

# ОЦЕНИТЕЛ НА СЪПРОТИВИТЕЛЕН МОМЕНТ ЗА АСИНХРОННО ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ

ИВАН КОСТОВ ГЕОРГИ ИВАНОВ

**Резюме.** *Най-често използваното електрозадвижване в промишлените предприятия е асинхронното с трифазни двигатели с накъсосъединен ротор и преобразуватели на честота. С увеличаване на изискванията към показателите на качеството на електрозадвижванията се увеличава необходимостта от допълнително разглеждане на проблема с качеството на тяхното управление. В статията е представен математичният апарат за проектиране на оценител от втори ред на съпротивителния момент  $T_L$  с цел подобряване на свойствата на електрозадвижването. Разработени са симулационни модели. Получени са симулационни резултати от работата на оценителя. Анализирани са възможностите за използване на оценителя за целите на енергоикономичното управление на АД.*

## 1. Въведение

С развитието на теорията на управлението се създават условия за повишаване на качеството и свойствата на съвременните ЕЗ с АД с накъсосъединен ротор. Известно е [1,2], че АД са нелинейни многомерни обекти, твърде сложни за управление чрез конвенционални системи за управление. Асинхронният двигател е сложен многомерен нелинеен обект за управление. За качествена система за управление е необходимо да се използват и прилагат разнообразни техники за наблюдатели, оценители на параметри и променливи на състоянието, трансформации на координатната система и на фазите на машината, линеаризация на системата с обратна връзка. Много популярни са системите с векторно директно и индиректно управление [3,4]. И едните и другите използват теорията на обобщената машина [8,10,11] и синтез на управляващ закон по два управляващи входа. По единия се стабилизира магнитното състояние на системата за целия - и над естествената синхронна скорост - диапазон на регулиране. По другия се осъществява желаното качество на управлението по скорост и по смущението  $T_L$ , най-често възприемано като постоянна величина [5]. Качествено управление може да се осъществи само чрез едновременно управление по двата канала и след определяне на съпротивителния момент с помощта на оценители и наблюдатели и да се синтезира управляващ закон, включващ едновременно удовлетворяване на показателите точност в

установен режим, бързодействие, характер на преходния процес и оптимален коефициент на полезно действие. В доклада се разглежда синтез на наблюдател на съпротивителен момент на асинхронно електрозадвижване. Синтезираният наблюдател е изследван чрез симулиране. Проведен е анализ, който показва уместността от реализацията на такива наблюдатели като част от по-големи вградени микропроцесорни контролери. Изследването е проведено с математични методи за анализ на статични и динамични режими на основата на теорията на адаптивното управление [2,9], подпомогнати от симулиращи програми. Крайните резултати са представени в графичен вид.

## 2. Математично описание и модел на оценител на съпротивителен момент от втори ред

В този раздел представено математичното описание на оценител от втори ред на съпротивителен момент  $T_L$  на асинхронно електрозадвижване. Той може да бъде използван заедно с наблюдател на роторния поток, за да се осигури онлайн оценка на съпротивителния момент. Оценителят на  $T_L$  от втори ред може да бъде проектиран въз основа на уравнението на движението на двигателя

$$\frac{d\omega}{dt} = \mu(\psi_{ra}i_{sb} - \psi_{rb}i_{sa}) - \frac{T_L}{J} \quad (1)$$

като се приема, че: инерционният момент  $J$  е постоянен; параметрите  $\mu$  и инерционният момент  $J$  са известни; скоростта на ротора  $\omega$  и токовете на статора ( $i_{sa}$ ,  $i_{sb}$ ) са известни от измервания; оценките на роторния поток са налични с подходящи, експоненциално затихващи наблюдатели. В (1)  $\mu = \frac{M}{JL_r}$ , където  $M$  и  $L_r$  са съответно

индуктивностите на намагнитващия контур и на роторната намотка на двуфазния модел на АД.

