

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ НА РАБОТУ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MATLAB SIMULINK

Повелица Д. М., Ивченков Н. В., Кутковой И. П.

Представлена математическая модель для изучения несимметричных режимов работы асинхронного электродвигателя. Представлены результаты изменения основных электро-механических переменных электродвигателя при различной степени несимметрии и обрыве фазы питающей сети. Проведен анализ полученных результатов и расчет коэффициента несимметрии для каждого из режимов работы. Показаны и проанализированы амплитудные значения токов каждой фазы статора при четырех режимах работы. Полученные данные в дальнейшем предлагается использовать как диагностические признаки неисправности в работе электрических машин. Результаты моделирования необходимо проверить на адекватность методами экспериментальных исследований на реальном объекте.

Представлено математичну модель для вивчення несиметричних режимів роботи асинхронного електродвигуна. Представлені результати зміни основних електромеханічних змінних електродвигуна при несиметрії різного ступеня і обриві фази мережі живлення. Проведено аналіз отриманих результатів і розрахунок коефіцієнта несиметрії для кожного з режимів роботи. Показані і проаналізовані амплітудні значення струмів кожної фази статора при чотирьох режимах роботи. Отримані дані в подальшому пропонується використовувати як діагностичні ознаки несправності в роботі електричних машин. Результати моделювання необхідно перевірити на адекватність методами експериментальних досліджень на реальному об'єкті.

A mathematical model of non-symmetric modes of the induction motor is given for the educational purpose. The results of changes in the main variables of electromechanical motor at different degrees asymmetry and phase failure are given. The results were analyzed and the calculation of the asymmetry factor for each mode of operation is made. The amplitude values of stator's phase currents in four modes are shown and analyzed. The data obtained is proposed to further use as diagnostic signs of electrical machine's malfunction. The simulation results need to be checked for the adequacy by means of the experimental methods on the real object.

Повелица Д. М.

магистрант ДГМА

Ивченков Н. В.

канд. техн. наук, доц. каф. ЭСА ДГМА

Кутковой И. П.

ket@dgma.donetsk.ua

ст. преп. каф. ЭСА ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.313

Повелица Д. М., Ивченков Н. В., Кутковой И. П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ НА РАБОТУ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MATLAB SIMULINK

При эксплуатации электродвигателей возникают различные режимы, отрицательно влияющие на работу. Наибольший ущерб наносят неисправности и аномальные режимы работы, как питающей сети, так и электродвигателей. Для исследования влияния этих режимов на динамику электропривода и надежность электродвигателей, входящих в его состав, необходим анализ данных о мгновенных значениях основных переменных электропривода: напряжениях, токах, температурах обмоток, скорости вращения и т.п. Одним из инструментов анализа является математическое моделирование, на основании результатов которого можно делать выводы о свойствах реального объекта. Результаты математического моделирования для электромеханических систем могут быть получены с использованием программной среды MATLAB и ее программных пакетов Simulink и SimPowerSystems [1, 2].

Цель работы – исследовать влияние несимметрии питающего напряжения на электромеханические характеристики асинхронного электродвигателя в статических и динамических режимах с использованием методов математического моделирования.

Задачи работы.

1. На основе паспортных данных асинхронного двигателя построить математическую модель в пакете программ MATLAB Simulink SimPowerSystems.
2. Исследовать влияние несимметрии питающей сети на электромеханические характеристики асинхронного двигателя.
3. Исследовать влияние обрыва фазы питающей сети на электромеханические характеристики асинхронного двигателя.
4. Провести сравнительный анализ электромеханических характеристик асинхронного двигателя при разных режимах работы.

Расчет токов в обмотках статора асинхронного двигателя при несимметрии питающего напряжения традиционно осуществляется методом симметричных составляющих, однако для расчета динамических режимов целесообразнее использовать математическое моделирование с использованием программного пакета Matlab Simulink.

В программном пакете SimPowerSystems асинхронная машина представлена в виде блока Asynchronous Machine SI Units (рис. 1).

