

Динамични характеристики на асинхронна машина при задвижване на механизми с променливи съпротивителен и инерционен моменти

Димитър Спиров, Пенчо Владимиров

Dynamic characteristics of induction motor in driving of mechanisms with variable load and moment of inertia: A mathematical model of electromechanical system consist of induction motor and mechanism with variable load and moment of inertia have been developed. The operation and energetic characteristics of induction machine in starting and automatic regime have been studied and the coefficient of nonuniformity has been determined.

Key words: Dynamic Characteristics, Induction Machines, Variable Load and Moment of Inertia

ВЪВЕДЕНИЕ

За редица производствени механизми се налага въртеливото движение на двигателя да се преобразува в постъпателно. Такова преобразуване се осъществява удобно с помощта на коляно-мотовилков, ексцентричен или кулисен механизми [1]. При тази група производствени механизми и машини съпротивителният момент зависи от ъгъла на завъртане α на работния орган – $M_c=f(\alpha)$. При наличието на коляно-мотовилков, ексцентричен или кулисен механизъм инерционният момент е променлив и зависи от ъгъла на завъртане – $J=f(\alpha)$. Към тази група се отнасят буталните помпи и компресори, ковашко-пресовите машини и др. Определянето на зависимостите на съпротивителния и на инерционния моменти може да се извърши по различни методи – аналитично изчисляване, опитно определяне, определяне по каталог, с помощта на емпирични формули и др. Методи и методики за определяне на зависимостите на съпротивителния и на инерционния моменти за различни механизми и машини са дадени в [1, 2].

За да се реши уравнението на движението е необходимо да се определят зависимостите $M_c=f(\alpha)$ и $J=f(\alpha)$, приведени към вала на електродвигателя. За решаване на уравнението на движението при динамичните и преходните процеси в практиката най-често се използват методът на крайните нараствания и методът на площите. Тъй като това са методи на последователните приближения, при тях се получават резултати с различна точност [1].

Цел на настоящата работа е да се разработи математически модел на електромеханична система, състояща се от асинхронна машина, задвижваща механизми с променливи съпротивителен и инерционен моменти. Необходимо е с използване на модела да се получат работните и енергийните характеристики на асинхронната машина при пускане и при автоматичен режим на работа и да се определи коефициентът на неравномерност.

МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ

С оглед възможността да се изследват работните характеристики на АМ както при динамични, така и при установени режими е удобно да се използват диференциалните уравнения за изобразяващите вектори. Разработването на математическите модели и изследванията се извършват при общоприетите допускания и означения [3], като не се отчитат загубите в стоманата.

Електромеханичното преобразуване на енергията в АМ се представя с използването на обобщения непрекъснат модел на състоянието на асинхронната машина [4]. Математическият модел на АМ е в координатна система, неподвижно свързана със статора α, β и използване като зависими променливи статорният i_s и роторният i_r токове се получава от обобщения непрекъснат модел на състоянието на асинхронната машина като се премине от координатна система, въртяща се с

произволна скорост в координатна система, неподвижно свързана със статора ($\omega k=0$) [4]. Системата се записва в следния вид:

$$\begin{aligned} \frac{di_{s\alpha}}{dt} &= -\frac{R_s L_r}{L_e} i_{s\alpha} + \frac{L_m^2}{L_e} \omega_r i_{s\beta} + \frac{R_r L_m}{L_e} i_{r\alpha} + \frac{L_r L_m}{L_e} \omega_r i_{r\beta} + \frac{L_r}{L_e} u_{s\alpha} - \frac{L_m}{L_e} u_{r\alpha}; \\ \frac{di_{s\beta}}{dt} &= -\frac{L_m^2}{L_e} \omega_r i_{s\alpha} - \frac{R_s L_r}{L_e} i_{s\beta} - \frac{L_r L_m}{L_e} \omega_r i_{r\alpha} + \frac{R_r L_m}{L_e} i_{r\beta} + \frac{L_r}{L_e} u_{s\beta} - \frac{L_m}{L_e} u_{r\beta}; \\ \frac{di_{r\alpha}}{dt} &= \frac{R_s L_m}{L_e} i_{s\alpha} - \frac{L_s L_m}{L_e} \omega_r i_{s\beta} - \frac{R_s L_r}{L_e} i_{r\alpha} - \frac{L_s L_r}{L_e} \omega_r i_{r\beta} - \frac{L_m}{L_e} u_{s\alpha} + \frac{L_s}{L_e} u_{r\alpha}; \\ \frac{di_{r\beta}}{dt} &= \frac{L_s L_m}{L_e} \omega_r i_{s\alpha} + \frac{R_s L_m}{L_e} i_{s\beta} + \frac{L_s L_r}{L_e} \omega_r i_{r\alpha} - \frac{R_s L_r}{L_e} i_{r\beta} - \frac{L_m}{L_e} u_{s\alpha} + \frac{L_s}{L_e} u_{r\alpha}, \end{aligned} \quad (1)$$

