

Д.В. Барабанов, А.А. Пугачев  
(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСИНХРОННЫМ  
ДВИГАТЕЛЕМ И ИМПУЛЬСНО-КЛЮЧЕВЫМ  
РЕГУЛИРОВАНИЕМ СОПРОТИВЛЕНИЯ РОТОРА**

**SIMULATION OF ELECTRIC DRIVE WITH AN INDUCTION MOTOR  
AND ROTOR RESISTANCE PULSE CONTROL**

*Приведены результаты моделирования асинхронного двигателя с импульсно-ключевым регулированием сопротивления ротора и сравнительный анализ результатов моделирования математической модели и модели SimPowerSystem.*

*The results of modeling an induction motor with impulse-key regulation of the rotor resistance and a comparative analysis of the results of modeling the mathematical model and the SimPowerSystem model are presented.*

*Ключевые слова: асинхронный двигатель, система управления, импульсно-ключевое регулирование, сопротивление ротора, моделирование.*

*Keywords: induction motor, control system, pulse regulation, rotor resistance, simulation.*

Асинхронные двигатели являются основным потребителем электроэнергии в промышленном электроприводе. Проблема разработки регулируемого в широком диапазоне частоты вращения электропривода до сих пор не утратила своей актуальности [1]. В ряде случаев применение находят асинхронные двигатели с фазным ротором, у которых помимо традиционных методов регулирования, имеется возможность уменьшения частоты вращения за счет регулирования добавочного сопротивления в цепи ротора или применения схемы электропривода с двумя асинхронными двигателями, один из которых имеет поворотный статор [2, 3, 4]. Сравнивая два последних метода, можно заключить что регулирование добавочного сопротивления в цепи ротора обеспечивает управление частотой вращения в замкнутой системе в общем случае при лучшем массо-габаритных показателях.

Импульсно-ключевое регулирование добавочного сопротивления в роторной цепи в отличие от реостатного метода позволяют плавно и бесконтактно регулировать частоту вращения асинхронного двигателя. При применении этого метода управления можно регулировать частоту вращения в довольно широком диапазоне и получать требуемые механические характеристики.

На рис. 1, а приведены механические характеристики двигателя мощностью 15 кВт при естественном сопротивлении обмотки ротора и при

таком сопротивлении, которое обеспечивает равенство пускового и критического моментов. На рис. 1, б показаны механические характеристики при введении добавочного сопротивления в обмотку ротора с помощью неуправляемого выпрямителя и ключевого элемента, полученные в Matlab Simulink и SimPowerSystems. Математическая модель в Simulink собрана по дифференциальным уравнениям обобщенной электрической машины. Различия в полученных результатах объясняются появлением полупроводниковых устройств и возникшей из-за этого несинусоидальностью тока ротора.

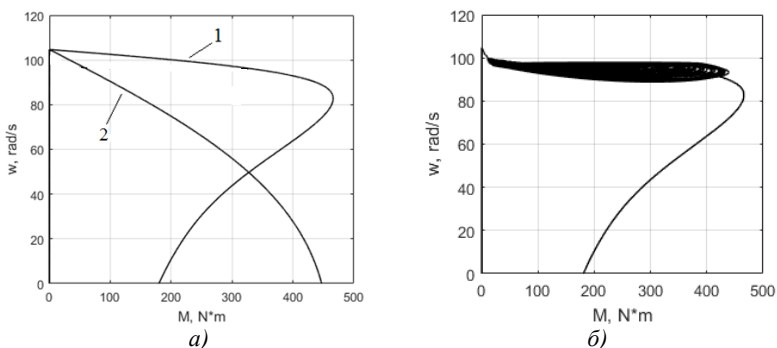


Рис. 1. Механические характеристики двигателя, 1 – при естественном сопротивлении обмотки ротора, 2 – при сопротивлении, которое обеспечивает равенство пускового и критического моментов

Функциональная схема асинхронного двигателя с импульсно-ключевым регулированием представлена на рис. 2.

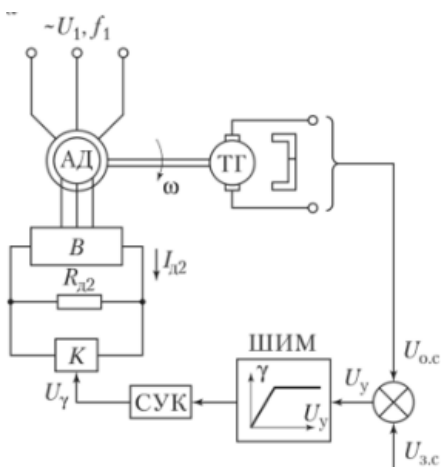


Рис. 2. Функциональная схема асинхронного двигателя с импульсно-ключевым регулированием скорости

В роторную цепь асинхронного двигателя (АД) включен неуправляемый трехфазный выпрямитель (В), к выходу которого подключен резистор  $R_{д2}$ . Параллельно резистору включен управляемый ключ К (коммутатор). Управление ключом происходит от широтно-импульсного модулятора (ШИМ), на вход которого поступают сигналы задания  $U_{з.с}$  и обратной связи  $U_{о.с}$  по скорости с датчика скорости (ТГ). После генерации ШИМ импульсов управления, эти импульсы с помощью схемы управления ключом (СУК) распределяются по тиристорам ключа и вызывают периодическое включение и закорачивание резистора  $R_{д2}$ .

