

налов. Для построения предсказателя (DPD) применяются разные математические модели (многочленные полиномы, нейронные сети, регрессионные

структуры) [4]–[6]. Аппаратная реализация DPD выполняется на базе цифровой техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Legarda J. Feedforward amplifiers for wideband communication systems. The Netherlands, Dordrecht: Springer, 2006.
2. Dawson J. L., Lee T. H. Feedback linearization of RF power amplifiers. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004.
3. Cripps S. C. RF Power amplifiers for wireless communications. London: Artech House, Inc., 2006.
4. Guan L., Zhu A. Green communications: digital predistortion for wideband RF power amplifiers // IEEE Microwave Magazine. 2014. Vol. 15, № 7. P. 84–99.
5. Соловьева Е. Б. Декомпозиция кусочно-полиномиальной модели предсказателя для усилителя мощности // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 2015. № 2. С. 54–60.
6. Соловьева Е. Б. Полиномиальные и нейронные модели нелинейных дискретных систем. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014.
7. Grebennikov A., Sokal N. O., Franco M. J. Switch-mode RF and Microwave Power Amplifiers. UK: Elsevier Inc., 2012.
8. Kazimierczuk M. K. RF Power Amplifiers. USA: John Wiley & Sons Ltd., 2008.

Е. В. Соловьева

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

METHODS OF POWER AMPLIFIER CHARACTERISTIC LINEARIZATION

Highly effective amplification systems providing a low level of nonlinear distortions in power amplifiers with high efficiency are described. The classification and comparative analysis of the power amplifier linearization methods are represented.

Power amplifier, nonlinear distortion, linearization

УДК 621.34

Л. П. Козлова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Построение прецизионного электропривода с вентильным двигателем

Рассмотрено современное состояние прецизионного электропривода с вентильными двигателями. Для элементарной модели приведена структура и математическая модель, выполнено исследование в MatLab Simulink.

Вентильный двигатель, математическая модель, прецизионный электропривод

Основными потребителями электроэнергии в настоящее время являются электродвигатели, поэтому задача оптимального управления ими весьма актуальна не только с технологической точки зрения, но и с точки зрения энергосбережения. Во многих развитых странах широко внедряют высокотехнологичную электротехническую продукцию, позволяющую снижать энергопотребление и создавать электротехнические комплексы с низким уровнем потерь и целым рядом новых качеств.

Для решения задач контролируемого движения в современных прецизионных системах все чаще применяются вентильные двигатели. Они обеспечивают наиболее высокие плотность длительного момента (момент в единице объема) и энергетическую эффективность по сравнению с любым другим типом двигателя; у них хорошее соотношение между весом/размером и мощностью, отличные характеристики ускорения, они практически не требуют технического обслужи-

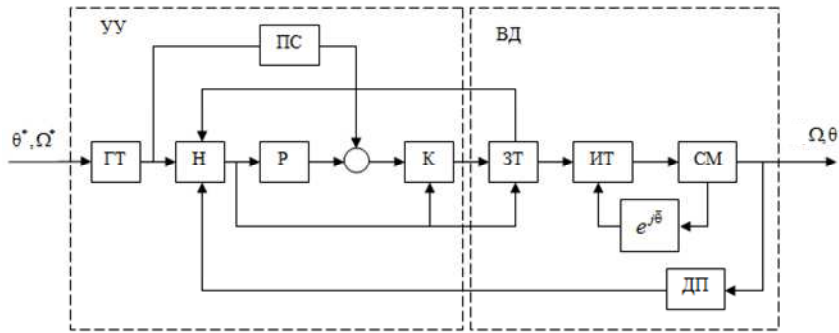


Рис. 1

вания и генерируют меньше акустического и электрического шумов по сравнению с универсальными (щеточными) электродвигателями постоянного тока.

На рис. 1 представлена структурная схема прецизионного электропривода с вентильным двигателем ВД [см. лит.].

ВД состоит из синхронной машины СМ, датчика положения ДП, инвертора тока ИТ и модуля задания тока ЗТ.

