава, като на мястото на уравнение (16) използваме разликата от двете уравнения:

$$(16a) 0 = C(\omega_1 - \omega_2) + R(I_1 - I_2) .$$

От системата (15 – 16a) следва:

$$(17) C = U \frac{I_2 - I_1}{\omega_1 I_2 - \omega_2 I_1} ;$$

$$(18) R = U \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1 I_2 - \omega_2 I_1} .$$

В това се и заключава същността на работата - изразът (14) представлява наблюдател на момента на вала, който може да бъде определен косвено от идентификацията на С и R. За целта необходимо и достатъчно е да се контролират напрежението, тока и скоростта на двигателя.

Нещо повече - ще покажем, че след определянето на С вече не е необходим контрол на скоростта. Действително, в статичен режим:

$$(19) \omega = \frac{U - R \cdot I}{C} ,$$

където U е захранващото напрежение.

Като се отчете (19), (14) се превръща в

$$(20) M_b = C \cdot \left(1 - \frac{R \cdot I}{U - R \cdot I} \right) \cdot I .$$

Изразът в скобите от (20) представлява множител, коригиращ стойността на коефициента на електромагнитно взаимодействие С до намалена стойност, даваща директно връзката между момента на вала и тока на двигателя:

$$(21) C' = C \cdot \left(1 - \frac{R \cdot I}{U - R \cdot I} \right) ; \quad M_b = C' \cdot I .$$

В цитираната по-горе зона на натоварване, където коефициентът на полезно действие е близък до номиналния, е справедлива следната приблизителна формула [1]:

$$(22) \quad R \approx 0,5 \cdot (1 - \eta) \cdot \frac{U}{I},$$

в която η е к.п.д. на двигателя.

Като се отчете (22), (21) се превръща в

$$(23) \quad C' = C \cdot \left(\frac{2 \cdot \eta}{1 + \eta} \right),$$

като, доколкото винаги $\eta < 1$, изразът в скобите също е винаги по-малък от единица.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Така предлаганият метод бе апробиран с помощта на компютърна симулация, като показва задоволителна точност – грешката не надхвърли 5 %, (в крайните граници на диапазона на натоварването), а около номиналното натоварване клони към нула.

Предлаганият метод дава възможност за наблюдаване на механичния момент на вала на електрозадвижването посредством контрол на скоростта, напрежението и тока на двигателя.

Техническата реализуемост на така предлагания метод не е проблем - не се налагат нито някаква “екзотична” елементна база, нито особено мощни изчислителни ресурси. На практика достатъчни са обем на постоянната и на оперативната памет 2 до 4 К.

4. ЛИТЕРАТУРА

[1] Чиликин М. Г., В. И. Ключев, А. С. Сандлер - Теория автоматизированного электропривода, М., Энергия, 1979.

ON THE CONNECTION BETWEEN ELECTROMECHANICAL AND ENERGETICAL PARAMETERS IN A CLASS OF ELECTRIC DRIVERS

Ljudmil Popov

Ass. Prof. , Todor Kableshkov University of Transport
BULGARIA

Keywords : Electric drive, torque, velocity, magnetic flux, efficiency

Abstract: An on-line method for measurement of the torque in a DC-electric drive is discussed. Only the velocity, the voltage and the current are used. Some connections between the efficiency η , the “hardness” of the function $\omega(M)$, the resistance R and the magnetic flux Φ are used. The power and the velocity are connected as with the so named electromagnetizing torque M_{em} and the mechanical torque M_{mex} as well. It's shown, that the mechanical torque M_{mex} is connected with the magnetic flux Φ , the current of the engine and its efficiency η . Some possibilities of realization of a digital unit for calculation of the mechanical torque at a minimal configuration are discussed. The computer simulation of such a unit shows a good precision.