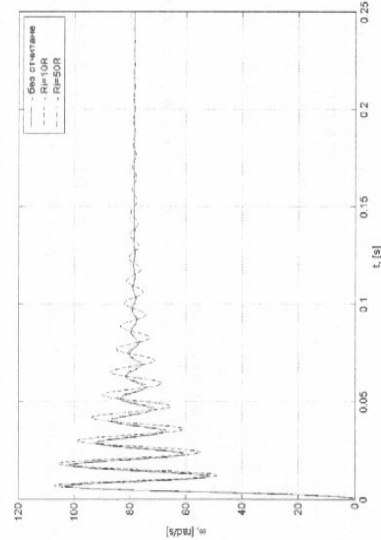
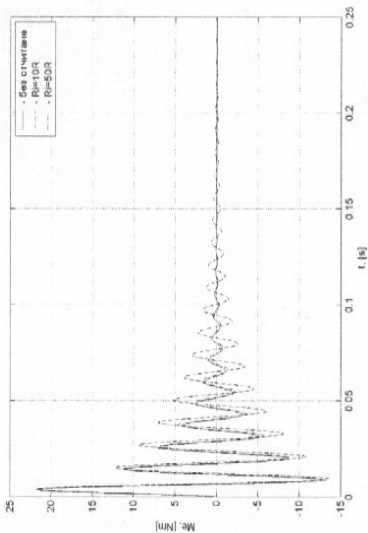




Фиг. 2. Преходни процеси на ъгловата скорост при отчитане на загубите в стоманата.



Фиг. 3. Преходни процеси на електромагнитния момент при отчитане на загубите в стоманата.
В табл. 2 са дадени параметрите на двигателя.

Таблица 2

P_n	1100 W	ψ_f	0.175 Wb
R	2.875 Ω	p	4
L_d	0.0085 H	J_d	0.0008 kgm ²
L_q		0.0085 H	

4. Заключение

Създаден е симулационен модел в средата на MATLAB и Simulink отчитащ загубите в стоманата, приложим за компютризирано изследване на клас синхронни двигатели.

Затруднение, ограничаващо практическото приложение на предложенния модел, е необходимостта от определянето на електромагнитните параметри на изследваните двигатели във функция от работния им режим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Михайлов. Математичен модел на клас синхронни двигатели, отчитащ загубите в стоманата, III Национална научна конференция за студенти, докторанти и млади научни работници към Федерация „Наука и висше образование“ – Пловдив, 2009 (под печат).
2. Б. Михайлов. Математичен модел на синхронен двигател с постоянни магнити, отчитащ загубите в стоманата, ТЕХСИС, Пловдив, 2009 (под печат).
3. Б. Михайлов. Симулационен модел на синхронен двигател с постоянни магнити, отчитащ загубите в стоманата, ТЕХСИС, Пловдив, 2009 (под печат).
4. Chee-Mun Ong. Dynamic simulation of electric machinery, Prentice Hall, 1998.

Ст. ас. Божил Росенов Михайлов
Технически Университет – София, Филиал Пловдив
ул. Цанко Дюсепанов № 25, Тел. 659-525, E-mail: bojil@tu-plovdiv.bg

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ГЕНЕТИЧЕН АЛГОРИТЪМ ЗА НАМИРАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА ЗАМЕСТВАЩАТА СХЕМА НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ

Иван Костов, Кирил Кирилов, Жана Цветкова

Резюме. Разгледано е приложението на генетични алгоритми и целеви функции за идентификация на асинхронни двигатели (АД). Разработен е генетичен алгоритъм за определяне на параметри на заместващата схема на АД. Изследвано е влиянието на параметри на алгоритъма върху качеството на идентификационния процес. Алгоритъмът е разработен за целите на управлението на АД. Ефективността на изследването е потвърдена чрез симулация.