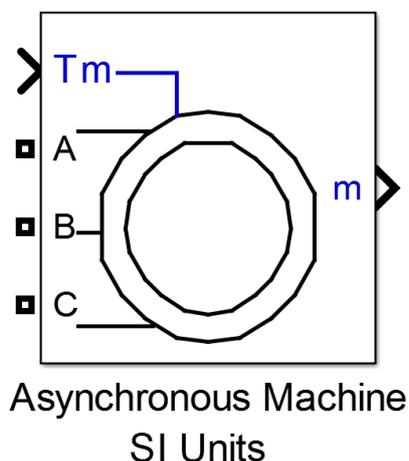


Рис. 1. Асинхронная машина в программном пакете Matlab Simulink SimPowerSystems

Блок моделирует асинхронную электрическую машину в двигательном или генераторном режимах. Режим работы определяется знаком электромагнитного момента машины.

Порты модели А, В и С являются выводами статорной обмотки машины. Порт Тm предназначен для подачи момента сопротивления движению. На выходном порту m формируется векторный сигнал, состоящий из 21 элемента: токов, потоков и напряжений ротора и статора в неподвижной и вращающейся системах координат, электромагнитного момента, скорости вращения вала, а также его углового положения. Модель асинхронной машины включает в себя модель электрической части, представленной моделью пространства состояний четвертого порядка и модель механической части в виде системы второго порядка. Все электрические переменные и параметры машины приведены к статору. Исходные уравнения электрической части машины записаны для двухфазной (dq-оси) системы координат [3].

На рис. 2 приведена модель для исследования влияния несимметрии питающего напряжения на работу асинхронной машины.

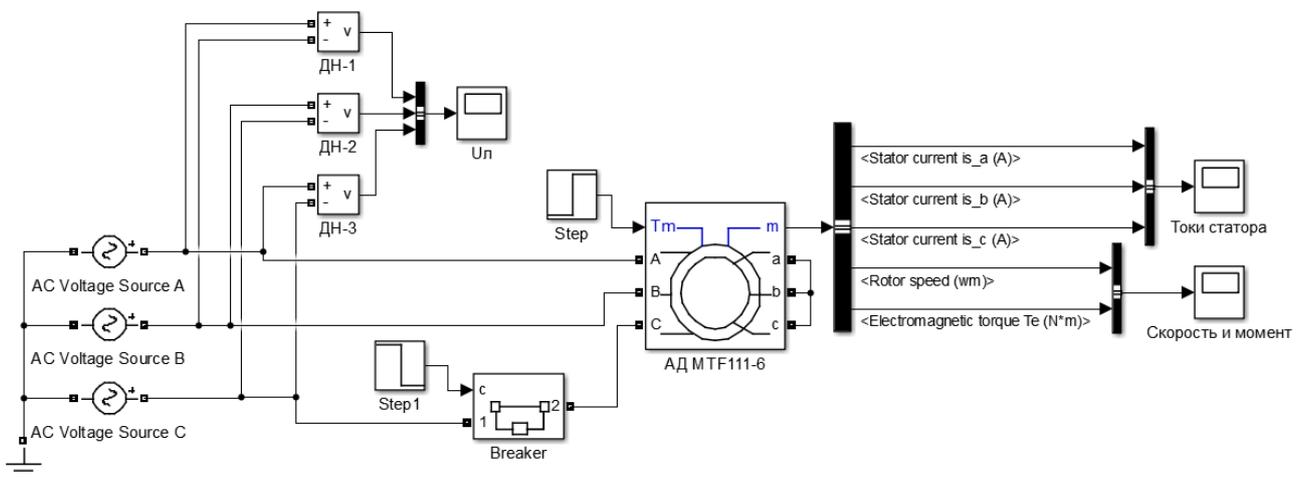


Рис. 2. Модель для исследования влияния несимметрии питающего напряжения на работу асинхронной машины с использованием блока Asynchronous Machine SI Units

Для моделирования используются параметры кранового асинхронного электродвигателя МТФ111-6 [4], параметры которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры кранового электродвигателя МТФ111-6

Мощность на валу, кВт, при ПВ = 40%	3.5
Частота вращения, об/мин	895
Ток статора при 380 В, А	10.4
cos φ	0.73
Кпд, %	70
Маховый момент ротора, кгм ²	0.195