където ω_s и ω_r са електрически ъглови скорости на въртене на статорното поле и на ротора.

Механичната част на електромеханичната система (EMC) се описва с едномасов динамичен модел, като привеждането е извършено към вала на електродвигателя.

Уравнението на движението на електрозадвигването при променливи съпротивителен и инерционен моменти е

$$M - M_c = J_\Sigma \frac{d\Omega}{dt} + \frac{\Omega^2}{2} \frac{dJ_\Sigma}{d\alpha}, \quad (2)$$

където M е електромагнитен момент на електродвигателя;

$M_c=f(\alpha)$ – съпротивителен момент на товара.

$J_\Sigma=f(\alpha)$ – сумарен инерционен момент на машината и на механичната част на механизма, приведен към вала на асинхронната машина;

Ω – ъглова скорост на въртене на колянвия вал;

Връзката между електрическата ъглова скорост ω_r на ротора ъгловата скорост Ω на колянвия вал и се получава от израза:

$$\omega_r = p_p \Omega_r = p_p i \Omega, \quad (3)$$

където i е предавателно отношение;

Ω_r – механична ъглова скорост на ротора;

p_p – брой на двойките полюси на асинхронната машина;

$i=\Omega_r/\Omega$ – предавателно отношение на предавката.

Като обединим системата уравнения (1), представляващи математически модел на електрическата част и уравнение (2), представляващо математически модел на механичната част, ще получим системата диференциални уравнения, представляваща математически модел на EMC на задвигването на механизми с променливи съпротивителен и инерционен моменти. С този модел се определят работните характеристики на AM при динамични и установени режими. Моделите за определяне на енергийните характеристики на AM при динамични и установени режими са дадени в [5].

За решаване на получените системи диференциални уравнения, преобразувани във форма на *Cauchy* са използва програмния продукт MATHCAD [6].

ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ

С помощта на математическия модел на са изследвани преходните процеси при пускане и установените режими на асинхронен електродвигател тип T100 LB-4 при задвигване на ексцентрик преса. Техническите данни и параметрите на T-образната заместваща схема на AM, определени по изчислителна методика на фирмата-производител са дадени в Приложение 1.

Определянето на зависимостите на съпротивителния и на инерционния моменти на ексцентрик пресата е направено чрез аналитично изчисляване в [2].

В Табл. 1 са дадени стойностите на сумарните съпротивителен момент M_c и инерционен момент $J_{мех}$ на ексцентрик пресата в зависимост от ъгъла на завъртане α .

Таблица 1. Стойности на $J_{мех}$ и M_c във функция от α

$\alpha, ^\circ$	0	30	60	90	120	150
$J_{мех} \cdot 10^{-4}, \text{kgm}^2$	9,5	16,0	37,1	49,2	14,9	17,7
M_c, Nm	0,0477	-0,374	-0,612	-0,760	-0,607	-0,335

Таблица. 1. Продължение

$\alpha, ^\circ$	180	210	240	270	300	330
$J_{мех} \cdot 10^{-4}, \text{kgm}^2$	9,5	7,4	19,6	49,2	56,0	18,4
M_c, Nm	-0,477	0,3988	0,5554	0,760	50,524	0,4068

За изравняване на натоварването на електрозадвижването на такива машини най-често се използва маховик. Сумарния инерционен момент на ЕМС е $J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{мех} + J_{\text{мах}}$. Установената ъглова скорост на колянвия вал е $\Omega = 53,41 \text{ rad/s}$, за предавателното отношение на предавката се получава $i = \Omega_f / \Omega = 2,745$.