1. Въведение

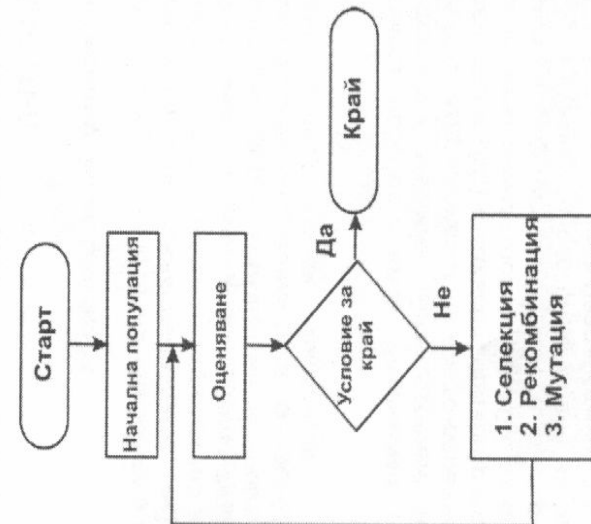
Близко 100% от индустриалните производствени механизми са изградени на базата на електрически машини. Благодарение на високата си конструктивна здравина и издръжливост на прето-варване, използването на асинхронните двигатели (АД) с накъсосъединен ротор непрекъснато се увеличава, като те вече заемат повече от 80% от индустриалния пазар. За намаляване на електрическите загуби на подобен род електрозадвижвания (ЕЗ), е важно точното определяне на параметрите на използваните АД [1]. За тази цел има разработени много и различни методи, но повечето от тях или са трудно приложими в реалните работни условия или използването им би довело до големи производствени и финансови загуби. Поради тези съображения интерес

представява възможността за намиране параметрите на АД, което без да е необходима промяна в зададения му работен режим. Това е възможно чрез представянето на разглежданата машина посредством нейната еквивалентна заместваща схема (ЗС). Въпреки това, информацията давана от производителя на АД върху табелката му, често е недостатъчна за тази цел.

Намирането на параметрите на АД, базиращо се само на минималните данни на разглежданата машина и без никакви допълнителни експериментални тестове е възможно чрез използването на генетичен алгоритъм (ГА). Този род оптимизационни алгоритми са насочени от отделния АД, сравнително лесно се реализират и благодарение на стохастичния си характер чрез тях може да се достигне до глобален екстремум на разглеждания оптимизационен проблем [5].

2. Същност на ГА

ГА е оптимизационен метод използван за решаването на не-линейни оптимизационни задачи [5], [6]. Методът е удобен за оптимизация на функции, за които не се разполага с априорна информация. ГА се базира на принципа на естествения подбор, който е всеобщ за живи организми в природата. Всъщност ГА представлява математически модел на еволюционен процес, който протича по показания на фиг. 1.



Фиг.1 Блок схема на ГА

2.1 Представяне

Въпреки многото начини за представяне на индивидите [9] при този род алгоритми, на бинарното представяне на популацията се гледа като на канон. Обаче в последно време се налагат и други начини за кодиране: целочислени, символни и др. Предпоставка за това е голямата скорост на микропроцесорната техника и сравнително лесната реализация чрез програмни езици от високо ниво.

Началната популация представлява бинарен масив. Това е матрица с дължина $m \times n$, където m е дължината на хромозомата, а n е общият брой на всички хромозоми. Общият вид на хромозомата е показан на фиг. 2а. Хромозомата може да се разглежда като вектор, който при бинарно представяне е поредица от нули и единици, а при целочислено – поредица от естествени числа. Хромозомата е съвкупност от отделни гени. Всеки ген представлява отделен параметър на целевата функция (при един търсен параметър генът съвпада с хромозомата). Големината на гените зависи от желаната точност на изчисление, но винаги хромозомата е сбор от дължината на всички гени. Ако е дадена следната целевата функция (2.1) при бинарно представяне броят на битовите във всеки ген се определя чрез границите на всеки параметър (2.2), т.е. желаната точност.

$$\max : f(x) = \max f(x_1, x_2, \dots, x_n), \max f(x) = \min \{-f(x)\}, \quad (2.1)$$

където $x_i \in R$ са параметрите f ; $D_i = [b_i^-; b_i^+]$ - дефиниционна област;

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) > 0 \text{ и } \forall x_i \in D_i, \quad (2.2)$$

$$n = \log_2 \{(b_i^+ - a_i) 10^k\},$$

където k е желаната точност, n – броя необходими битове

При работа с няколко параметъра, на всеки от тях може да се зададе различна точност, което от своя страна означава, че гените в една хромозома ще са с различна големина.

