

УДК 621.313.33.82

Петрушин В.С., Якимец А.М., Рябинин С.В.  
Одесский государственный политехнический университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

© Петрушин В.С., Якимец А.М., Рябинин С.В., 2000

**Розглянуто динамічні режими роботи асинхронних двигунів в регульованих електроприводах з урахуванням змінних значень параметрів заступних схем у кожній регулювальній точці. Внаслідок чого отримано залежності зміни механічних, електричних, енергетичних величин у перехідних режимах.**

В современных условиях все большее значение приобретает регулируемый электропривод, составляющий энергетическую основу механизации и автоматизации различных отраслей промышленности. Достижения в области силовой полупроводниковой техники и микроэлектроники создали необходимые условия для совершенствования систем современного электропривода и расширения его технических возможностей, что позволяет наиболее полно удовлетворять все возрастающие технологические требования и обеспечить более эффективную энергосберегающую работу производственных машин и агрегатов.

Наиболее широкое распространение в электроприводах получили простые в устройстве и надежные в эксплуатации асинхронные короткозамкнутые двигатели. Асинхронный двигатель (АД) в системах регулируемого частотного электропривода работает в перемежающихся режимах с последовательной сменой периодов работы с неизменной нагрузкой на одной частоте вращения, периодами работы на другой частоте вращения, с иной, но также неизменной нагрузкой соответствующей этой частоте. При анализе работы АД в таких режимах можно использовать значительный опыт по исследованию переходных процессов в асинхронных машинах. Однако в рассматриваемых электроприводах двигатели имеют переменные частоты вращения, переменные электромагнитные нагрузки, переменные параметры схем замещения в различных нагрузочно-регулирующих точках. При этом наблюдается также нелинейность параметров схемы замещения, связанная с действием различных факторов, влияющая на работу АД как в установившихся, так и в переходных режимах. Основными из этих факторов являются насыщение магнитной цепи и вытеснение токов.

Математическая модель для исследования переходных процессов представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами

$$u_{s\alpha} = i_{s\alpha} \cdot r_s + \frac{d\Psi_{s\alpha}}{dt};$$

$$u_{s\beta} = i_{s\beta} \cdot r_s + \frac{d\Psi_{s\beta}}{dt};$$

$$\begin{aligned}
u_{r\alpha} &= i_{r\alpha} \cdot r_r + \frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} + \omega_r \cdot \Psi_{r\beta}; \\
u_{r\beta} &= i_{r\beta} \cdot r_r + \frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} - \omega_r \cdot \Psi_{r\alpha}; \\
\frac{m \cdot p}{2} (\Psi_{s\alpha} i_{s\beta} - \Psi_{s\beta} i_{s\alpha}) &= \frac{J}{p} \cdot \frac{d\omega_r}{dt} \pm M_c.
\end{aligned} \tag{1}$$

где  $u_{s\alpha}$ ,  $u_{s\beta}$ ,  $u_{r\alpha}$ ,  $u_{r\beta}$  – напряжения соответственно на статорной и роторной обмотках по осям  $\alpha$  и  $\beta$ ;  $\Psi_{s\alpha}$ ,  $\Psi_{s\beta}$ ,  $\Psi_{r\alpha}$ ,  $\Psi_{r\beta}$  – соответствующие потокосцепления обмоток статора и ротора;  $i_{s\alpha}$ ,  $i_{s\beta}$ ,  $i_{r\alpha}$ ,  $i_{r\beta}$  – токи в статорных и роторных обмотках;  $\omega_r$  – угловая частота вращения вала;  $p$  – число пар полюсов;  $m$  – число фаз двигателя ( $m=3$ );  $J$  – суммарный момент инерции привода, приведенный к валу двигателя;  $M_c$  – момент сопротивления механизма. Выражения, связывающие токи и потокосцепления, имеют вид

