

Магистрант ЭФ Н.Д. Джураева,
науч. рук. д.т.н., проф. К.Т. Алимходжаев, ТашГТУ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ПУСКА

В статье рассматривается математическая модель асинхронной машины в режиме пуска. Показано, что при проектировании электрической машины, работающей в переходном режиме, разработанная математическая модель асинхронного двигателя, используемая в указанном режиме позволяет, рассчитать потери и распределение активной и реактивной мощности, составить описывающие их уравнения, преобразовать к удобному виду для применения ЭВМ. Приведено моделирование уравнений асинхронного двигателя в структурной схеме в относительных единицах для ПК в среде MatLab с помощью SIMULINK.

Мақолада асинхрон машинанинг математик модели келтирилган. Ұтиш режимида ишлаётган электр машиналарини лойихалаида, исрофларни хисоблаш, актив ва реактив қувватлар тарқалишини, уларни тенгламаларини тузиш, ЭХМда моделлаш учун тенгламаларни қулай кўринишга келтирилган. АД тенгламаларини моделлаш учун ЭХМда SIMULINK ёрдамида MatLab дастурида нисбий бирликларда қилинди.

Mathematical model of the anisochronous machine is brought In article in mode of the starting. When designing the electric machine, working in connecting mode, it is important it is correct to calculate the loss and distribution active and reactive power, form describing their equations, convert to suitable type for modeling on COMPUTER. Modeling of the equations HELL were provided in structured scheme in relative unit for PC in ambience MatLab by means of SIMULINK.

Математическая модель электрической машины – это система уравнений, описывающих процессы электромеханического преобразования энергии с допущениями, обеспечивающими необходимую точность решения для рассматриваемой задачи. Математические модели электрических машин широко используются для исследования электромеханических систем благодаря применению аналоговых и цифровых вычислительных машин. В настоящее время созданы модели, позволяющие исследовать практически любые задачи, встречающиеся в электромашиностроении [1].

Несмотря на бесконечное конструктивное разнообразие индуктивных электрических машин все электрические машины с круговым полем в воздушном зазоре можно свести к обобщенной электрической машине. Обобщенная электрическая машина – это идеализированная двухполюсная машина с двумя парами обмоток на статоре и роторе. В ней энергия магнитного поля сосредоточена в воздушном зазоре и имеет синусоидальное поле. В воздушном зазоре обобщенной машины вращающееся магнитное поле может создаваться обмотками статора и ротора. Напряжения статора и ротора создают сдвинутые во времени токи, а за счет пространственного сдвига обмоток в зазоре создается вращающееся поле.

Как в машинах переменного, так и в машинах постоянного тока многофазная симметричная обмотка приводится к двухфазной, которая и рассматривается в обобщенной электрической машине. Процессы преобразования энергии в многополюсных машинах приводятся к процессам в двухполюсной машине.

Дифференциальные уравнения, описывающие переходные и установившиеся процессы в обобщенной машине в естественных или фазовых не преобразованных координатах, имеют вид

$$\left. \begin{aligned} u_a^s &= i_a^s r_a^s + d\Psi_a^s/dt; \\ u_b^s &= i_b^s r_b^s + d\Psi_b^s/dt; \\ -u_a^r &= i_a^r r_a^r + d\Psi_a^r/dt; \\ -u_b^r &= i_b^r r_b^r + d\Psi_b^r/dt; \end{aligned} \right\} (1)$$

В (1) потокосцепление обмоток

$$\left. \begin{aligned} \Psi_a^s &= L_a^s i_a^s + M(\cos\Theta) i_a^r + M(\sin\Theta) i_b^r; \\ \Psi_b^s &= L_b^s i_b^s + M(\cos\Theta) i_b^r + M(\sin\Theta) i_a^r; \\ \Psi_b^r &= L_b^r i_b^r + M(\cos\Theta) i_b^s + M(\sin\Theta) i_a^s; \\ \Psi_a^r &= L_a^r i_a^r + M(\cos\Theta) i_a^s - M(\sin\Theta) i_b^s; \end{aligned} \right\} (2)$$

В (1) и (2) $u_a^s, u_b^s, u_a^r, u_b^r$ – напряжения обмотках статора и ротора ; $i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r$ - токи в обмотках статора и ротора; $r_a^s, r_b^s, r_a^r, r_b^r$ – активные сопротивления обмоток статора и ротора; M - взаимная индуктивность между обмотками статора и ротора; Θ – угол между осями обмоток статора и ротора.