2.2 Оценяване и селекция

След създаването на начална популация индивидите в нея биват оценени [6] чрез зависимостта (2.3).

$$x = a_i + g_i \cdot \frac{b_i - a_i}{2^{m-1}}, \text{ където } g_i = \sum_{j=0}^{m-1} b_j 2^j; m - \text{брой битове на } i^{\text{ти}} \text{ ген} \quad (2.3)$$

Съобразно (2.3) всеки ген от дадена хромозома се превръща в десетично число, което е стойността на дадения параметър, кодиран от съответния ген. Това преобразуване се нарича Генотип-Фенотип [12] и е показано на фиг. 2б, където $P - 1, P - 2, P - N$ са параметрите на зададената целева функция. Чрез преобразуването Генотип-Фенотип всеки един ген от популацията придобива реален смисъл и съответно може да бъде оценен за приспособимост.

Популация	ген 1 ген 2 ген 3		
	хромозома 1	11010	00101
хромозома 2	10100	00101	11101
хромозома 3	00101	01110	00101
хромозома 4	11010	01001	11010
хромозома N	11010	11101	00100

Фиг. 2 (а, б) Кодирание на параметрите при бинарен ГА

За разлика от класическите оптимизационни методи, за които целевата функция се използва като критерий за работата на самия алгоритъм, при ГА се използва т.нар. функция на приспособимост (ФП) [6], [5]. Тя се базира на целевата функция и нейното правилно дефиниране има голямо значение за работата на целия ГА. Благодарение на ФП всеки индивид от популацията може да бъде еднозначно оценен, т.е. колкото стойността на ФП на даден индивид е по-голяма, толкова той е по-близко до глобалния екстремум на целевата функция. Също разнотелност на ФП имат съответно по-голям шанс да бъдат избрани. Ако даден индивид не бъде избран и копиран в междинната популация, то той бива изтрит. По този начин на междинната популация може да се гледа като на селекция, реализирана на базата на елитарен подход.

2.3 Рекомбинация и мутация

Вече селектираните индивиди биват подлагани на рекомбинация (кръстосване). Това е основният генетичен оператор при ГА. Целта е съчетаване на гени от селектираните вече индивиди да се получат нови такива [4]. Популарни начини за рекомбинация са едноточковото цялостно кръстосване [8]. При първия начин се избира чифт родители, които репродуцират двойка наследници посредством кръстосване на родителските хромозоми (2.4). При втория начин се „ускуват“ родителските хромозоми чрез битова маска и се репродуцира един наследник (2.5).

$$\begin{array}{l} \text{родител 1} \rightarrow x \ x \ x \ x \ x \ x \ x \ x \\ \text{родител 2} \rightarrow y \ y \ y \ y \ y \ y \ y \ y \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{дете 1} \rightarrow x \ x \ x \ y \ y \ y \ y \ y \\ \text{дете 2} \rightarrow y \ y \ y \ x \ x \ x \ x \ x \end{array} \right\} \quad (2.4)$$

$$\begin{array}{l} \text{родител 1} \rightarrow x \ x \ x \ x \ x \ x \ x \ x \\ \text{маска p1-p2} \rightarrow 1 \ 1 \ 2 \ 1 \ 2 \ 2 \ 1 \ 2 \\ \text{родител 2} \rightarrow y \ y \ y \ y \ y \ y \ y \ y \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{дете} \rightarrow x \ x \ y \ x \ y \ x \ y \ y \end{array} \right\} \quad (2.5)$$

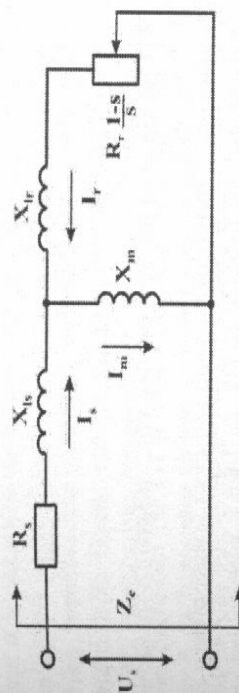
След определен брой итерации на ГА се оказва, че на базата на селекцията и рекомбинацията максимално приспособимите индивиди преобладават в популацията. Разликите между стойностите на ФП на отделните индивиди са много малки, което от своя страна довежда до селекцията на едни и същи хромозоми. Тогава може да се смята, че ГА е попаднал в локален екстремум. За да се избегне това се използва генетичният оператор мутация. За разлика от многообразието от различни видове кръстосване мутацията е само няколко вида. Най-популярен начин за реализиране на мутация е инвертирането на стойността на определен брой битове от цялата популация [3]. По този начин се създават нови индивиди, които

следващата итерация на алгоритъма ще бъдат селектирани и кръстосани. Чрез създаването на нови индивиди популацията се „разнообразява“ и се намалява възможността ГА да попадне в локален екстремум.