Для возможности регулирования частоты вращения с заданной погрешностью в систему управления необходимо ввести регулятор, который можно рассчитать по формуле:

$$k_{pc} \geq \frac{U_{max} \cdot \Delta R}{k_{oc} \cdot \Delta \omega \cdot R_{max}},$$

где  $U_{max}$  – максимальное задание на частоту вращения;  $\Delta R$  – изменение добавочного сопротивления, обеспечивающего заданную погрешность регулирования частоты вращения  $\Delta \omega$ ;  $k_{oc}$  – коэффициент обратной связи по частоте вращения;  $R_{max}$  – добавочное сопротивление, обеспечивающее диапазон регулирования частоты вращения при максимальном моменте сопротивления.

На рис. 3 и 4 представлены результаты моделирования (на рис. 3: пуск произведен на холостом ходу, затем в 3 с момент сопротивления ступенчато увеличен до значения  $M_c = 0.7 \cdot M_n$ , в 3.5 с момент сопротивления ступенчато увеличен до значения  $M_c = M_n$ ; на рис. 4: пуск произведен при максимальном задании на частоту вращения и номинальном моменте сопротивления, в момент времени 3 с задание на частоту вращения ступенчато уменьшено до значения  $0.8 \cdot \omega_{max}$ , в момент времени 3.5 с момент сопротивления ступенчато уменьшен до значения  $M_c = 0.7 \cdot M_n$ ). Частота коммутации добавочного сопротивления 1 кГц.

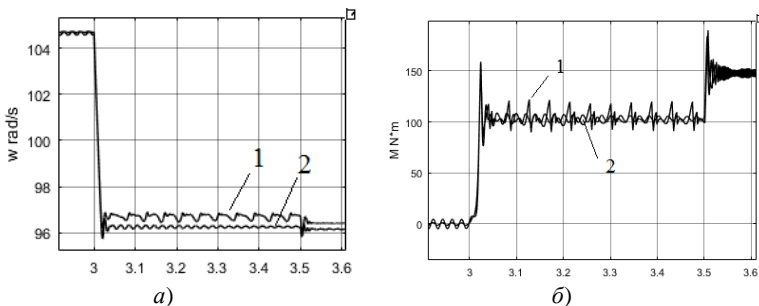


Рис. 3. Результаты моделирования электропривода (а – частота вращения, б – момент двигателя), 1 – модель SimPowerSystem, 2 – модель Simulink

Из рис. 3 и 4 очевидно, что система управления обрабатывает изменения нагрузки с малой погрешностью, не превышающей заданную (при расчете была задана ошибка 4 % от максимальной частоты вращения) и изменения задания на частоту вращения в заданном диапазоне 1:2. Колебания момента двигателя на графиках, полученных в SimPowerSystem, объясняются наличием полупроводников в обмотке ротора (рис. 2) и высокочастотной коммутацией добавочного сопротивления. В модели Simulink подобные явления отсутствуют. Слабое демпфирование колебаний частоты вращения связано с малым моментом инерции механической части (рисунки 3, а и 4, а).

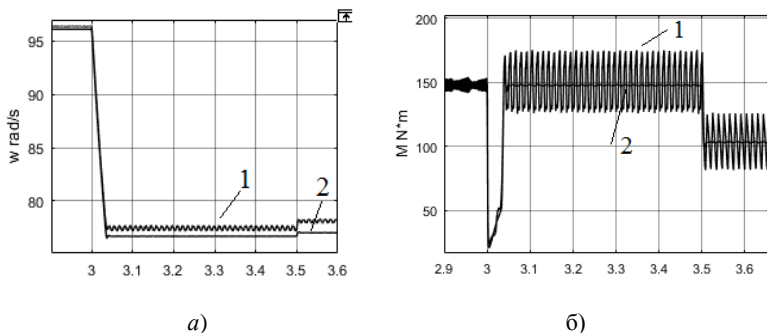


Рис. 4. Результаты моделирования электропривода (а – частота вращения, б – момент двигателя), 1 – модель SimPowerSystem, 2 – модель Simulink

Таким образом, моделирование электропривода с асинхронным двигателем и импульсно-ключевым регулированием сопротивления ротора подтвердило возможность применения данного метода для регулирования частоты вращения в нешироком диапазоне частот. Основными недостатками являются необходимость в наличии асинхронного двигателя с фазным ротором и рост потерь мощности при увеличении диапазона регулирования частоты вращения.

#### Список литературы

1. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, О. И. Осипов; под ред. В. М. Терехова. - Изд. 2-е, стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 304 с.
2. Космодамианский, А.С. Дифференциальные уравнения асинхронного электропривода с поворотным статором / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, А.А. Пугачев // НТТ – наука и техника транспорта, № 3 – 2008. – С. 50 – 55
3. Браславский, И.Я. О возможностях энергосбережения при использовании регулируемых асинхронных электроприводов / И.Я. Браславский // Электротехника – 1998г. – № 8. – С. 2 – 6.
4. Космодамианский, А.С. Электроприводы вспомогательных механизмов подвижного состава / А.С. Космодамианский [и др.] // Технические, экономические и экологические проблемы транспорта: материалы международной научной конференции, Брянск: БФ РГОТУПС, 2008. Т. 2. – С. 24 – 32.

Материал поступил в редколлегию 19.10.20.