УДК 621.313.33

С.Е. МАЙГАТОВ, студент гр. 5А8Ж (ТПУ)
Научный руководитель В.В. ТИМОШКИН, к.т.н., доцент (ТПУ)
г. Томск

МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В МНОГОФАЗНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Для исследования и разработки диагностических систем в электроприводах переменного тока с асинхронным двигателем необходима имитационная модель, которая позволяет получать адекватные результаты в аварийных режимах работы. Сделать универсальную математическую модель асинхронного двигателя сложно и проблематично, так как она будет громоздкая и требовать значительных вычислительных мощностей [1-3]. В данной статье предложено использовать модель двигателя в многофазной системе координат для исследования определенных аварийных режимов. Классическая модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат имеет ряд допущений и ограничений, которые не позволяют ее использовать при несимметрии в цепи статора и ротора [1-3].

На рисунке 1 представлена имитационная модель асинхронного двигателя в программной среде Matlab Simulink, реализованная в многомерной системе координат [4,5]. К одному из главных достоинств данной модели относится универсальность, которая дает возможность гибко задавать размерность системы координат и моделировать процессы в двигателе с любым количеством фаз. Данная имитационная модель может использоваться для исследования обрыва стержней ротора, несимметрии цепи статора и моделирования перекоса фаз в асинхронных многофазных двигателях.

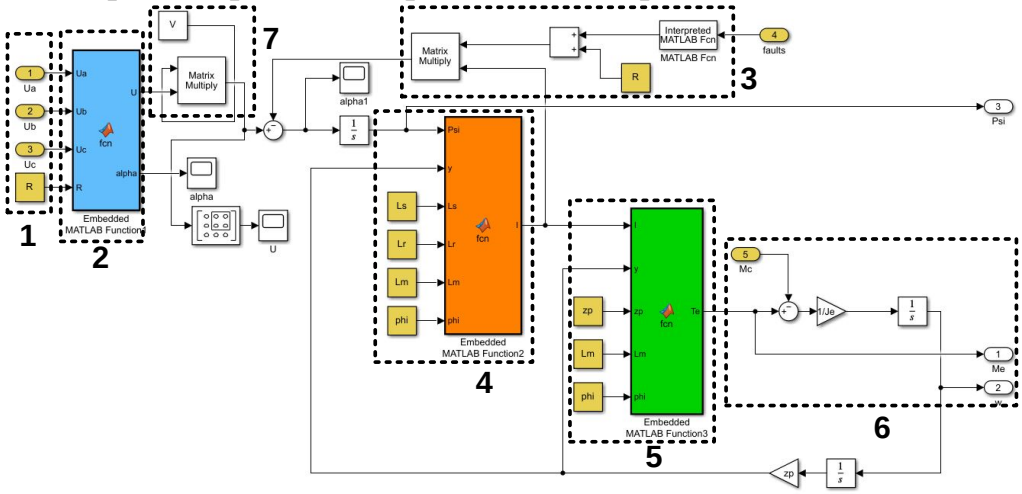

Рис. 1. Многофазная модель асинхронного двигателя в программной Matlab Simulink.

Для исследования аварийных режимов был выбран асинхронный двигатель с параметрами, которые указаны в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Параметры двигателя АДМ100S4У3

$P_н$, кВт	$I_н$, А	$n_н$, об/мин	η, %	cosφ	$U_ф$, В	J, кг·м^2
3	7,17 А	1410	82	0,82	220	0,0100

В таблице 2 представлены параметры схемы замещения АДМ100S4У3.

Таблица 2

R_1, Ом	$R`_2$, Ом	L_1, Гн	$L`_2$, Гн	L_m, Гн
1,851	2,22360	0,179	0,182	0,0152

Рассмотрим принцип работы имитационной модели (рисунок 1). В блоке 1 формируются трехфазные напряжения, сдвинутые на 120 градусов, которые подаются на блок 2, где осуществляется переход напряжений от трехфазной системы координат к многомерной. Размерность системы координат определяется количеством фаз статора и ротора. На основе входных воздействий в блоке 4 производится расчет токов статора и ротора, которые далее подаются на блок 5, где происходит вычисление момента двигателя. Расчет угловой скорости и задание момента нагрузки производится в блоке 6, где входным воздействием является момент двигателя, полученный с помощью блока 5. Блоки 2, 4, 5, реализованы программным способом, алгоритмы которых показаны в таблицах 3 и 4. Задание повреждений в цепи ротора осуществляется с помощью блока 3, который позволяет сформировать место и количество повреждённых стержней. Инициализация параметров для расчета модели происходит с помощью Script (таблица 4). Моделирование несимметрии со стороны источника питания производится с помощью блока 8 и параметра V в программном скрипте Script (таблица 4).