На основе паспортных данных необходимо произвести расчеты параметров двигателя для настройки блока Asynchronous Machine SI Units:

```

>> %Справочные данные
PH=3.5e3; UH=380; f=50; n=895; eff=0.73; cosfi=0.7;
IH=10.4; ik=5; mk=2.2; mmax=2.3;
J=0.195; p=3;
%Расчет параметров
Uf=UH/1.73; n1=60*f/p; sn=(n1-n)/n1; sk=(mmax+sqrt(mmax^2-1))*sn;
w1=(2*pi*f)/p; w=pi*n/30; MH=PH/w;
for c=1:0.01:1.08;
Rr=(1.015*PH)/(3*IH^2*((1-sn)/sn));
Rs=((Uf*cosfi*(1-eff))/IH)-(Rr*c^2)-(0.015*PH/(3*IH^2));
Ll=Uf/(2*w1*(1+c^2)*ik*IH);
Ls=Uf/(w1*IH*sqrt(1-cosfi^2)-(2*w1*mmax*MH*sn/p)/(3*Uf*sk));
Lm=Ls-Ll;
c1=1+Ll/Lm;
[Rs Rr Ll Lm c c1]
end

```

Результатами моделирования асинхронной машины являются графики переходных процессов ее основных электрохимических переменных.

На рис. 3 приведены графики скорости, электромагнитного момента (а) и токов статора (б) в процессе пуска двигателя на холостом ходу и наброса номинальной нагрузки ($M_n = 37,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ в момент времени $0,7 \text{ с}$).

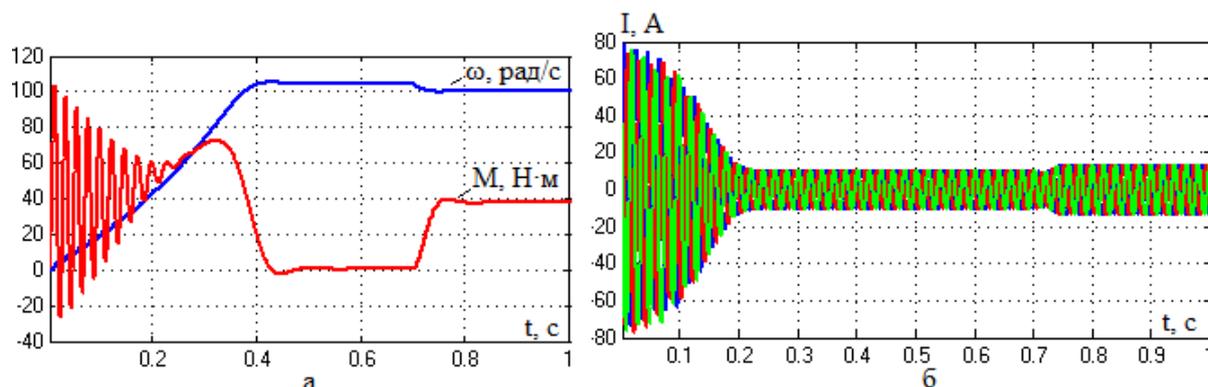


Рис. 3. Переходной процесс при набросе номинальной нагрузки (а) электромагнитного момента и скорости, токов статора (б)

По графикам можно сделать вывод, что электрохимические характеристики соответствуют заявленным паспортным данным, а именно скорость ротора под нагрузкой равна 100 рад/с , амплитудное значение токов обмоток статора равно $13,8 \text{ А}$, и электромагнитный момент равен $37,7 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

В работе рассматривается влияние несимметрии питающего напряжения на работу асинхронного двигателя. Понижение напряжения на входе фазы В до 180 В и приводит к значению коэффициента несимметрии [5], рассчитываемого по формуле (1):

$$U_1 = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot \left(\left(\sqrt{3} \cdot U_{AB} + \sqrt{4 \cdot U_{BC}^2 - \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} + U_{AB} \right)^2} \right)^2 \right) + \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} \right)^2} \quad (1)$$

$$U_2 = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot \left(\left(\sqrt{3} \cdot U_{AB} - \sqrt{4 \cdot U_{BC}^2 - \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} + U_{AB} \right)^2} \right)^2 \right) + \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} \right)^2} \quad (2)$$

$$k_{2U} = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100 \quad (3)$$

где U_1 – напряжения прямой последовательности основной частоты;
 U_2 – напряжения обратной последовательности основной частоты;
 k_{2U} – коэффициент несимметрии напряжений.

При значениях амплитуд линейных напряжений U_{AB} и U_{BC} , равном 490,6 В, и U_{CA} , равном 539 В, коэффициент несимметрии равен 6,48 %. Графики основных электромеханических характеристик при этом имеют вид, представленный на рис. 4.

