

Моделирование электропривода рулевого управления

Д. М. Селюнин, В. В. Королев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
dselunin95@mail.ru, vvkorolev@etu.ru

Аннотация. В современном автомобиле применяется большое количество электроприводов: стеклоподъемников, центрального замка, сидений, стеклоочистителей, а также усилителей рулевого управления. В качестве электродвигателей в электроприводах в настоящее время чаще используются двигатели постоянного тока. Это обусловлено простотой их конструкции и дешевизной. Но они имеют ряд недостатков, такие как износ щеточно-коллекторного узла и низкий КПД, которые делают неэффективным их использование как с энергетической, так и с технической точки зрения. Вентильно-индукторные двигатели лишены этих недостатков. Статья посвящена моделированию в среде Matlab Simulink электропривода с вентильно-индукторным двигателем для рулевого управления автомобилем.

Ключевые слова: электропривод; рулевое управление; моделирование

Основными для составления модели вентильно-индукторного двигателя являются уравнения:

- электрических цепей:

$$u_k = i_k \cdot R_k + \frac{d\Psi_k}{dt}, \quad (1)$$

где u_k , i_k , R_k , Ψ_k – напряжения, токи, сопротивления и потокосцепления фазы вентильно-индукторного двигателя; t – время;

- для мгновенного электромагнитного момента:

$$M = \left(\frac{dW'}{d\theta} \right) \Big|_{i=\text{const}}$$

где W' – коэнергия, θ – угловая координата поворота ротора;

- движения:

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{M - M_c}{J}$$

где Ω – угловая частота вращения ротора, M_c – момент сопротивления нагрузки, J – момент инерции вращающихся частей.

Характеристики магнитной цепи двигателя являются исходными данными для модели и определяются заранее помощью расчета в двумерном пространстве магнитного поля методом конечных элементов. Учитывая, что $L = \Psi/i$, перепишем уравнение (1):

$$\begin{aligned} u &= iR + \frac{d\Psi}{dt} = iR + \frac{d(Li)}{dt} = iR + i \frac{dL}{dt} + L \frac{di}{dt} = \\ &= iR + i \frac{dL}{d(\theta/\Omega)} + L \frac{di}{d(\theta/\Omega)} = iR + i\Omega \frac{dL}{d\theta} + L\Omega \frac{di}{d\theta} \end{aligned}$$

Для его решения можно воспользоваться численными методами, но из-за трудоемкости их программирования используем высокодискретную модель, заменив производные на отношения приращений:

$$u = iR + L\Omega \frac{\Delta i}{\Delta \theta} + i\Omega \frac{\Delta L}{\Delta \theta}$$

где $\Delta i = i_n - i_{n-1}$; $\Delta L = L_n - L_{n-1}$; $\Delta \theta = \theta_n - \theta_{n-1}$; n , $n-1$ – границы исследуемого интервала.

Расчет производится при изменении угловой координаты от нуля (рассогласованное положение осей зубцов статора и ротора) до 30° (согласованное положение).

Перепишем уравнение следующим образом:

$$u_n = i_n R + L_n \Omega \frac{i_n - i_{n-1}}{\theta_n - \theta_{n-1}} + i_n \Omega \frac{L_n - L_{n-1}}{\theta_n - \theta_{n-1}}$$

Выражение для тока на шаге n :

$$i_n = \frac{\frac{u_n}{\Omega} + \frac{L_n}{\theta_n - \theta_{n-1}} i_{n-1}}{\frac{R}{\Omega} + \frac{2L_n - L_{n-1}}{\theta_n - \theta_{n-1}}}$$

Для определения потокосцеплений обмоток произведем расчет характеристики намагничивания для 10 значений магнитного потока в воздушном зазоре и 4 значений угла положения ротора. Полученные зависимости приведены на рис. 1.

Значения индуктивностей определяются по формуле:

$$L_{i,j} = \frac{\Psi_{i,j}}{i_j}$$

Кривые индуктивностей представлены на рис. 2.