Броят на хромозомите, подлагани на рекомбинация и броят на битове, които ще бъдат инвертирани вследствие на мутацията, се задават чрез два параметъра p_c и p_m . Те определят процентното отношение на броя на хромозомите, които ще бъдат кръстосвани и броя на битовете, които ще бъдат инвертирани спрямо всички хромозоми и всички битове в дадена популация.

3. Определяне параметрите на АД.

Управлението на АД обикновено се осъществява посредством неговата Т-образна заместваща схема (ЗС), показана на фиг. 3.



Фиг. 3 – Т-образна заместваща схема

U_s – захранващо напрежение
 R_s – съпротивление на статорната намотка
 R_r – съпротивление на роторната намотка
 X_{ls} – индуктивност на статорната намотка
 X_{lr} – индуктивност на роторната намотка
 X_m – взаимна индуктивност
 I_s, I_r – токове на статора и ротора
 I_m – намагнитващ ток

Основата на ЗС са пет съпротивления и когато техните стойности са известни може да се оцени работата на самия АД. За съжаление, за да се намерят стойностите им е необходимо да се променя работният режим на машината (режим на късо съединение или празен ход), което често е нереализуемо или недопустимо в индустриални условия. Като алтернатива може да се използва ГА [7], използващ само данните от табелката на АД и ФП, базирана на ЗС. Съществува възможност за намиране на параметрите на ЗС чрез принципа на натуралната селекция, базиран в инструментариума на ГА [13], но трябва да се има предвид, че за получаване на резултати със задоволителна точност основно значение има правилното съставяне на ФП.

4. Функции на принадлежност.

На базата на номиналните данни за определен АД и електрическите характеристики от ЗС може да се съставят различни функции на принадлежност (ФП) [3], [13]. В тази статия ще бъдат представени две ФП.

4.1. ФП-1 на базата на импеданса на ЗС

Импедансът на ЗС на АД (4.1) представлява комплексно число $Z = a + jb$. Целта на оптимизацията е да се сравняват модулът Mod и фазата pf на Z (4.2) с тяхна предварително известна стойност. В такъв

случай колкото стойностите на двата импеданса (дадения и числения чрез ГА) са близки, съответно и стойности те на параметрите от ЗС на АД ще са по-точни спрямо реалните такива. Съобразно това дефинирана и ФП-1 (4.3).

$$Z = \frac{X_m^2 R_r}{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X_{ls}^2 + X_m^2} + R_s + j \left[\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 X_m + X_{lr} X_m + X_m^2 \right] + X_{ls} \quad (4.1)$$

$$Mod(Z) = \sqrt{Re^2 Z + Im^2 Z}; \quad pf = \frac{Re Z}{Mod(z)} \quad (4.2)$$

$$f_1 = \left(\frac{Mod - 1}{Mod_H} \right)^2 + \left(\frac{pf}{pf_H} - 1 \right)^2; \quad \Phi\Pi_1 = \frac{1}{f_1 + 1} \quad (4.3)$$

4.2. ФП на базата на статорния ток, фактора на мощността и изходната мощност

Статорният ток, факторът на мощността и изходната мощност всеки АД се изписват на табелката му, затова е удобно да се използва за изграждането на ФП-2. На базата на зависимостта (4.4) може да се напише и ФП-2, чиито вид е показан на зависимост (4.5).

$$\hat{I}_1 = \frac{\hat{U}_1}{Z}; \quad pf = \frac{Re \hat{U}_1}{I_1}; \quad P = 3U_1 I_1 pf \quad (4.4)$$

$$f_2 = \frac{100 \left(\frac{U_1 - I_{H1}}{I_1} \right)^2}{P}; \quad f_3 = \frac{100 (pf - pf_{H1})}{pf}; \quad f_4 = \frac{100 (P - P_{H1})}{P} \quad (4.5)$$

$$\Phi\Pi_2 = \frac{1}{f_2^2 + f_3^2 + f_4^2}$$

5. Експериментални данни

На базата на дефинираните в т.4 ФП-1 и ФП-2 е разработен ГА програмната среда на Matlab [2], [10]. Разработения ГА е на модул принцип, като всеки подул представлява отделен файл. Моделите съставени на базата на фиг.1, като всички модули се управляват глобална управляваща структура. Избрания принцип на работа позволява лесна промяна на зададените параметри с цел лесна настройка на ГА. Изследваният АД е с номинални данни, показани в табл.1. В табл.2 са показани границите на всеки изследван параметър от ЗС на АД, който граници се използват от ГА за намиране на оптималните стойности на параметрите чрез избраната ФП.