Если выполнить подстановку (1) в (2), то получаются громоздкие уравнения с периодическими коэффициентами. Для упрощения уравнений электромеханического преобразования энергии рассматривается псевдонеподвижная машина, в обмотку ротора которой вводится э.д.с. вращения. При этом в неподвижной и вращающейся машинах токи, активная и реактивные мощности остаются неизменными.

В неподвижной системе координат α, β – уравнения для обобщенной машины, выраженные через потокосцепления, выглядят следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} u_\alpha^s &= i_\alpha^s r_\alpha^s + d\Psi_\alpha^s/dt; \\ u_\beta^s &= i_\beta^s r_\beta^s + d\Psi_\beta^s/dt; \\ u_\alpha^r &= i_\alpha^r r_\alpha^r + d\Psi_\alpha^r/dt + \omega_r \Psi_\beta^r; \\ u_\beta^r &= i_\beta^r r_\beta^r + d\Psi_\beta^r/dt - \omega_r \Psi_\alpha^r; \end{aligned} \right\} (3)$$

Подставляя в (3) значения потокосцеплений, получим

$$\left. \begin{aligned} \Psi_\alpha^s &= L_\alpha^s i_\alpha^s + M i_\alpha^r; \\ \Psi_\beta^s &= L_\beta^s i_\beta^s + M i_\beta^r; \\ \Psi_\alpha^r &= L_\alpha^r i_\alpha^r + M i_\alpha^s; \\ \Psi_\beta^r &= L_\beta^r i_\beta^r + M i_\beta^s; \end{aligned} \right\} (4)$$

В (3) и (4) $u_\alpha^s, u_\beta^s, u_\alpha^r, u_\beta^r, i_\alpha^s, i_\beta^s, i_\alpha^r, i_\beta^r$ – соответственно напряжения и токи в обмотках статора и ротора по осям α и β ; $r_\alpha^s, r_\beta^s, r_\alpha^r, r_\beta^r$ – активные сопротивления обмоток статора и ротора; M - взаимная индуктивность; $L_\alpha^s, L_\beta^s, L_\alpha^r, L_\beta^r$ – полные индуктивности обмоток статора и ротора по осям α и β ; ω_r – угловая скорость ротора [2].

При исследовании электрических машин используются также уравнения, составленные на базе уравнений теории поля. Они дают возможность решать многие задачи статики. Однако при решении задач динамики уравнения обобщенного электромеханического преобразователя имеют большие преимущества. Развитие теории электрических машин долгое время шло по пути применения отдельно уравнений поля и теории цепей, тогда как наиболее плодотворным является их сочетание в математической модели [3].

Развитие современной теории электромеханического преобразования энергии позволяет составить математическое описание процессов преобразования энергии для любого случая, встречающегося в практике современного электромашиностроения.