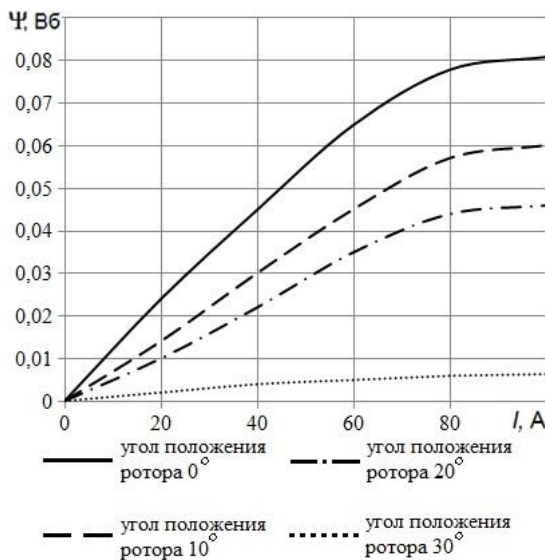


Рис. 1. Зависимость потокосцепления от тока при различных углах положения ротора

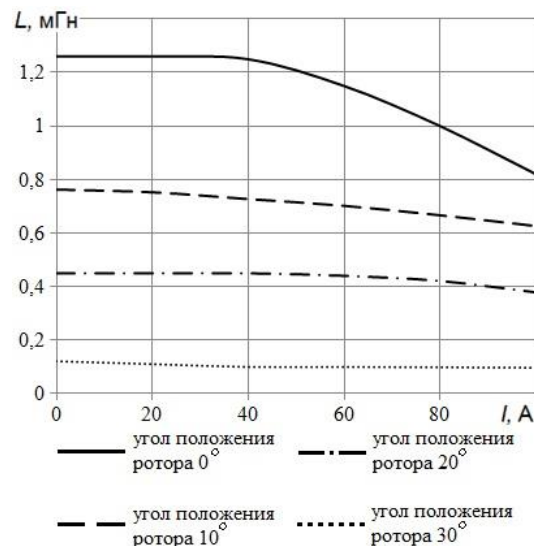


Рис. 2. Кривые индуктивностей

Результаты расчета вентильно-индукторного двигателя были систематизированы и занесены в модель Matlab Simulink, представленную на рис. 3.

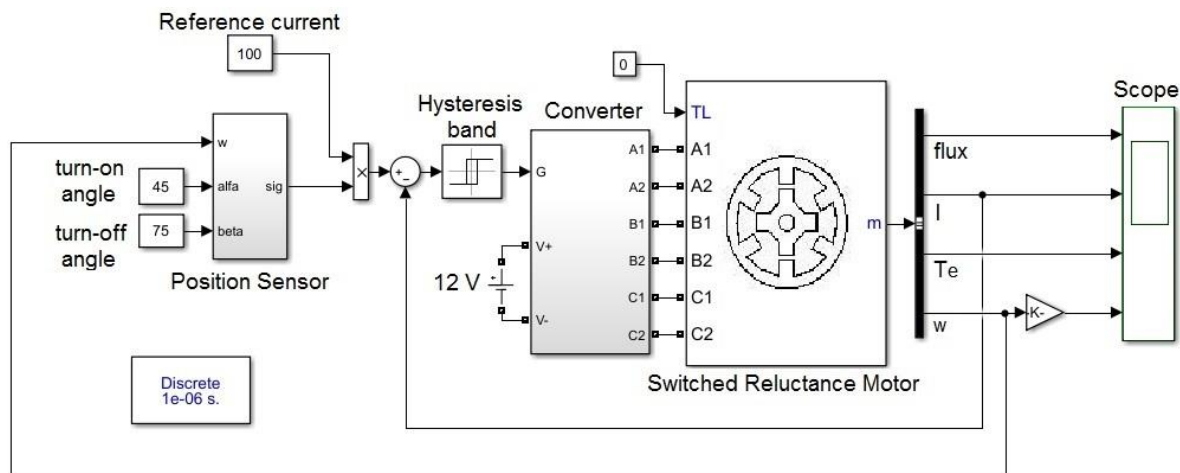


Рис. 3. Модель вентильно-индукторного электропривода

Для питания ВИД используется схема полумостового инвертора напряжения (Converter). Инвертор напряжения состоит из трех включенных параллельно фазных полумостов, каждый из которых содержит два несимметричных плеча, состоящих из IGBT транзистора и обратного диода, соединенных последовательно. В качестве источника постоянного напряжения используется аккумуляторная батарея с напряжением 12 В.

Модель подсистемы «Position_Sensor» представлена на рис. 4. Сигнал на входе приводится к диапазону от 0 до 90° в блоке mod и сравнивается с углами включения и выключения преобразователя (turn-on angle и turn-off angle

соответственно). В случае выполнения обоих условий логического И, на выходе формируется управляющий сигнал для транзисторов инвертора.

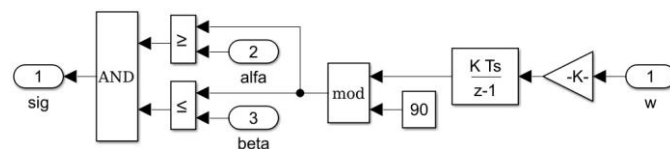


Рис. 4. Подсистема «Position Sensor»

В элементе «Hysteresis Band» происходит сравнение тока уставки «Reference current» с фазным током. В случае

если фазный ток ниже тока уставки, то на выходе элемента формируется логическая единица, если выше – логический ноль.

Электрическая часть электропривода (рис. 5) основана на характеристике намагниченности, состоящей из

нескольких кривых намагничивания и характеристике крутящего момента (TTBL, рис. 5), вычисленной по кривым намагничивания. Двумерная таблица «ITBL» отражает зависимость тока от потокоцепления и угла положения ротора и представляет собой зависимость, обратную изображенной на рис. 1.

