

7. Литература

1. Banan K., Sharifian M. и Mohammadi J., Induction Motor Efficiency Estimation using Genetic Algorithm, Volume 3 January 2005.
2. Burjorjee K., A Vectorized Implementation of a Genetic Algorithm Waltham, Brandeis University.
3. Chambers L., A Hands Book For Practical Genetic Algorithms, Hall/Cr Press, 2001.
4. Herrera F., Lozano M. и Sanchez A., A Taxonomy for the Crossover Operator - Granada, Department of Computer Science and Artificial Intelligence University of Granada, 2003.
5. Melanie M., An Introduction to Genetic Algorithms, A Bradford Book The MIT Press, Fifth printing, 1999.
6. Michalewicz Z., Genetic Algorithms + Data Structures = Evolutionary Programs, Springer-Verlag, 1996.
7. Phumiphak T. и Chat-Uthai C., Estimation of Induction Motor Parameters Based on Field Test Coupled with Genetic Algorithm, Mahanokorn University of Technology, Bangkok.
8. Practical Genetic Algorithms, John Wiley & Sons, Inc., 2004.
9. Rothlauf F., Representations for Genetic and Evolutionary Algorithms Springer-Verlag, 2006.
10. Sastry R. и Orrioles-Puig, A Extended Compact Genetic Algorithm i Matlab, University of Illinois at Urbana-Champaign, March, 2007.
11. Sivanandam S. N и Deepa S., Introduction to Genetic Algorithms Springer-Verlag, 2008.
12. Whitley D., A Genetic Algorithm Tutorial, Computer Science Department Colorado State University.
13. Yapa N., Genetic Algorithms in Induction Motor Efficiency Determination, Clarkson University, 2004.

Катедра "Системи за управление"

Технически университет – София, филиал Пловдив

ул. Цанко Дюсепанов №25

4000 Пловдив

E-mail: ijk@tu-plovdiv.bg, kkirakov@gmail.com,

janacvetkova9@gmail.com

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОПТИМАЛНИЯ МАГНИТЕН ПОТОК В АСИНХРОННИ СКАЛАРНО УПРАВЛЯВАНИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ

Иван Костов, Кирил Кирилов, Жана Цветкова

Резюме. Анализирани са методи за определяне на оптималния по електрически загуби магнитен поток в асинхронни скаларно управлявани електрозадвижвания в относителни единици. Предложено е решение на оптималния магнитен поток с отчитане на загубите в стоманата на двигателя. Създаден е модел за намиране на корените на оптималния магнитен поток. Моделът е приложим за целия диапазон на управление. Ефективността на изследването е потвърдена чрез симулация.

1. Въведение

Електрическите машини консумират голяма част от електроенергията, като най-често използвани са асинхронните двигатели (АД) с нахъсосъединен ротор, представляващи между 80% и 90% от всички електродвигатели. Този род двигатели са масивни като конструкция, издържат на големи претоварвания и практически не се нуждаят от специална поддръжка. Известно за АД е, че тяхната ефективност (КПД) варира според натоварването им, като най-висока ефективност се постига при пълно натоварване. В действителност обаче, повечето асинхронни двигатели работят при натоварване, далеч по-ниско от номиналното и в определени приложения е възможно двигателят да отдели до 70% енергия във вид на загуби. При малки товари, ефективността на двигателя намалява поради дисбаланс между загубите в медта и в стоманата. Следователно, спестяването на енергия може да бъде постигнато чрез правилно дозиране на магнитния поток в двигателя, което може да бъде реализирано чрез оптимално управление. В тази статия е предложен подход, който се базира на определянето на оптималния магнитен поток чрез зависимостите между параметрите на асинхронния двигател.