Задава се желаната динамика на оценителя на  $T_L$  и наблюдателя на ъгловата скорост на ротора

$$\frac{d\hat{\omega}}{dt} = \mu(\hat{\psi}_{ra}i_{sb} - \hat{\psi}_{rb}i_{sa}) - \frac{\hat{T}_L}{J} + k(\omega - \hat{\omega}) \quad (2)$$

$$\frac{d\hat{T}_L}{dt} = -\lambda(\omega - \hat{\omega}) \quad (3)$$

Тук  $k$  и  $\lambda$  са положителни реални числа. Дефинираме грешките при изчисленията по следния начин

$$\tilde{\omega} = \omega - \hat{\omega} \quad (4)$$

$$\tilde{T}_L = T_L - \hat{T}_L \quad (5)$$

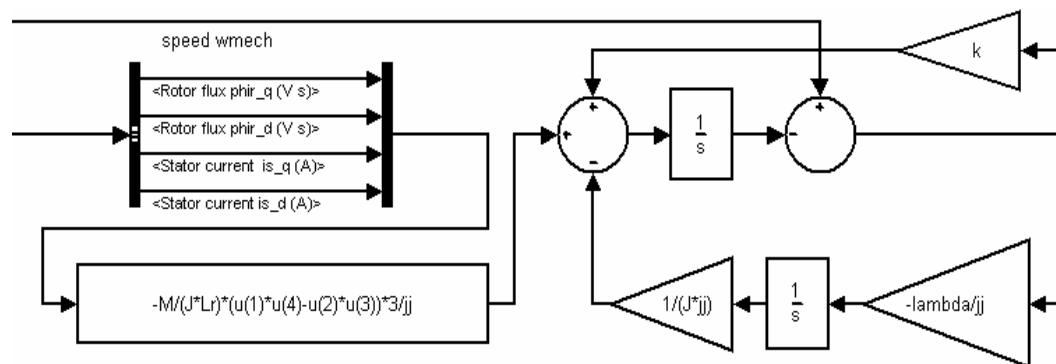
При положителни константи  $k$  и  $\lambda$  грешките (4) и (5) клонят асимптотично към нула [6,7] за произволно начално състояние при условията

1. Големините на статорните токове  $i_{sa}(t)$ ,  $i_{sb}(t)$  са ограничени в интервала  $[0, \infty)$ ;
2. Оценките  $\hat{\psi}_{ra}$  и  $\hat{\psi}_{rb}$  са такива, че съответните им грешки  $[\psi_{ra}(t) - \hat{\psi}_{ra}(t)]$  и  $[\psi_{rb}(t) - \hat{\psi}_{rb}(t)]$  експоненциално се доближават до нула за произволна начална стойност.

На основата на анализа са разработени

- модел на асинхронно електрозадвижване, състоящо се от идеализиран трифазен източник на синусоидално променливо напрежение и асинхронен двигател. Моделът на АД с  $P_N = 750$  W;  $U_N = 380$  V;  $f = 50$  Hz;  $z_p = 2$  е реализиран с помощта на Т-образна заместваща схема с постоянни параметри без отчитане на насищането:  $R_s = 10.2$   $\Omega$ ;  $L_s = 0.483$  H;  $R_r = 10.52$   $\Omega$ ;  $L_r = 0.518$  H;  $L_m = 0.457$  H;

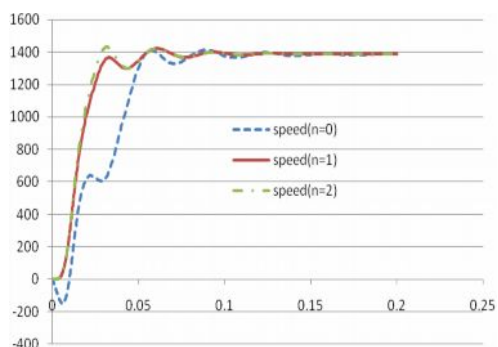
- оценител на  $T_L$  от втори ред с параметри  $J = 0.0014$  kgm<sup>2</sup>,  $k = 200$ ,  $\lambda = 100^2$  J, кратност на инерционния момент  $jj = 1$ , показан на фиг.1.



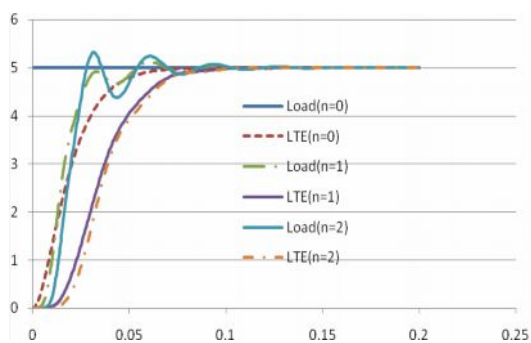
Фиг.1 Модел на оценител на  $T_L$  от втори ред.