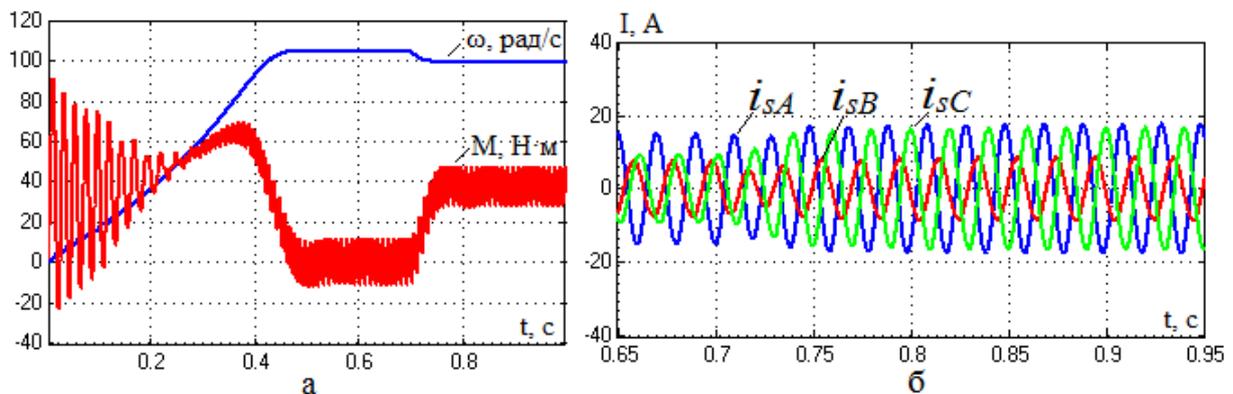


Рис. 4. Переходной процесс при набросе номинальной нагрузки и коэффициенте несимметрии 6,48% (а) электромагнитного момента и скорости, токов статора (б)

В соответствии с графиками, ток i_{sB} имеет наименьшее значение 8,6 А, при набросе нагрузки токи i_{sA} и i_{sC} по величине практически равны друг другу и составляют 17,7 А и 16,7 А, соответственно. Из-за несимметрии напряжения и токов снижается скорость ротора под нагрузкой до 99 рад/с и увеличивается амплитуда колебаний электромагнитного момента на 26%. При коэффициенте несимметрии, равном 6,48 %, ток i_{sA} вырос на 28%, i_{sC} на 21 %, i_{sB} уменьшился на 38%.

При понижении напряжения фазы В до 150 В получен коэффициент несимметрии, равный 12%. Результаты моделирования приведены на рис. 5.

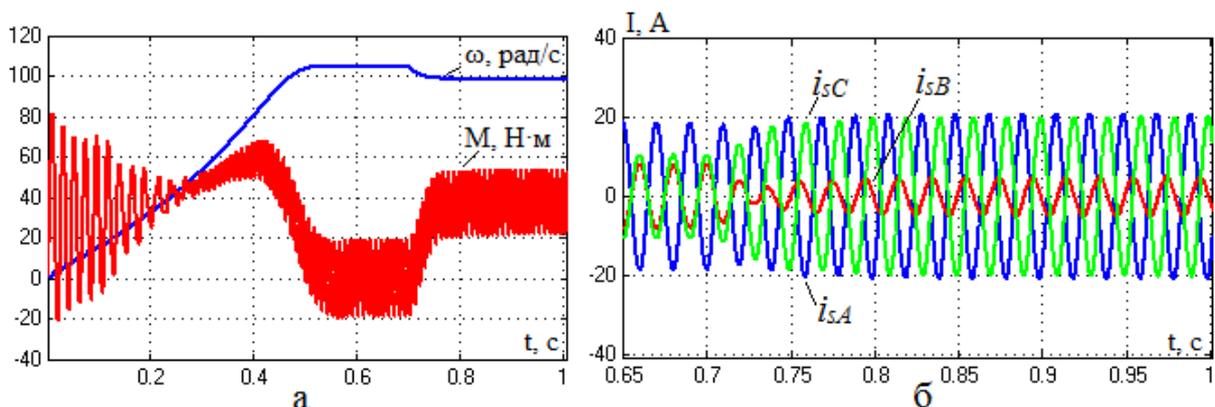


Рис. 5. Переходной процесс при набросе номинальной нагрузки и коэффициенте несимметрии 12% (а) электромагнитного момента и скорости, токов статора (б)

Из графиков видно, что ток фазы В равен 5 А, что на 64% меньше от номинала, а токи А и С равны 21 А, что на 45% больше от номинала. Из-за колебания токов фаз статора колебания в электромагнитном моменте увеличиваются на 43%, а скорость ротора уменьшается на 1% и равна 98,5 рад/с.