2. Загуби в АД

АД може да се разглежда като електромеханичен преобразувател на енергия. При работа в двигателя, режим той консумира електрическа мощност от мрежата и я превръща в механична. Процесът на това преобразуване е съпроводен със загуби. Това води до намаляване на полезната мощност и до загряване на самия двигател. Загубите от своя страна имат различно естество, но като цяло може да се разделят на 1) Загуби в медта; 2) Загуби в стоманата; 3) Механични загуби (2.1). В такъв случай КПД на АД може да се определи по (2.2)

$$\Delta P_{\text{med}} = P_{st} + P_c + P_{r1} + P_m + P_d, \quad \text{където} \quad (2.1)$$

P_{st}, P_{r1} - загуби в статорната и роторната намотки;

P_c - загуби в стоманата на статорния пакет;

P_m - механични загуби;
 P_d - допълнителни загуби;

$$KPD = \frac{P_m}{P_{tot}} = \frac{P_1 - \Delta P_{tot}}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P_{tot}}{P_1} \quad (2.2)$$

Пълният списък на използваните означения и съкращения е даден в Приложение. При АД ефективността е пропорционална на натоварването, т.е. при максимално натоварване КПД на дадения двигател ще е най-голям. Но в реалните работни условия използваните двигатели често работят в режими с по-малки натоварвания от максималното, в такъв случай и загубите ще са по-големи. За да се повиши ефективността на дадения АД при споменатите условия са разработени много оптимизиращи методи. Те се делят основно на два типа: 1). При първия тип се цели основна реализацията на управление спрямо намирането на оптималния за АД магнитен поток. Докато при втория тип методи се търси минималната стойност на захранващото напрежение, при което работният режим зададен на АД, да остава непроменен. В тази статия е предложен метод за намиране на оптималния магнитен поток за даден АД базиращ се на аналитичните зависимости, описващи загубите в машината.

3. Определяне на оптималния магнитен поток

За да се намали дисбалансът на загубите в медта и тези в стоманата при малки натоварвания, магнитният поток на АД трябва също да намали. Механичните загуби могат да бъдат пренебрегнати, което е обосновано от факта, че те имат пренебрежимо малка стойност в споменатия случай. В предвид това приемане, може да се каже, че тук е направена минимизация на пълните загуби само в двигателя.

В такъв случай пълните загуби в АД могат да се определят от зависимост (3.1), а магнитните загуби при номинални условия на работ от (3.2) [4].

$$\Delta P_{tot} = 3R_1 I_1^2 + 3R_2 I_2^2 + \Delta P_{mag} \varphi^2 \alpha^k \quad (3.1)$$

$$\Delta P_{mag} = P_{in} - P_{aen} - (R_1 I_1^2 + 0.005 P_n) \quad (3.2)$$

В последните две разглеждани зависимости връзката между статорния и роторния ток може да се намери приблизително чрез стойността на намагнитващия ток (3.3) [1]. От своя страна зависимостта (3.4) мощността на АД, предавана към ротора през въздушната му междина, е произведението на номиналното натоварване и синхронната скорост на машината. След заместване на зависимостта от (3.4) в (3.2) и след това в (3.1), последната придобива вида, показан в (3.5) [4].

$$I_1^2 \approx I_2^2 + I_0^2, \quad (3.3)$$

където

$$I_2^2 = \frac{P_{aen} \mu}{E_{in} \varphi} \quad \text{и} \quad I_0^2 \approx I_{0m}^2 \frac{\alpha(-\varphi^2) \varphi^2}{b(1-\varphi^2) + \varphi^2}$$

$$P_{aen} = T_n \omega_s \quad (3.4)$$

$$\Delta P_{tot} = B \frac{\alpha(-\varphi^2) \varphi^2}{b(1-\varphi^2) + \varphi^2} + C \frac{\mu^2}{\varphi^2} + D \varphi^2 \alpha^k, \quad (3.5)$$

където

$$B = 3R_1 I_{0n}^2, \quad C = \frac{R_1 + R_2}{3E_{in}^2} \quad \text{и} \quad D = \Delta P_{mag}$$

Равенство (3.5) показва връзката на пълните електрически загуби на АД при зададени определени стойности на натоварване и честота, като функция само на магнитния поток. Ако на това равенство се намери първата производна спрямо потока и получената зависимост се приравни на нула, се получава уравнението (3.6)

$$\varphi^8 + a_1 \varphi^6 + a_2 \varphi^4 + a_3 \varphi^2 + a_4 = 0, \quad (3.6)$$