### 3. Симулационни експерименти

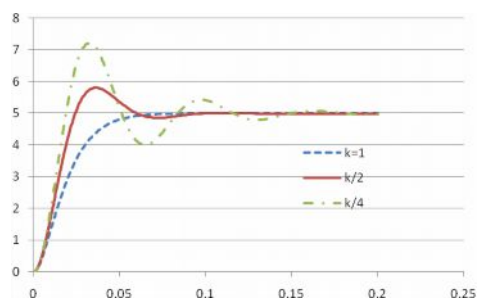
Проведени са поредица изчислителни експерименти с цел да се верифицира полученият оценител и да се установят неговите свойства. На фиг.2 и фиг.3 са показани преходните процеси на скоростта в зависимост от три вида съпротивителен момент – постоянен (независим от скоростта, линейно зависим от скоростта и квадратично зависим от скоростта - вентилаторен) и съответното поведение на оценителя.



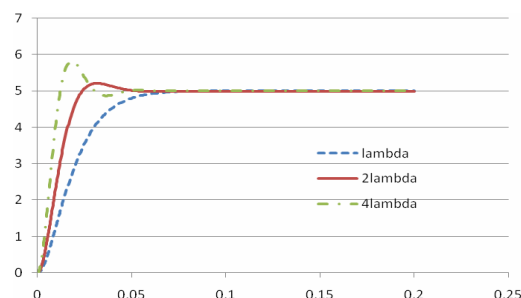
**Фиг.2** Преходен процес на скоростта на АД при директно пускане и различни съпротивителни моменти ( $T_L=T_{LN}(\omega/\omega_N)^n$ ).



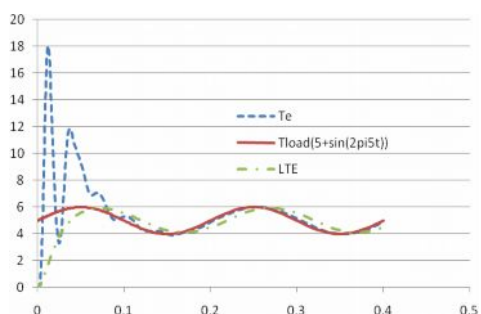
**Фиг.3** Преходни процеси на съпротивителните моменти на АД и техните оценки (LTE) при директно пускане.



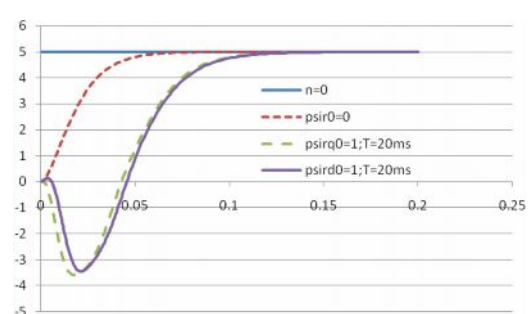
**Фиг.4** Преходни процеси на оценител на съпротивителен момент ( $T_L=T_{LN}$ ) на АД при директно пускане и различни  $k$  на оценителя.



**Фиг.5** Преходни процеси на оценител на съпротивителен момент ( $T_L=T_{LN}$ ) на АД при директно пускане и различни  $\lambda$  на оценителя.



**Фиг.6** Преходни процеси на електромагнитния ( $T_e$ ) и оценителя на съпротивителен момент при периодичен съпротивителен момент.



**Фиг.7** Преходни процеси на оценител на съпротивителен момент ( $T_L=T_{LN}$ ) на АД при директно пускане, и грешки в началните стойности на роторното потокосцепление.

На фиг.4 са показани преходни процеси на оценителя на  $T_L$  при постоянен съпротивителен момент и различни стойности на коефициента  $k$  на оценителя. С намаляване на коефициента се увеличава и колебателността на оценителя. Подобно поведение се наблюдава при увеличаване на коефициента  $\lambda$ , което е равнозначно на увеличаване на бързодействието му, но до известна стойност - фиг.5.