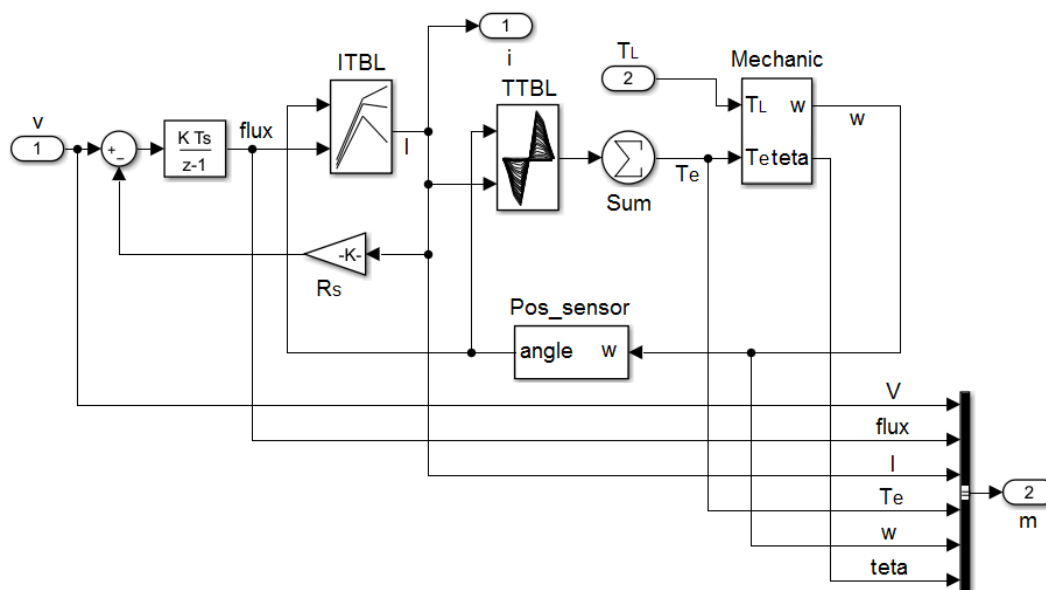


Рис. 5. Электрическая часть электропривода

Характеристики вентильно-индукторного электропривода (потокоцепление обмоток, токи обмоток, суммарный момент трех фаз) при углах включения и углах выключения преобразователя 45 и 75° соответственно приведены на рис. 6.

при различных законах управления и углах включения и выключения преобразователя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Королев В.В. Система электромеханического усилителя рулевого управления автомобиля: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тольятти, 2005. 188 с.
- [2] Дискретная математическая модель электромеханического усилителя руля с ВИД / Королев В.В. // В сб.: Энергетика: состояние, проблемы, перспективы, Труды VII Всероссийской научно-технической конференции. Материалы сборника опубликованы в авторской редакции, 2014. С. 199–202.
- [3] Вентильно-индукторные электромеханические преобразователи в современном автомобиле / Королев В.В. // Материалы международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ». Книга I, Москва / МГТУ «МАМИ», 2010.
- [4] Перспективы применения электроусилителей рулевого управления / Королев В.В. // В сборнике: Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии, Труды II Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, 2007. С. 51–59.
- [5] Королев В.В., Ермаков В.В., Перминов А.С. Система электромеханического усилителя рулевого управления // Автотракторное электрооборудование. 2004. № 3. С. 14–17.
- [6] Ермаков В.В., Королев В.В. Вентильно-индукторный привод для электроусилителя руля // Автотракторное электрооборудование. 2004. № 12. С. 26–28.
- [7] Козловский В.Н., Королев В.В., Малеев Р.А. Поиск и оценка ключевых параметров электромеханического усилителя рулевого управления с двигателем постоянного тока // Грузовик. 2009. № 2. С. 21–23.

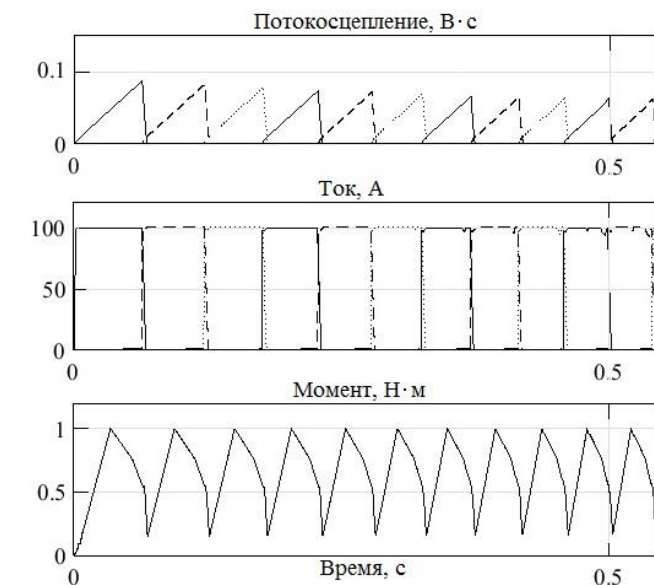


Рис. 6. Характеристики вентильно-индукторного электропривода

Разработанная модель вентильно-индукторного электропривода позволяет исследовать его характеристики