където

$$a_1 = \frac{2b}{1-b}, \quad a_2 = \left(\frac{b}{b-1}\right)^2 + \frac{2B(b-a) - C\mu^2(b-1)^2}{D\alpha^k(b-1)^2},$$

$$a_3 = \frac{2C\mu^2 b}{D\alpha^k(b-1)} \quad \text{и} \quad a_4 = -\frac{C\mu^2 b}{D\alpha^k(b-1)^2}.$$

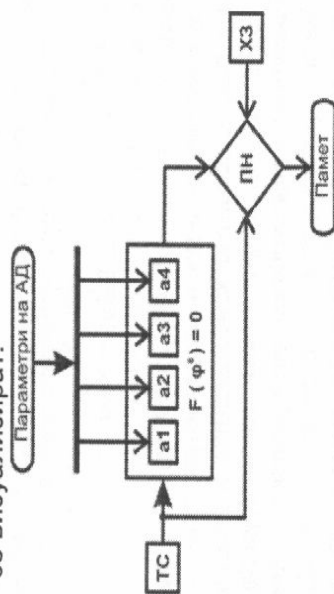
След решаването на полинома от (3.6) се получават осем корена. Шест от тях са комплексни, един – реален отрицателен и един – реален положителен корен. Съответно комплексните и реалният отрицателен корен нямат физически смисъл и затова могат да бъдат игнорирани. Останалият реален положителен корен φ_{opt} представлява стойността на оптималния магнитен поток, при която загубите на АД, при зададените стойности на честотата и на натоварването, са минимални. При различните режими на работа на АД, стойността на оптималния поток се изменя, но винаги е в границите: $0 < \varphi_{opt} \leq 1$.

4. Симулационен модел

Разгледаното в т.3 определяне на стойността на оптимален магнитен поток на даден АД може да се реши аналитично, но интерес представлява реализирането на динамичен, симулационен модел, с чиято помощ да се намира стойността на φ_{opt} при различни работни условия на двигателя. Също така този модел ще дава възможност и за отчитане влиянието на различните параметри на АД върху стойността на оптималния магнитен поток. Подобен род изследване би предоставило важна информация за поведението на АД при различни работни режими, която може да се използва за целите на управлението. Структурната схема, описваща споменатия модел е представена на фиг. 1. Означенията са следните: „ТС“ – генератор на трифазен сигнал, „ХЗ“ – хистерезисна зона, „ПН“ – проверка за нула. Алгоритъмът за работа на схемата е следният:

1. На базата на дадени номинални данни за АД се изчисляват по формула (3.6) коефициентите на полинома $F(\varphi^8) = 0$ (полиномът на оптималния магнитен поток от (3.6)) – a_1, a_2, a_3, a_4 , като оставашите 4 коефициента съответно са нули.

2. Стойността на полинома се изчислява за дефинирания "ТС" носещ сигнал.
3. В "ПН" се проверява дали стойността на полинома е нула, т.е. дали текущата стойност на носещия сигнал е корен. Тъй като симулацията е дискретна има опасност да бъде "изпусната" нула, появила се между два съседни такта. За тази цел е дефинирана и "ХЗ", при попадане на сигнала стойността му се приема за равна на нула.
4. При откриване на корен, който е комплексен или реален отрицателен, той се игнорира. В противен случай стойността на носещия сигнал се записва. След приключване на симулацията записаните стойности на "ТС" се визуализират.