Управляющее устройство УУ включает генератор траектории ГТ; наблюдатель Н механических координат, восстанавливающий неизмеряемые механические переменные состояния; регулятор Р, вырабатывающий сигнал регулирования; прямую связь ПС, реализующую комбинированное управление подачей программного динамического момента от генератора траектории; корректор К, преобразующий задание динамического момента идеальной машины.

Главной особенностью вентильных приводов ВП служат нелинейные зависимости момента фазы M_j от угла поворота ротора θ , фазных токов i_j , в свою очередь, фазные токи являются функциями фазного напряжения U_j , собственных $L_j(\theta)$ и взаимных $L_{M_j, j+1}(\theta)$ индуктивно-

стей обмоток. Фазные токи являются функциями фазного напряжения и собственной индуктивности, а также взаимной индуктивности обмоток и токов «соседних» фаз. Собственные и взаимные индуктивности зависят от угла поворота ротора. Угол поворота ротора определяется моментом двигателя M_Σ и моментом нагрузки M_c , который, в свою очередь, зависит от частоты вращения ω и угла поворота θ .

Таким образом, динамику привода можно записать в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений

$$U_j = 2i_j + \frac{d\Psi_j(\theta, i_j)}{dt} + \frac{d\Psi_{j, j+1}(\theta, i_{j+1})}{dt} + \frac{d\Psi_{j, j-1}(\theta, i_{j-1})}{dt},$$

где j – номер фазы; $\Psi_j = i_j L_j(\theta)$ – собственное потокосцепление j -й фазы; $\Psi_{j, j\pm 1} = i_{j\pm 1} \times L_{M_j, j\pm 1}(\theta)$ – взаимное потокосцепление j -й и $(j \pm 1)$ -й фаз соответственно.

В свою очередь потокосцепление можно описать следующими уравнениями:

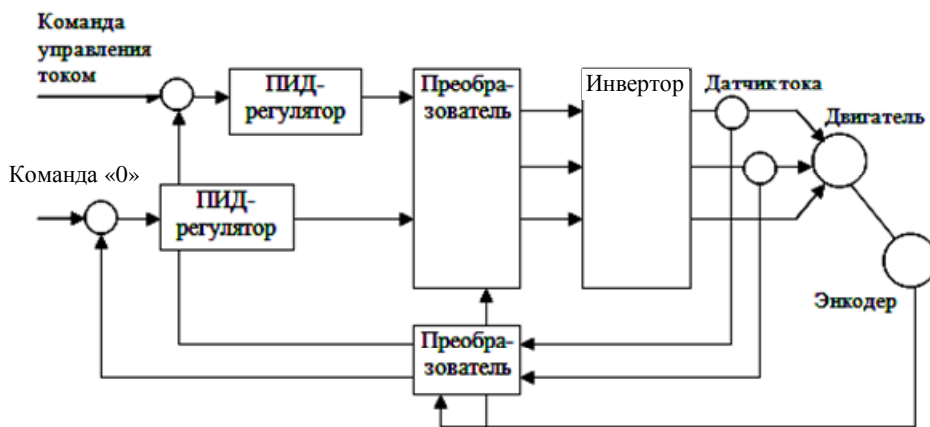


Рис. 2

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= L_1 i_1 + m_{12} i_2 + m_{13} i_3 - \Phi w_1 e \cos \vartheta; \\ \Psi_2 &= L_2 i_2 + m_{21} i_1 + m_{23} i_3 - \Phi w_1 e \cos (\vartheta - 2\pi/3); \\ \Psi_3 &= L_3 i_3 + m_{31} i_1 + m_{32} i_2 - \Phi w_1 e \cos (\vartheta + 2\pi/3). \end{aligned}$$

Математическая модель электромеханической системы с вентильным электродвигателем имеет следующий вид:

1) уравнения фазных токов:

$$\begin{aligned} \frac{3}{2} L \frac{di_1}{dt} + i_1 R + \left(\frac{3}{\pi}\right)^2 p k_{01} \Phi w_1 \Omega \sin \vartheta &= \\ &= \frac{\sqrt{3}}{\pi} U_u \sin (\vartheta + \beta_0 \operatorname{sign} U_u), \\ \frac{3}{2} L \frac{di_2}{dt} + i_2 R + \left(\frac{3}{\pi}\right)^2 p k_{01} \Phi w_1 \Omega \sin \left(\vartheta - \frac{2}{3} \pi\right) &= \\ &= \frac{\sqrt{3}}{\pi} U_u \sin \left(\vartheta + \beta_0 \operatorname{sign} U_u - \frac{2}{3} \pi\right), \\ \frac{3}{2} L \frac{di_3}{dt} + i_3 R + \left(\frac{3}{\pi}\right)^2 p k_{01} \Phi w_1 \Omega \sin \left(\vartheta + \frac{2}{3} \pi\right) &= \\ &= \frac{\sqrt{3}}{\pi} U_u \sin \left(\vartheta + \beta_0 \operatorname{sign} U_u + \frac{2}{3} \pi\right); \end{aligned}$$

2) уравнение механического равновесия:

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

3) выражение для угла поворота ротора в электрических радианах:

$$\vartheta = \vartheta_0 + p \int_0^t \Omega dt.$$

где L – эквивалентная индуктивность фазы; i_1, i_2, i_3 – мгновенные значения фазных токов; R – активное сопротивление фазы; p – число пар

полюсов; k_{01} – коэффициент обмотки; Φ – полный поток в зазоре на пару полюсов; w_1 – число витков фазы; Ω – частота вращения ротора; ϑ – угол поворота ротора; U_u – напряжение источника постоянного тока; β_0 – угол опережения коммутации; M – мгновенное значение электромагнитного момента; M_c – момент нагрузки; J – момент инерции, приведенный к валу двигателя; ϑ_0 – начальный угол поворота ротора.

Современные ВД (рис. 2) стремятся изготавливать в едином корпусе с управляющей электроникой. Это позволяет решать возможные проблемы совместимости различных компонентов привода, а также их различных интерфейсов.

Поскольку зачастую невозможно однозначно определить характер нагрузки на валу, в этих случаях эффективно использовать fuzzy-регулятор скорости (рис. 3).

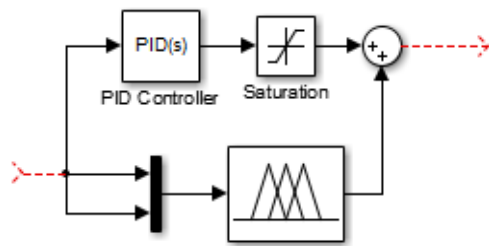


Рис. 3

Регулятор состоит из параллельно соединенных П-регулятора и fuzzy-регулятора. П-регулятор служит для создания основного управляющего сигнала для ШИМ инвертора.