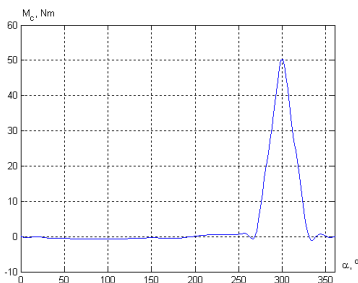
В Табл. 2 са систематизирани стойностите на времето за пускане t_{Γ} , максималната ω_{max} , минималната ω_{min} и средната $\omega_{\text{ср}} = (\omega_{\text{max}} + \omega_{\text{min}}) / 2$ скорости и на коефициента на неравномерност $\delta = (\omega_{\text{max}} - \omega_{\text{min}}) / \omega_{\text{ср}}$ при маховик с $J_{\text{мах}} = 0; 385 \cdot 10^{-4}; 577,5 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$.

Таблица 2. Стойности на t_{Γ} , ω_{max} , ω_{min} , $\omega_{\text{ср}}$ и δ при различни $J_{\text{мах}}$

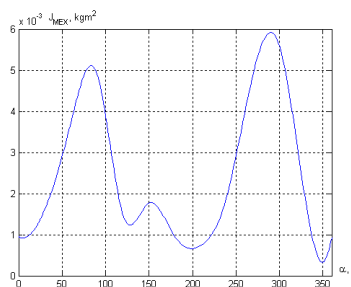
$J_{\text{мах}} \cdot 10^{-4} \text{kgm}^2$	0	385	577,5
t_{Γ}, s	0,15	1,31	1,82
$\omega_{\text{max}}, \text{rad/s}$	329,815	301,813	299,693
$\omega_{\text{min}}, \text{rad/s}$	245,174	292,38	292,639
$\omega_{\text{ср}}, \text{rad/s}$	287,495	297,096	296,166
δ	0,294	0,032	0,024

От Табл. 2 се вижда, че с увеличаване на инерционния момент на маховика намалява коефициента на неравномерност δ , но се увеличава времето за развъртане на маховите маси до първоначалната скорост.

Зависимостите на $M_c = f(\alpha)$ и $J_{мех} = f(\alpha)$ са представени графично съответно на фиг. 1 и фиг. 2.

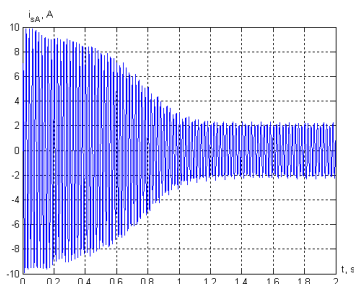


Фиг. 1. Зависимост на $M_c = f(\alpha)$

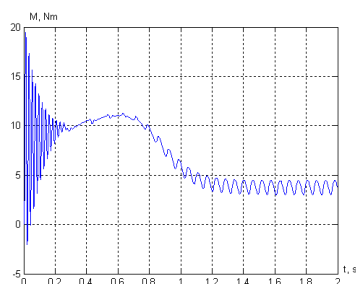


Фиг. 2. Зависимост на $J_{мех} = f(\alpha)$

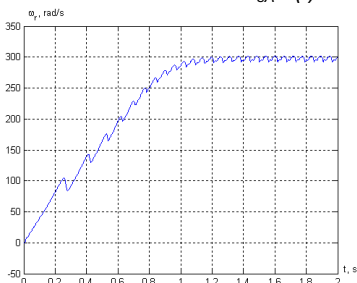
С използване на математическия модел са получени зависимостите на работните и енергийните характеристики на изследвания двигател при пускане и при автоматичен режим на работа за $J_{\text{мах}} = 385 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$. Част от получените резултати са показани на съответните фигури.