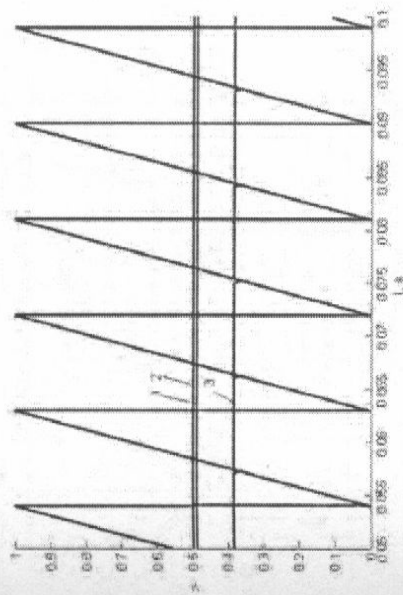
Фиг. 1. Структурна схема за определяне на оптимален магнитен поток

5. Експериментални резултати

На базата на структурната схема в т. 4 е създаден модел за определяне на оптималния магнитен поток за различни честоти и натоварвания в честотно отворено електрозадвижване. Номиналните данни за използвания двигател са дадени в табл. 1. Носещият сигнал е честота 1 kHz. На фиг. 2 са показани стойността на оптималния магнитен поток при номинални данни на АД - 1, при $f = 15 \text{ Hz}$ и номинален момент - 2; при $T = 10 \text{ Nm}$ и номинална честота - 3.

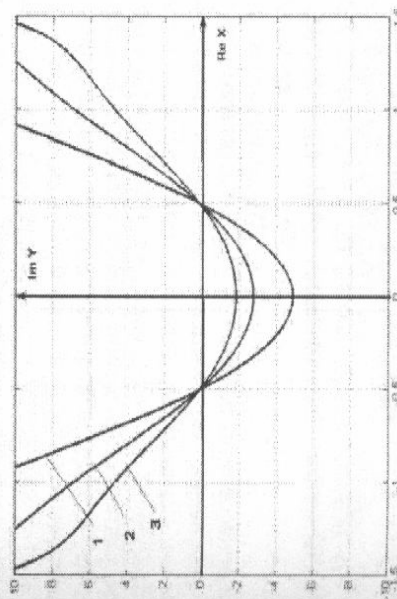
Параметри на АД

Параметър	Стойност	Параметър	Стойност
R_1	1.230 Ω	f_n	50 Hz
X_1	1.500 Ω	p	4
X_m	53.700 Ω	s_n	0.036
R_2'	0.787 Ω	n_s	1500 rpm
X_2'	2.490 Ω	ω_s	157 rad/s
V_n	220 V	n_n	1446 rpm
T_n	36.340 N.m	ω_n	151.348 rad/s
P_n	5.500 kW	J	0.017 kg.m ²
I_{1n}	11.500 A	$[a, b]$	[0.0327, 3.112]



Фиг. 2. Стойности на оптималния магнитен поток при: 1 – номинални стойности, 2 – $f = 15 \text{ Hz}$, 3 – $T = 10 \text{ Nm}$

На базата на създадения симулационен модел може да се разгледа графиката на функцията на полинома от (3.6) при различни стойности на честотата и на натоварването на АД. На фиг. 3 е показана уточнената зависимост при промяна на честотата, а на фиг. 4 – при промяна на натоварването на АД.



Фиг. 3. Графика на полинома (3.6) при промяна на честотата
1 – $f = 20 \text{ Hz}$, 2 – $f = 30 \text{ Hz}$, 3 – $f = 40 \text{ Hz}$

8. Приложение

Използвани означения

$\Delta P_{\text{от}}, W$	Пълни загуби
R_1, Ω	Статорно съпротивление
R_2, Ω	Роторно съпротивление
I_1, A	Статорен ток
I_2, A	Роторен ток
I_0, A	Намагнитващ ток
$I_{\text{от}}, A$	Номинален намагнитващ ток
$\Delta P_{\text{аген}}, W$	Номинални магнитни загуби
$\varphi = \Phi / \Phi_n$	Относителен поток
Φ, Wb	Работен поток
Φ_n, Wb	Номинален поток
$\alpha = f / f_n$	Относителна честота
f, Hz	Работна честота
f_n, Hz	Номинална честота
k	Коефициент, зависещ от вида на стоманата, използвана в централната конструкция
$\mu = T / T_n$	Относителен момент
$T, N \cdot m$	Момент на натоварване
$T_n, N \cdot m$	Номинален момент на натоварване
$P_{\text{аген}}, W$	Номинална електромагнитна мощност
$E_{\text{ин}}, V$	Номинално е.д.н.
$P_{\text{ин}}, W$	Номинална входна мощност
$I_{\text{ин}}, A$	Номинален статорен ток
P_n, W	Номинална изходна мощност
$\omega_p, \text{rad/s}$	Синхронна скорост
a, b	Коефициенти на аналитичната апроксимация на кривата на намагнитване
V_n, V	Номинално статорно напрежение