На фиг.6 са показани преходни процеси на електромагнитния момент при пускане на асинхронния двигател, натоварен едновременно с постоянен съпротивителен момент със стойност  $5Nm$  и хармоничен такъв с амплитуда  $1Nm$  и честота  $5Hz$ .

На фиг 7 са показани преходни процеси на оценителя на съпротивителен момент при постоянна стойност на  $T_L$  и грешки в началните стойности на проекциите на потокосцепленията, които могат да дойдат от съответните наблюдатели. Симулирано е експоненциално затихване на тези грешки с времеконстанта на процеса на затихване  $T=20ms$ .

#### **4. Заключение**

В този доклад е проектиран оценител на  $T_L$  от втори ред. Той е устойчив при условията на ограничени стойности на измерваните статорни токове и на експоненциално намаляващи грешки на оценките на роторното потокосцепление. Разработен е и симулационен модел на оценителя. Получени са редица симулационни резултати при различни видове  $T_L$  и различни параметри на динамиката на оценителя. Получените резултати потвърждават устойчивостта на оценителя при различни начални условия и грешки на входните променливи.

Основният извод от проведеното теоретично изследване е, че този модел може да се използва за оптимизация на честотни електрозадвижвания от нисък клас при работа с намалено натоварване. За да работи в такива задвижвания е необходимо наличието на наблюдател на роторното потокосцепление. Трябва да се познават и точните оценки или стойностите на индуктивностите на ротора и на намагнитващия контур и приведения сумарен инерционен момент на електрозадвижването. Допълнително оценителят може да се използва и като оценител на ъгловата скорост. В този смисъл интерес би представлявало едно сравнително изследване на поведението на оценителя с и без да се използва информация за механичната ъглова скорост от датчик.

Характерно за управлението на асинхронните двигатели е, че трябва да се оценяват и наблюдават редица параметри и променливи

на състоянието на обекта. В най-елементарните системи за управление трябва да се включат роторните времеконстанти, роторното потокосцепление, ъгловата скорост и съпротивителния момент.

#### **5. Литература**

**1. A. Astolfi, D. Karagiannis, and R. Ortega**, Nonlinear and Adaptive Control with Applications. Springer-Verlag, London, 2008.

**2. Riccardo Marino, Patrizio Tomei, Cristiano M. Verrelli**, Induction Motor Control Design, Springer-Verlag London Limited, 2010, ISBN 978-1-84996-283-4, e-ISBN 978-1-84996-284-1, 371 стр.

**3. M. Mena, O. Touhami, R. Ibtouen, and M. Fadel**. Sensorless direct vector control of an induction motor. Control Engineering Practice, 16(1):67–77, 2008.

**4. Bogdan M. Wikamowski and J. David Irwin / editors /**, Power electronics and motor drives, Taylor and Francis Group, 2011, ISBN 978-1-4398-0285-4, 973 стр.

**5. Kostov I., Rumén Mishkov**, Optimal control of a two-input nonlinear system, Journal of the Technical University at Plovdiv, 2008, vol.13 pp. 5-16, ISSN 1310-8271.

**6. L. Harnefors**, Globally stable speed-adaptive observers for sensorless induction motor drives. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 54(2):1243–1245, 2007.

**7. K. Ohyama, G.M. Asher, and M. Sumner**, Comparative analysis of experimental performance and stability of sensorless induction motor drives. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 53(1):178–186, 2006.

**8. B. B. B. B. B.**, Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall, 2002, pp.711.

**9. Ефимов Д.В.**, Робастное и адаптивное управление нелинейными колебаниями. – СПб.: Наука, 2005, ISBN 5-02-025093-7, 314 стр.

**10. Копылов И.П.**, Математическое моделирование электрических машин, Москва, Высшая школа, 2001, ISBN 5-06-003861-0, 327 стр.

**11. Шрейнер Р.Т.**, Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты, Екатеринбург, 2000, ISBN 5-7691-1111-9, 654 стр.

Катедра “Системи за управление”

Технически университет – София, филиал Пловдив

ул. Цанко Дюстабанов №25

4000 Пловдив

E-mail: [ijk@tu-plovdiv.bg](mailto:ijk@tu-plovdiv.bg), [georgi.iwanow@gmail.com](mailto:georgi.iwanow@gmail.com)