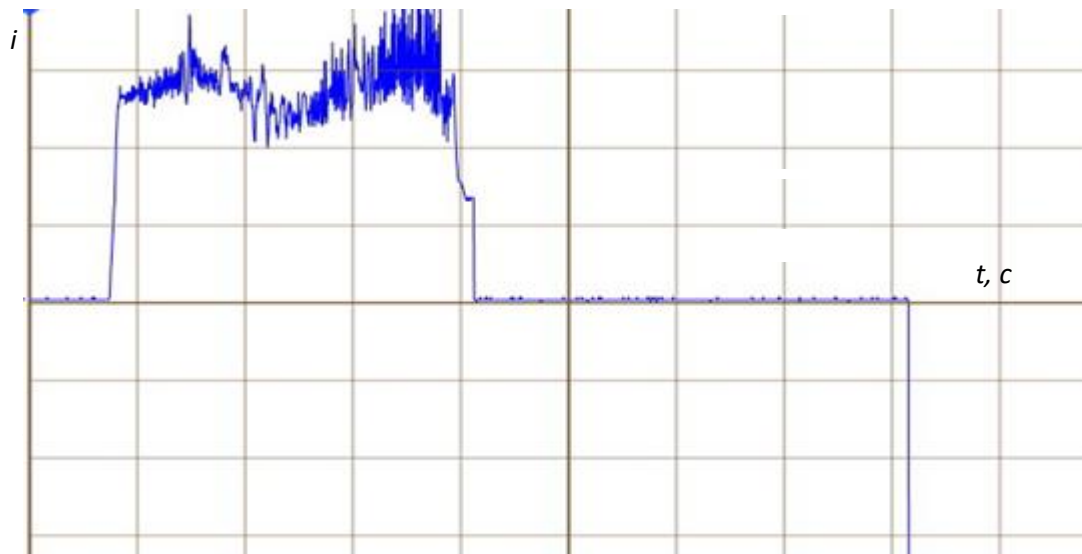


Рис.1. Осциллограмма пуска с устройством плавного пуска

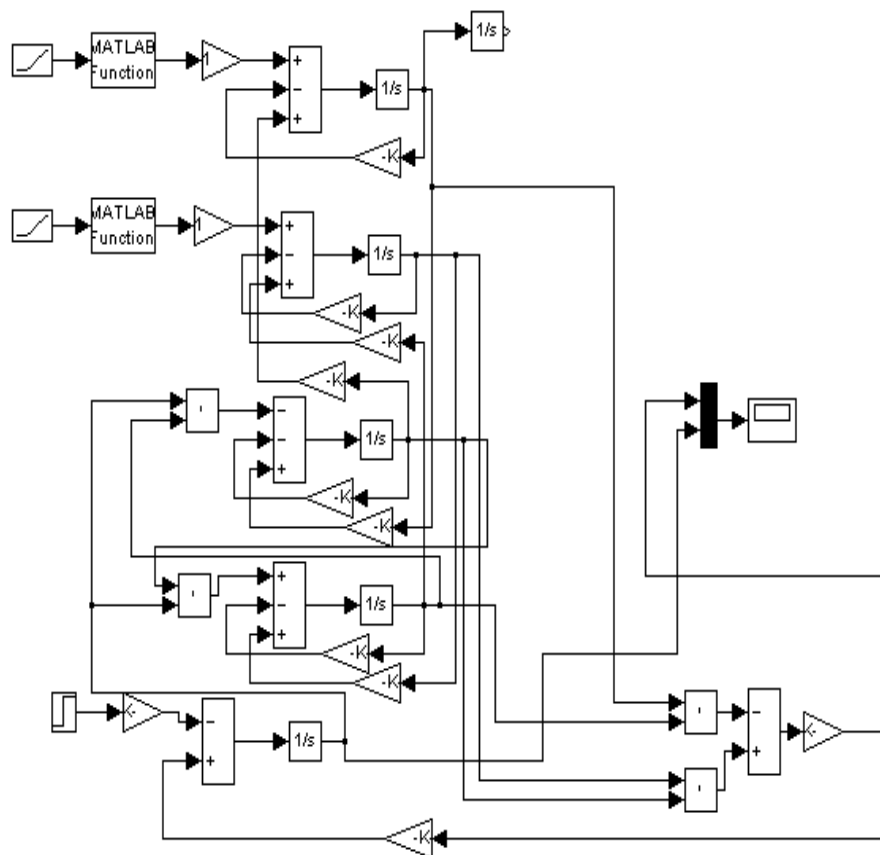


Рис.2. Структурная схема АД при пуске

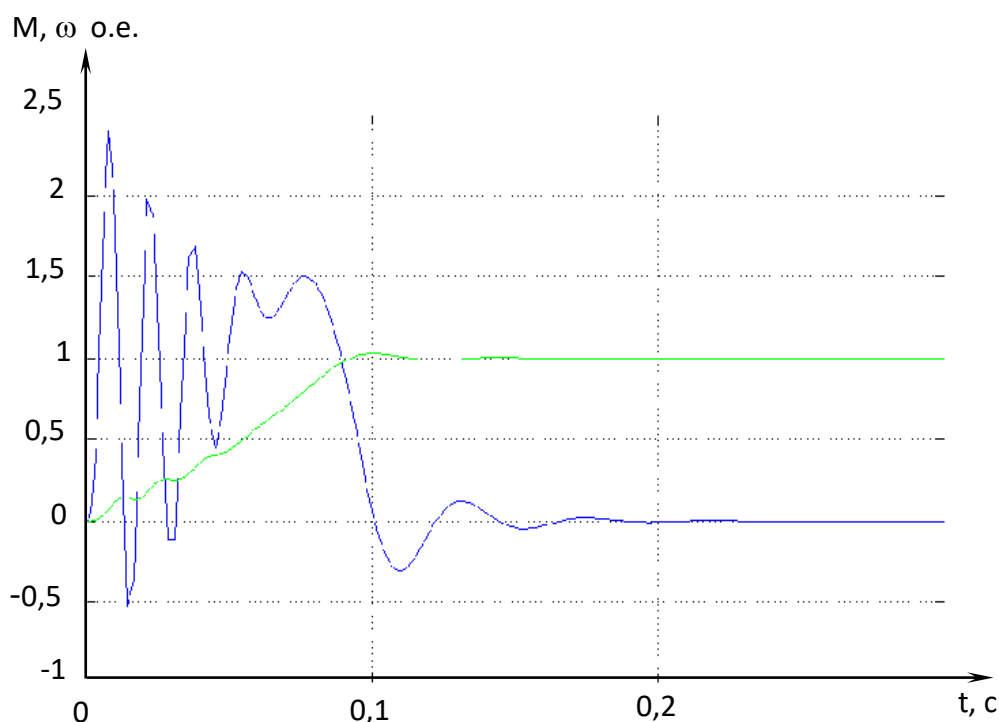


Рис. 3. Зависимости $M_s=f(t)$ и $\omega_r=f(t)$ при пуске

Наиболее общей математической моделью, позволяющей записать уравнения для бесконечного спектра гармоник и любого числа контуров на статоре и роторе, является модель обобщенного электромеханического преобразователя – двухфазной электрической машины с m обмотками на статоре и n обмотками на роторе.

Пусковые характеристики АД, то есть переходные процессы происходят при изменениях напряжений и частоты на выводах машины, а также нагрузки на валу, при включении машины и отключении ее от сети, реверсе, коротких замыканиях, при изменении ее параметров и т.п. В реальных условиях переходные процессы протекают при одновременном изменении нескольких факторов. Комбинации факторов, влияющих на динамику, могут быть весьма разнообразны (изменение напряжения, частоты и параметров, напряжения и нагрузки и т.д.), поэтому надо уметь выбрать «главное», не усложняя без необходимости задачу.

По важности из работ по проектированию ЭМ переходные процессы делятся на процессы при пуске, торможении, реверсе, повторном включении и изменении нагрузки. Эти процессы могут протекать при симметричных и несимметричных напряжениях в симметричных и несимметричных машинах. При проектировании ЭМ, работающих в переходных режимах, важно правильно рассчитывать потери и распределение активной и реактивной мощности.