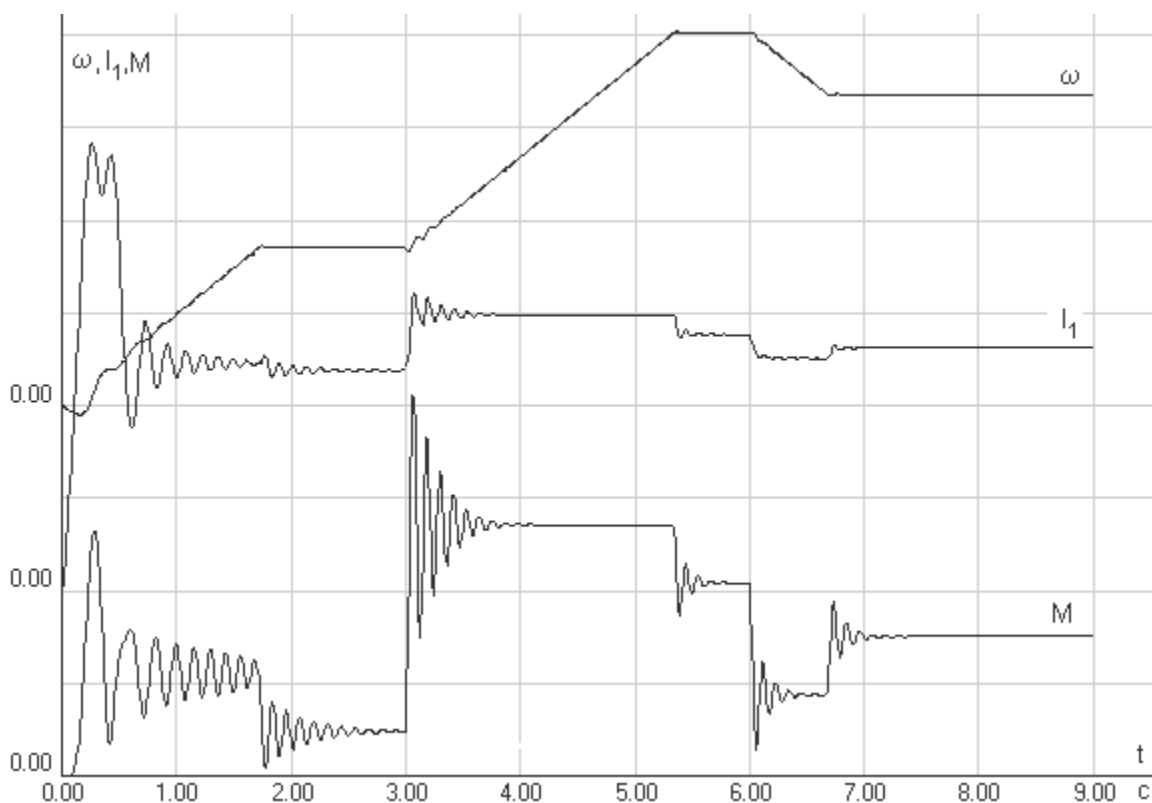
$$\begin{aligned}
i_{s\alpha} &= \frac{\Psi_{s\alpha} \cdot X_r - \Psi_{r\alpha} \cdot X_M}{X_s \cdot X_r - X_M^2} \\
i_{s\beta} &= \frac{\Psi_{s\beta} \cdot X_r - \Psi_{r\beta} \cdot X_M}{X_s \cdot X_r - X_M^2} \\
i_{r\alpha} &= \frac{\Psi_{r\alpha} \cdot X_s - \Psi_{s\alpha} \cdot X_M}{X_s \cdot X_r - X_M^2} \\
i_{r\beta} &= \frac{\Psi_{r\beta} \cdot X_s - \Psi_{s\beta} \cdot X_M}{X_s \cdot X_r - X_M^2}
\end{aligned} \tag{2}$$

где  $X_s$  – полное индуктивное сопротивление обмотки статора;  $X_r$  – полное индуктивное сопротивление обмотки ротора;  $X_M$  – индуктивное сопротивление цепи намагничивания двигателя. Подставляя выражения (2) в систему (1), получаем систему дифференциальных уравнений (3), решая которую возможно определить потокосцепления обмоток статора и ротора. Используя найденные потокосцепления, определяются токи в обмотках статора и ротора, электромагнитный момент, частота вращения и другие величины, характеризующие работу асинхронного двигателя в неустановившихся режимах

$$\begin{aligned}
u_{s\alpha} &= \frac{\Psi_{s\alpha} \cdot X_r - \Psi_{r\alpha} \cdot X_M}{X_s \cdot X_r - X_M^2} \cdot r_s + \frac{d\Psi_{s\alpha}}{dt} \\
u_{s\beta} &= \frac{\Psi_{s\beta} \cdot X_r - \Psi_{r\beta} \cdot X_M}{X_s \cdot X_r - X_M^2} \cdot r_s + \frac{d\Psi_{s\beta}}{dt} \\
0 &= \frac{\Psi_{r\alpha} \cdot X_s - \Psi_{s\alpha} \cdot X_M}{X_s \cdot X_r - X_M^2} \cdot r_r + \frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} + \omega_r \cdot \Psi_{r\beta} \\
0 &= \frac{\Psi_{r\beta} \cdot X_s - \Psi_{s\beta} \cdot X_M}{X_s \cdot X_r - X_M^2} \cdot r_r + \frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} - \omega_r \cdot \Psi_{r\alpha} \\
\frac{d\omega_r}{dt} \cdot \frac{J}{p} \pm M_c &= \frac{m \cdot p}{2} \cdot \frac{\Psi_{s\alpha} \cdot (\Psi_{s\beta} \cdot X_r - \Psi_{r\beta} \cdot X_M) - \Psi_{s\beta} \cdot (\Psi_{s\alpha} \cdot X_r - \Psi_{r\alpha} \cdot X_M)}{X_s \cdot X_r - X_M^2}
\end{aligned} \tag{3}$$