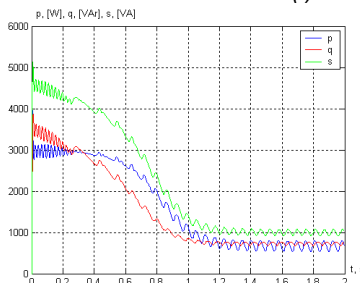
Фиг. 3. Зависимост $i_{sA}=f(t)$



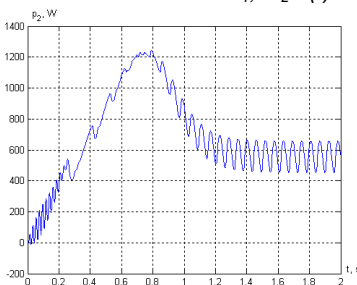
Фиг. 4. Зависимост $M=f(t)$



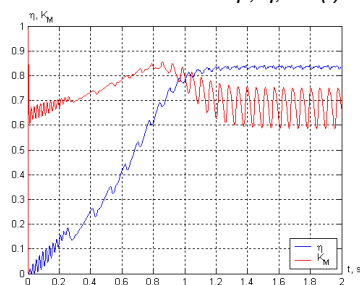
Фиг. 5. Зависимост $\omega_1, \omega_2=f(t)$



Фиг. 6. Зависимости $p, q, s=f(t)$



Фиг. 7. Зависимост $p_2=f(t)$



Фиг. 8. Зависимости $\eta, K_M=f(t)$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработен е математически модел на електромеханичната система, състояща се от асинхронна машина, задвижваща механизми с променливи съпротивителен и инерционен моменти. С използване на модела могат да се определят работните и енергийните характеристики на АМ при динамични режими, да се изследва влиянието на инерционния момент на маховика и коефициента на неравномерност.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Технически данни на асинхронен електродвигател тип Т80А-4 BR за режим S1, S4 – ПВ=60%, 180вкл./h

$P_N=0,55kW$; $U_N=380V$; $I_N=1,62A$; $f=50Hz$; $p_p=2$; $n_N=1400min^{-1}$; $\eta=0,69$; $\cos\varphi=0,74$; $I_{\Gamma}/I_N=3,7$; $M_{\Gamma}/M_N=1,8$; $M_M/M_N=2,2$; $J_{\partial\theta}=0,003185kgm^2$.

Параметри при хлъзгане $s=s_N$

$R_s=11,6\ \Omega$; $X_{\sigma s} 9,2\ \Omega$; $R_r=10,3\ \Omega$; $X_{\sigma r} 15,7\ \Omega$; $X_m=190\ \Omega$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Йорданов, Д. С. Основи на електрозадвижването. София, Техника, 1978.
- [2] Маринов, М. Ръководство за курсово проектиране по ТММ. УИ "В. Априлов", Габрово, 2005.
- [3] Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин, Москва, Высшая школа, 2001, 327с.
- [4] Спиров, Д., П. Владимиров. Обобщено представяне на уравненията на електромеханично преобразуване на енергията при асинхронните машини. Известия на ТУ-Габрово, том 31, 2005, стр. 118-122.
- [5] Владимиров, П., С. Рачев, Д. Спиров. Определяне на работните и енергийните характеристики на асинхронни машини при динамични и установени режими. „Енергетика”, №2-3 , 2006, стр. 46-53.
- [6]. MathCad Electronic Book – The MathSoft Electronic Book Sampler. 1994, MathSoft Inc.

За контакти:

гл. ас. д-р Димитър Спиров, Катедра “Електротехника и електроника”, Университет по хранителни технологии – Пловдив, тел.: 0886626578, e-mail: dimitar_spirov@abv.bg

Доц. д.т.н. Пенчо Владимиров, Катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”, Технически университет – Габрово, тел.: +359 (0)66 821 931/253, GSM: 0889229837, e-mail: pvlad@iname.com

Докладът е рецензиран.