На рис. 3 представлены зависимости $M_s=f(t)$ и $\omega_r=f(t)$ при пуске асинхронного двигателя АОЗ-24-4 мощностью 3 кВт, $2p=4$, $U=220$ В, когда нагрузка на валу равна нулю ($M_c=0$).

Как видно из рис. 3, в первые два - три периода токи в статоре и роторе имеют максимальные (ударные) значения, что и обуславливает максимальные значения электромагнитного момента. Затем токи затухают, колебания M_s сокращаются и значение угловой скорости ротора ω_r приближается к установившемуся. На рис.3 показаны результаты переходного процесса при пуске АД с помощью структурной схемы.

Таким образом, характер переходного процесса зависит от мощности двигателя, а точнее, от параметров, входящих в уравнение электромеханического преобразования энергии. Моделирование уравнений АД приведено в структурной схеме в относительных единицах для ПК в среде MatLab с помощью SIMULINK. Чтобы исследовать переходные процессы, необходимо составить описывающие их уравнения, преобразовать к виду, удобному для моделирования на ЭВМ, и решить их.

Математическая модель позволяет в 2-3 раза увеличить эффективность определения пускового режима асинхронного двигателя.

Литература

1. Копылов И.П. Проектирование электрических машин. -М.: Высшая школа, 2012. – 757 с.: ил.
2. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин.- М.: Высшая школа, 2011. – 318 с.
3. Бердиев У.Т., Пирматов Н.Б. Электромеханика.-Т.: Шамс-Аса, 2014.-385 б.

Н.Д.Джураева. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ПУСКА

Н.Д.Джураева. УТИШ РЕЖИМИДА АСИНХРОН МАШИНАНИНГ МАТЕМАТИК МОДЕЛИ

N.D.Djurayeva. MATHEMATICAL MODEL OF AN ASYNCHRONOUS MOTOR IN START-UP MODE