Таблица 3

Программный код блоков 2 и 4

Embedded MATLAB Function1 (Блок 2)	**Embedded MATLAB Function2 (Блок 4)**

`function U=fcn(Ua,Ub,Uc,R)`
`n=round(length(R)/2);`
`U=zeros(2*n,1);`
`phi=2*pi/n;`
`Uabs=sqrt(Ua^2+(Ub-Uc)^2/3);`
`alpha=atan2(Ua,(Ub-Uc)/sqrt(3));`
`for i=1:n`
`  U(i,1)=Uabs*cos(alpha+(i-1)*phi);`
`end`
	`function I=fcn(Psi,y,Ls,Lr,Lm,phi)`
	`n=round(length(Psi)/2);`
	`Cosr=zeros(n,n);`
	`for i=1:n`
	`  for j=1:n`
	`  Cosr(i,j)=cos(y-(j-1)*phi-(i-1)*phi);`
	`  end`
	`end`
	`Lrs=Lm*Cosr;`
	`Lsr=Lm*Cosr';`
	`L=[Ls Lsr; Lrs Lr];`
	`I=L\Psi;`

Таблица 4

Программный код блока 2 и Script для задания параметров модели

Embedded MATLAB Function3 (Блок 5)	Script

function Te=fcn(I,y,zp,Lm,phi)
nn=length(I);
n=round(nn/2);
Is=I(1:n,1)';
Ir=I((n+1):nn,1);
m=zeros(n,n);
for i=1:n
  for j=1:n
  m(i,j)=sin(y-(j-1)*phi-(i-1)*phi);
  end
end
mm=Lm*m;
Te=-zp*Is*mm*Ir*3/n;
	zp=2;
	n=3;
	R1=1.851;
	R2=2.236;
	Lm=0.2138*2/n;
	L1=0.011+Lm;
	L2=0.014+Lm;
	Je=0.01;
	Mn = 20.3;
	
	R=diag([ones(1,n)*R1 ones(1,n)*R2]);
	phi=2*pi/n;
	Corr=zeros(n,n);
	for i=0:(n-1)
	  for j=0:(n-1)
	  Corr(i+1,j+1)=cos((j-i)*phi);
	  end
	  Corr(i+1,i+1)=0;
	end
	Ls=Lm*Corr+diag(ones(1,n)*L1);
	Lr=Lm*Corr+diag(ones(1,n)*L2);
	
	V=diag(ones(n*2,1));
	V(1,1)=0.8;

На рис. 2 показаны переходные процессы скорости и момента для асинхронного шестифазного двигателя с перекосом фаз и без. Данный аварийный режим моделировался путем снижения напряжения для одной из фаз на 50% от номинального.

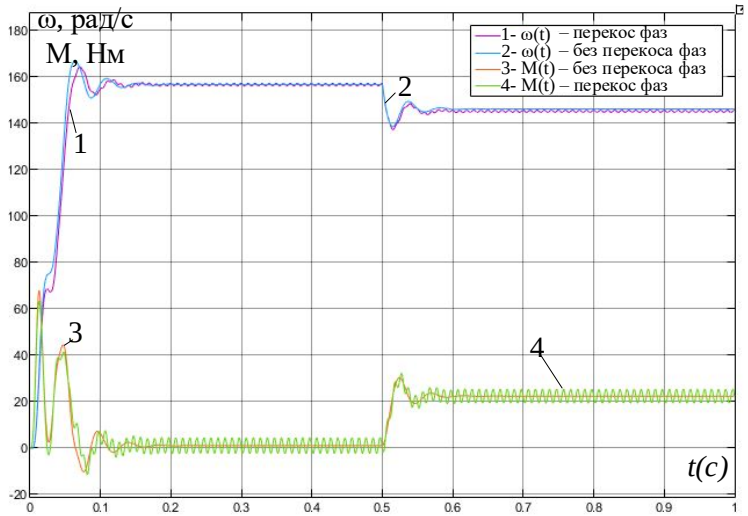

Рис. 2. Переходные процессы скорости и момента с перекосом и нормальным состоянием

Для сравнения двигателей одной мощности, но с разным количеством фаз питания был введен поправочный коэффициент 3/n при расчете момента в блоке 5. Из рисунка 2 видно, что снижение напряжения в одной из фаз приводит к появлению колебаний в переходных процессах скорости и момента.