Department of Control Systems

Technical University-Sofia, Branch Plovdiv

25 Tsanko Dyustabanov St., 4000 Plovdiv

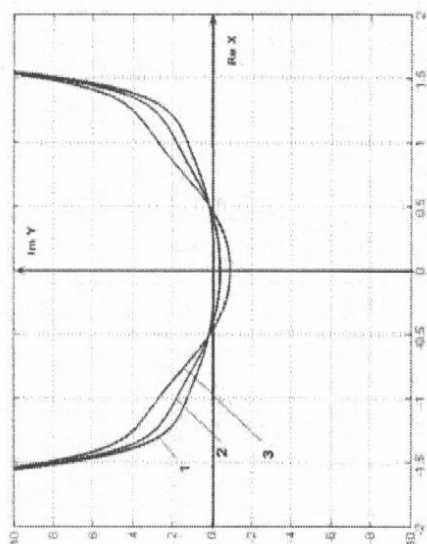
E-mail: ijk@tu-plovdiv.bg, janacvetkova9@gmail.com,

kkirkov@gmail.com

ИЗСЛЕДВАНЕ НА РЕВЕРСИВНИ ПОСТОЯННОТОКОВИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ СЪС СЪВМЕСТНО УПРАВЛЕНИЕ НА ВЕНТИЛИТЕ

Иван Костов, Десислав Белев, Надя Спасова

Резюме. За реализацията на реверсивни постояннотоккови електрозадвижвания най-често се използват тиристорни преобразуватели, които работят със съвместно или с разделено управление на групите вентили. В статията са анализирани статични и динамични свойства на реверсивни електрозадвижвания със съвместно управление на групите вентили. Разгледани са два начина за съгласуване на ъглите на управление при отворена и затворена система –



Фиг.4 . Графика на полинома (3.6) при промяна на натоварването

$$1 - T = 10 Nm, 2 - T = 20 Nm, 3 - T = 30 Nm$$

6. Заключение

Разгледаният в статията метод предоставя възможността за управление на АД чрез намиране оптимална стойност на магнитния поток. Стойността на $\Phi_{\text{опт}}$ е намерена изцяло параметрично, използвани само зависимости, описващи загубите в дадения АД. Това от своя страна предоставя за хардуерна реализация на предложения начин оптимално управление. Разгледаният в статията симулационен модел може да се използва за изграждане на система за намиране на оптимален магнитен поток чрез цифрова схемотехника или чрез използването на микропроцесорно устройство. В бъдещо развитие на темата следва да бъде реализирана конкретна система за задвижване на базата на оптимален магнитен поток и уточняване на приложението и за намаляване на загубите при реалните АД.

7. Литература

1. Kioskeridis and Margaritis N., Loss minimization in scaled controlled induction motor drives with search controllers, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 1996. - Vol. 11.
2. Pires W. and Mello H., Minimization of Losses in Converter-Fed Induction Motors-Optimal Flux Solution, *WEG Equipamentos Elétricos S.A. - Motores*.
3. Sarah H. Issa R., Modelling, simulation and test of inverted induction motor drive system with improved performance, *Assiut university journal of science* - Vol. 33, 2005.
4. Sarhan H., Al-Issa R. and Jaber Q., Loss-Minimization of Scaled Controlled Induction Motor Drives, *Department of Mechatronics Engineering, Al-Balqa' Applied University*.
5. Радин В., Брускин Д. и Зорохович А., *Электрические машины - Асинхронные машины, Москва "Высшая школа", 1988.*