Рассмотрим влияние критической несимметрии – обрыва фазы В, реализуемой в модели с помощью блока Breaker (в момент времени 0,85 с). Коэффициент несимметрии при этом равен 100%. Графики основных переменных показаны на рис. 6.

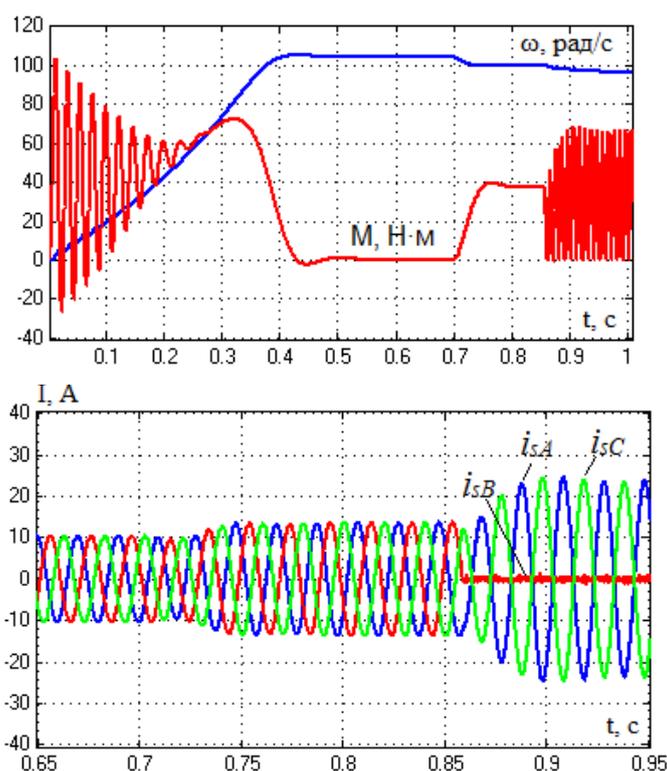


Рис. 6. Переходной процесс при набросе номинальной нагрузки и обрыве фазы В (а) электромагнитного момента и скорости, токов статора (б)

Из графиков видно, что при обрыве фазы С скорость под нагрузкой падает до 97 рад/с, а колебания электромагнитного момента увеличиваются на 78%. Амплитуда токов статора i_{sA} и i_{sC} увеличивается при обрыве фазы В в 2 раза (до 26,2 А). На основе полученных данных были построены графики изменения амплитуды токов каждой фазы статора при всех трех режимах работы (рис. 7).

ВЫВОДЫ

Математическое моделирование позволяет оценить влияние несимметрии на работу асинхронного электродвигателя.

Анализ полученных графиков позволяет сделать вывод, что в динамических режимах несимметричные режимы работы сети влияют как на амплитудное значение токов, так и на их угол сдвига фазы. Эти факторы могут быть использованы в качестве диагностических признаков несимметричного режима работы сети.

Влияние несимметрии питающего напряжения на динамические механические характеристики асинхронного электродвигателя выражается в первую очередь увеличением амплитуды колебаний динамического электромагнитного момента, что негативно влияет на работу как электродвигателя, так и механической части электропривода.

Полученные результаты необходимо проверить на адекватность методами экспериментальных исследований на реальном объекте.