На рисунке 3 представлены переходные процессы скорости и момента, при исследовании обрыва стрежней в роторной цепи. Размерность системы координат была принята n = 28, что соответствует 28 стержням в роторе. Моделирование аварийного режима осуществлялось путем увеличения сопротивлений в роторной цепи для соответствующих фаз. При обрыве 2 стрежней появляются низкочастотные колебания в переходных процессах, которые усиливаются под нагрузкой на валу двигателя (рисунок 3).

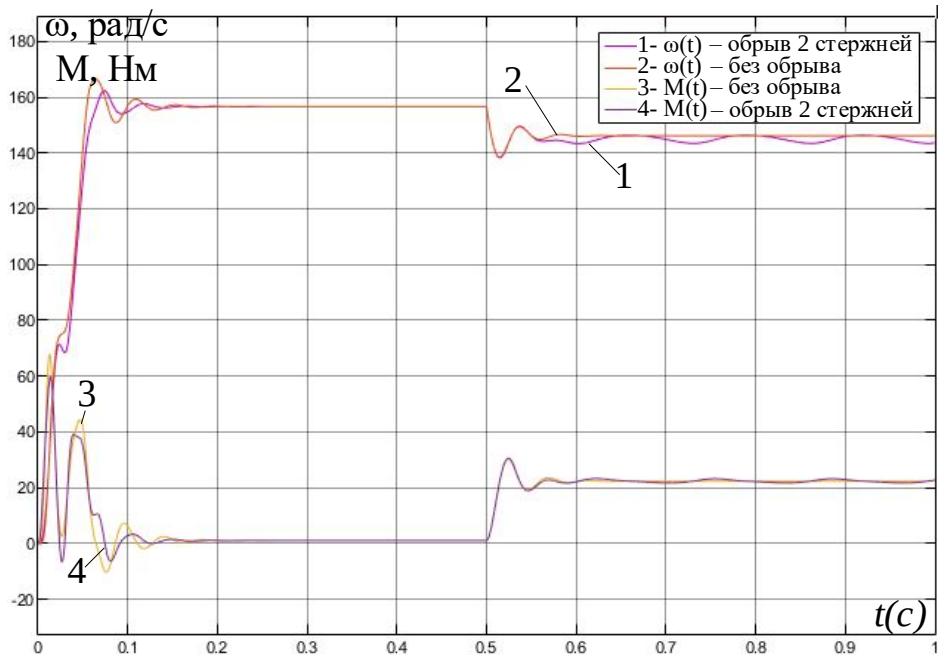

Рис. 3. Переходные процессы скорости и момента с обрывом нормальным состоянием

Выводы

1.Предложенная имитационная модель является универсальным инструментом для исследования несимметрии в роторной и статорной цепи, а также позволяет получать адекватные результаты при моделировании перекоса и провалов напряжений в многофазных двигателях.

2.Моделирование процессов в статоре и роторе производится в системе координат с одной и той же размерностью, поэтому при расчетах переходных процессов требуются значительные вычислительные мощности.

Список литературы:

1. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.

2. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. / В.И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.

3. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. – Иваново: ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2008. – 298 с.

4 Математическая модель асинхронного двигателя в мультифазной системе координат при несимметрии роторных цепей / А.С. Глазырин, В.И. Полищук, В.В. Тимошкин, Д.М. Баннов, Ю.Н. Исаев, Д.И. Антяскин, С.Н. Кладиев, А.А. Филипас, С.В. Ланграф, Д.А. Котин, В.З. Ковалев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 10. – С. 213-227.

5.Математическое моделирование асинхронных двигателей при повреждениях стержней короткозамкнутого ротора / В.Ф. Сивокобыленко, В.А. Павлюков, В.П. Сердюков, В.И. Бондаренко, С.П. Яременко // Донт НТУ. – 2009. – Т. 158. – № 9. – С. 222–226.

Информация о авторах:

Майгатов Семен Евгеньевич, студент гр. 5А8Ж, ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, sem5@tpu.ru

Тимошкин Вадим Владимирович, к.т.н., доцент, ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, timoshkinvv@tpu.ru