Номинални данни на АД

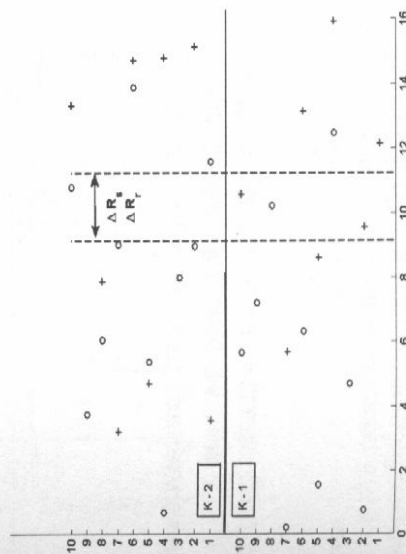
Таблица 1									
U_H	I_H	S_H	P	pf_H	Z_H	R_s	R_r	X_{ls}	X_{lr}
220	1.86	0.06	761.112	0.620	118.280	Ω	Ω	Ω	Ω
						10.20	10.52	8.17	19.16

Граници на параметрите на ЗС

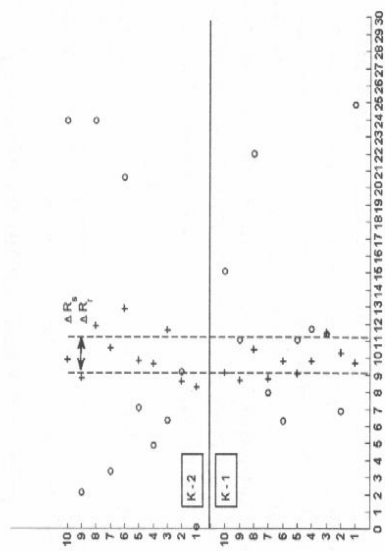
Таблица 2

$\Phi\Pi_1$					$\Phi\Pi_2$				
R_s	R_r	X_{ls}	X_{lr}	X_m	R_s	R_r	X_{ls}	X_{lr}	X_m
0-15	0-15	0-12	0-20	0-180	0-30	0-30	0-24	0-60	0-429

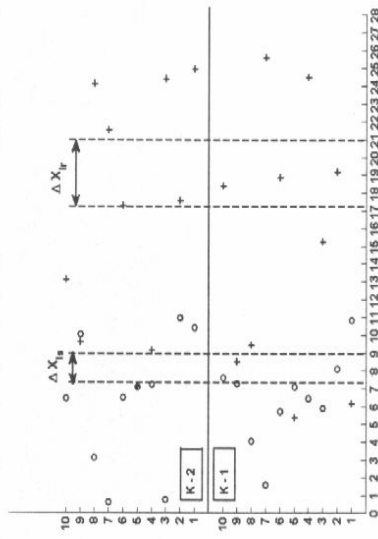
Работата на ГА се разглежда спрямо дефинираните в т.2.3 едноточково и цялостно кръстосване. За всеки вид кръстосване ГА се симулира 10 пъти. Всички симулации са направени за двете ФП, дефинирани в т.4. Целта е да се отчете влиянието на параметрите на ГА. Основно внимание се обръща на кръстосването като основен генетичен оператор. Параметрите, използвани за всички симулации са едни и същи. Честотата на рекомбинация и мутацията съответно са $p_c = 91\%$, $p_m = 29\%$. Големината на популацията е 500 индивида. Точността на параметрите е ограничена до два знака след десетичната запетая. Големината на гените е променлива и е съобразена с (2.2). Броят на итерациите на ГА е 350. На всеки от параметрите на ЗС, съобразно големината му, е изчислена граница от $\pm 10\%$. Намиране на стойност от ГА в тази граница се смята за оптимална. На фиг.4 до фиг.6 са показани резултати от симулациите, като с К-1 и К-2 са означени съответно едноточково кръстосване и цялостно такова. Границата от $\pm 10\%$ за всеки параметър е нанесена с пунктир.