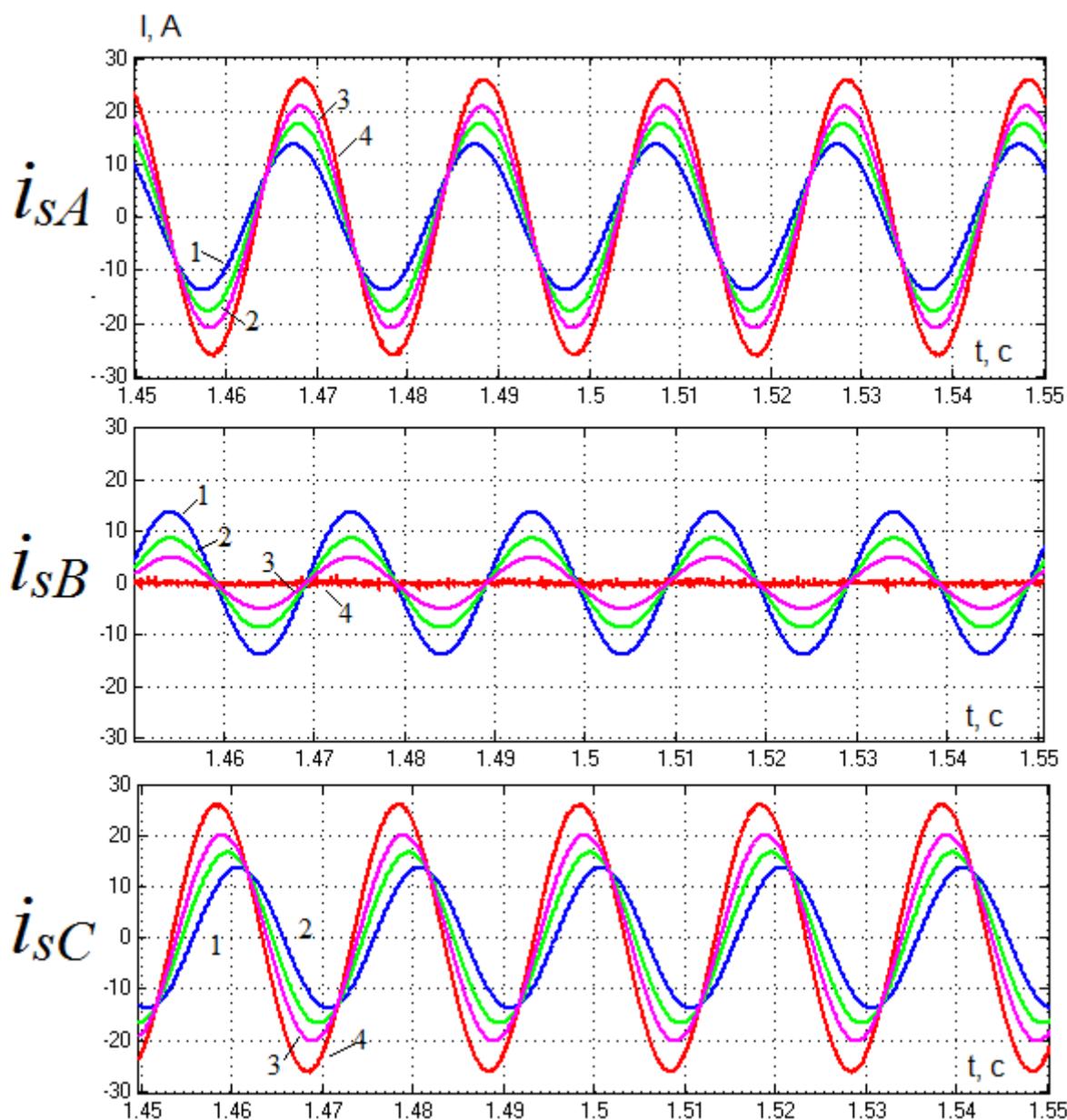


Рис. 6. Амплитудные значения токов фаз статора при различных режимах: 1 – номинальный; 2 – несимметрия 6%; 3 – несимметрия 12%; 4 – обрыв

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толочко О.И. Моделирование асинхронного двигателя при обрыве фазы статора / О. И. Толочко // *Электротехнические и компьютерные системы*. – 2014. – №15. – С. 262–266.
2. Семёнов А.С. Моделирование режимов работы асинхронного двигателя в пакете программ MatLab / А. С. Семёнов // *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова*. – Якутск, 2014. – Том 11. – №1. – С. 51–59.
3. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
4. Крановое электрооборудование: Справочник / Ю. В. Алексеев, А. П. Богословский, Е. М. Певзнер [и др.]; Под ред. А. А. Рабиновича. – Москва: Энергия, 1979. – 240 с., ил.
5. ГОСТ 13109 – 97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Киев: Госстандарт Украины, 1999. – 31 с.