Уравнения равновесия трехфазного двигателя в системах (1) и (3) записаны в двухфазных координатах. Такой переход от симметричной трехфазной машины к эквивалентной двухфазной рекомендован в [1] для упрощения уравнений и сокращения их числа в системе, в отличие представления уравнений в реальных фазовых координатах. Современные частотные преобразовательные устройства, работающие по принципу широтно-импульсной модуляции с высокой частотой коммутации, обеспечивают на выходе напряжение, близкое к синусоиде, и это даст возможность при анализе переходных процессов пренебрегать высшими гармоническими.

Как уже указывалось, в составе уравнений в системе (3) присутствуют нелинейные и периодические коэффициенты, которые необходимо определить для каждой нагрузочно-регулирующей точки. Поэтому до анализа переходных процессов следует провести расчет установившихся режимов с учетом вытеснения токов в роторе и насыщения магнитопровода и получить значения всех параметров схемы замещения для каждой точки регулирования. Для этого можно использовать математическую модель, описанную в [2]. Кроме того, при расчетах динамических режимов учитываются изменения в каждой точке работы регулируемого привода величины и частоты питающего напряжения. При нагрузках вентиляторного и тягового характеров изменяется и момент нагрузки, значение которого, соответствующее любой скорости привода, определяется по нагрузочной характеристике. Следовательно в системе (3) меняются все величины для каждой нагрузочно-регулирующей точки. За счет введения переменных значений коэффициентов обеспечивается повышение уровня адекватности математической модели реальным физическим процессам. Используя результаты расчета установившегося режима, рассчитывают динамические режимы при переходах с одних частот вращения на другие.



Динамика изменения  $\omega$ ,  $I_1$ ,  $M$ .

Математическая модель, построенная на базе вышеописанных дифференциальных уравнений, позволяет провести расчеты частоты вращения, токов в фазах обмоток, электромагнитного момента, потерь, электромагнитных нагрузок, энергетических показателей в основных динамических режимах (пуск, реверс, торможение, переход с одной скорости на другую) и оценить длительность переходного процесса. Представляется возможным устанавливать требуемую интенсивность изменения частоты питания двигателя.

Рассматриваемые математические модели легли в основу расчетной программы, с помощью которой были выполнены теоретические исследования нестационарных режимов короткозамкнутого асинхронного двигателя 4А160А4У3, работающего в частотном электроприводе при законе управления  $U/f = \text{const}$ , с определенной вентиляторной нагрузкой. На рисунке представлены результаты теоретических исследований нестационарных режимов при переходе в заданном диапазоне регулирования на различные скорости.

Кроме традиционного рассмотрения таких параметров, как электромагнитного момента машины, токов в обмотках, скорости вращения, представляется возможным рассмотрение потребляемой мощности, КПД, коэффициента мощности, составляющих электрических потерь в динамике. Наиболее важным для дальнейшего анализа теплового состояния АД является рассмотрение изменения потерь в неустановившихся режимах. Впоследствии полученные результаты можно использовать в расчетах температур перегревов конструктивных частей АД.

1. Копылов И.П. *Математическое моделирование электрических машин*. М., 1987.
2. Лысенко С.И., Петрушин В.С., Слободниченко Б.И. *Математическая модель асинхронного короткозамкнутого двигателя при частотном регулировании // Технічна електродинаміка: Спец. вип. 1998. С.31–35.*

УДК 621.313.333.004

**Петрушин В.С., Якимец А.М., Рябинин С.В.**

Одесский государственный политехнический университет

## **РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУР КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ**

© Петрушин В.С., Якимец А.М., Рябинин С.В., 2000

**Оприділена теплова математична модель асинхронного двигуна в перехідних режимах. Одержані залежності зміни температури елементів асинхронного двигуна під час роботи в частотно регульованому електроприводі за певною тахопрограмою.**

Эксплуатационная надежность электрической машины определяется ее тепловым состоянием. Тепловая энергия, выделяемая в машине при работе, может вызвать недопустимое повышение температуры ее конструктивных элементов, снижение электрической и