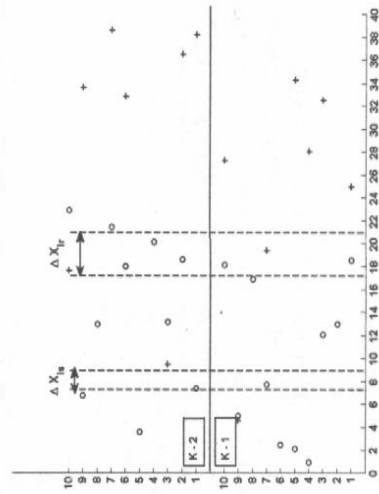
Фиг. 4а Стойности на R_s и R_r
 $R_s - \circ, R_r - +, \Delta R_s = \Delta R_r = [9.14; 11.25]$ при $\Phi\Pi_1$



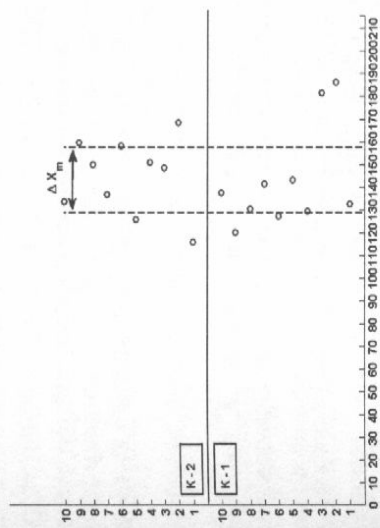
Фиг. 4б Стойности на R_s и R_r
 $R_s - 0, R_r - +, \Delta R_s = \Delta R_r = [9.14; 11.25]$ при $\Phi\Pi_2$



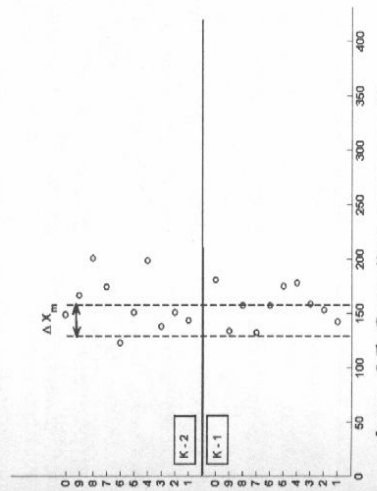
Фиг. 5а Стойности на X_{ls} и X_{lr}
 $X_{ls} - 0, X_{lr} - +, \Delta X_{ls} = [7.35; 8.99], \Delta X_{lr} = [17.35; 22.01]$ при $\Phi\Pi_1$



Фиг. 5б Стойности на X_{ls} и X_{lr}
 $X_{ls} - 0, X_{lr} - +, \Delta X_{ls} = [7.35; 8.99], \Delta X_{lr} = [17.35; 22.01]$ при $\Phi\Pi_2$



Фиг. 6а Стойности на X_m
 $X_m - 0, \Delta X_{ls} = [124.21; 157.92]$ при $\Phi\Pi_1$



Фиг. 6б Стойности на X_m
 $X_m - 0, \Delta X_{ls} = [124.21; 157.92]$ при $\Phi\Pi_2$

6. Заключение

От получените в т.5 резултати може да се каже, че ФП, дефинирана в т.4.1, не осигурява необходимата точност. От графиките става ясно, че при ФП 4.1 поведението на ГА съответства на чисто случайно търсене. При ФП от т.4.2 резултатите са по-добри, алгоритъмът често попада в зоната на уточнената вече грешка. Резултатите от фигура 5б са по-противоречиви, но въпреки това ФП от т.4.2 може да се използва за намиране на параметрите на ЗС на АД.

Независимо от стохастичния характер на търсенето, реализирано от ГА, точността на резултатите би се повишила чувствително, ако се разполага и допълнителна априорна информация, която да се отрази и във ФП. Такава информация може да се допълни с данни за работни режими, различни от номиналните.

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 нахососъединен 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)

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

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

P_m - загуби в стоманата на статорния пакет;

7. Литература

1. Banan K., Sharifian M. и Mohammad J., Induction Motor Efficient 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/Cs Press, 2001.
4. Herrera F., Lozano M. и Sanchez A., A Taxonomy for the Crossed Operator - Granada, Department of Computer Science and Artificial Intelligence University of Granada, 2003.
5. Melanie M., An Introduction to Genetic Algorithms, A Bradford Book of 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 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 Orriols-Puig, A Extended Compact Genetic Algorithm 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 Efficient 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, kkirqkov@gmail.com,

janacvetkova9@gmail.com