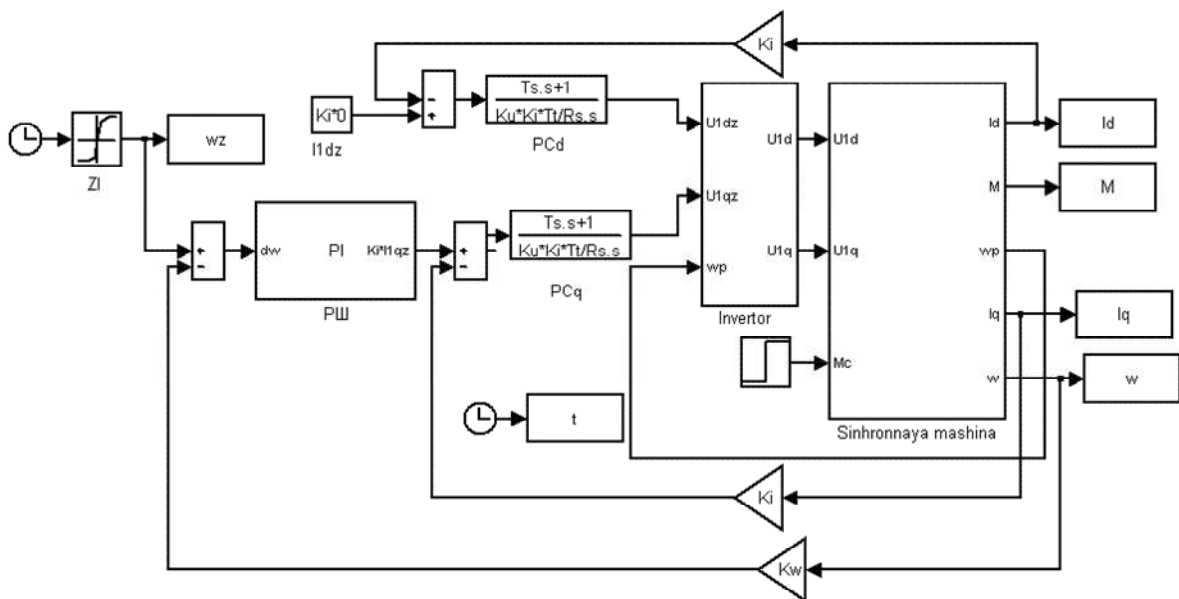


Рис. 4

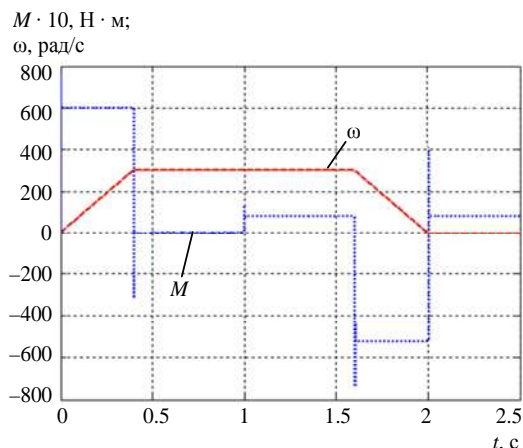


Рис. 5

Для работы fuzzy-регулятора используются два входных сигнала: отклонение скорости (ошибка) и производная отклонения. Так как fuzzy-регулятор имеет только один входной порт, обозначенные сигналы преобразуются в один векторный при помощи мультиплексора. Для создания fuzzy-регулятора были определены диапазоны его входных величин, а также термы и соответствующие им функции принадлежности.

На рис. 4 представлена модель прецизионного электропривода с ВД в MatLab Simulink, а на рис. 5 – результаты моделирования.

L. P. Kozlova
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

CONSTRUCTION PRECISION ELECTRIC DRIVE WITH BRUSHLESS MOTOR

The current state of precision electric drive with brushless motors. For elementary model shows the structure and mathematical model study performed in MatLab Simulink.

Valve motor, mathematical model, precision electric

УДК 621.3.051.025

Э. Р. Маннанов, А. Н. Рукавицын, С. А. Галунин, Т. П. Козулина
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Анализ и оптимальный выбор типа гибкой системы электропередачи переменного тока

Рассматриваются энергосбережение, повышение энергетической эффективности и оптимизация процедуры выбора типа гибкой системы электропередачи. На базе зарекомендовавших себя устройств разработаны алгоритм и программа для ЭВМ выбора устройств, позволяющих уменьшить трудозатраты проектных организаций, а также организаций, специализирующихся на проведении энергетических обследований.

Гибкие системы электропередачи, программа для ЭВМ, Smart Grid

К основным технологическим направлениям формирования электроэнергетических систем

Из полученных результатов видно что прецизионный электропривод с ВД имеет высокий запасаемый момент, хорошее ускорение при изменяющихся нагрузках, равномерность движения, что, несомненно, является достоинством.

Таким образом, вентильные двигатели обладают целым рядом преимуществ:

- большой перегрузочной способностью по моменту;
- высоким быстродействием,
- возможностью оптимизации режимов работы по скорости и нагрузке;
- наивысшими энергетическими показателями;
- высокой надежностью и повышенным ресурсом работы;
- низким перегревом электродвигателя, при работе в режимах с возможными перегрузками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Балковский А. Прецизионный электропривод с вентильным двигателем // Электронные компоненты. 2008. № 11. С. 32–43.

XXI в. можно отнести, прежде всего, повышение управляемости и, в конечном счете, переход к