

ВЕНТИЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С РЕГУЛИРУЕМОЙ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТОЙ

А.В. Бабичев

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГМ5А

В настоящее время все более широкое распространение приобретают безредукторные электропривода, работающие в режиме колебательного движения. Такой выбор объясняется рядом таких достоинств, как: устранение потерь энергии в добавочных механических звеньях преобразователя движения, уменьшения мощности управления и повышения безотказной работы всей системы [1].

В основном, для создания колебательного режима работы электропривода применяются такие же принципы управления, что и в следящих электроприводах, которые работают в режиме колебательного движения: питание переменным напряжением обмотки возбуждения для двигателя постоянного тока, использование разнообразных модуляций напряжения питания для двигателя переменного тока [2].

Самым перспективным способом возбуждения колебательного режима работы вентильного двигателя является применение линейной фазовой модуляции питающих напряжений обмоток статора. Как показали результаты практического внедрения таких электроприводов, фазовая модуляция даёт возможность получить плавный диапазон регулирования частоты, фазы, амплитуды и положение нейтрали возбуждаемых колебаний [1].

Для повышения эффективности использования вентильного электропривода колебательного движения рекомендуется в качестве оптимального режима работы использовать резонансный режим работы, когда собственная частота электропривода совпадает с частотой возбуждаемых колебаний. Последнее достигается за счёт введения в систему колебательного движения позиционной нагрузки в виде гидравлических, механических, а также пневматических упругих связей или электрической обратной связи по положению, выполняющей роль «фиктивной жесткости» пружины [2].

При исследовании режимов работы вентильного электропривода колебательного движения с регулируемой собственной частотой, целесообразно использовать координатную систему, жёстко связанную с обмотками ротора [3]. Тогда, математическая модель будет иметь вид

$$\begin{aligned}u_d &= R_s \cdot i_d + L_s \cdot \frac{di_d}{dt} - \omega \cdot L_s \cdot i_q; \\u_q &= R_s \cdot i_q + L_s \cdot \frac{di_q}{dt} + \omega \cdot L_s \cdot i_d + \omega \cdot \Phi_0; \\M &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Phi_0 \cdot i_q = M_n,\end{aligned}\tag{1}$$

где момент нагрузки двигателя M_H включает инерционную $L_{\text{мех}}$, демпфирующую $R_{\text{мех}}$ и позиционную $C_{\text{мех}}$ составляющие и определяется как

$$M_H = L_{\text{мех}} \frac{d\chi^2}{dt^2} + R_{\text{мех}} \frac{d\chi}{dt} + C_{\text{мех}} \chi;$$

R_s, L_s – активное сопротивление и полная индуктивность фазы статора; $\Phi_0 = \Phi_d + j\Phi_q$ – результирующий вектор потока машины; χ – закон движения подвижного элемента двигателя.

При создании колебательного режима работы функции регулирования U_d, U_q , с учетом введения «фиктивной» жесткости, имеют вид

$$u_d = u;$$

$$u_q = u_{1m} \sin(\Omega t + \alpha) - u_{2m} \text{sign}\chi;$$

где U_{1m}, U_{2m} – амплитудные значения напряжений соответственно обмотки возбуждения и обратной связи; α – начальная фаза питающего напряжения; Ω – частота задающего генератора, численно равная частоте колебаний подвижного элемента двигателя.

В относительных величинах система уравнений (1) запишется в виде:

$$\bar{u}_d = \bar{i}_d + \bar{T}_s \cdot \frac{d\bar{i}_d}{dt} - \bar{\omega} \cdot \bar{T}_s \cdot \bar{i}_q;$$

$$\bar{u}_q = \bar{i}_q + \bar{T}_s \cdot \frac{d\bar{i}_q}{dt} + \bar{\omega} \cdot \bar{T}_s \cdot \bar{i}_d + \bar{\omega};$$

$$\bar{T}_m \cdot \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} = \bar{m} - \bar{m}_i, \quad \bar{m} = \bar{i}_q.$$

(2)

Здесь относительные величины коэффициентов, определяются через свои базовые значения как:

$$\bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_b}; \quad \bar{m} = \frac{M}{M_b}; \quad \bar{T}_s = \frac{\omega_b \cdot L_s}{R_s}; \quad \bar{T}_m = \frac{J \cdot \omega_b^2}{M_b}; \quad \bar{t} = \omega_b \cdot t.$$

В соответствии с системой уравнений (2), на рис. 1 представлена имитационная модель вентильного электропривода колебательного движения.

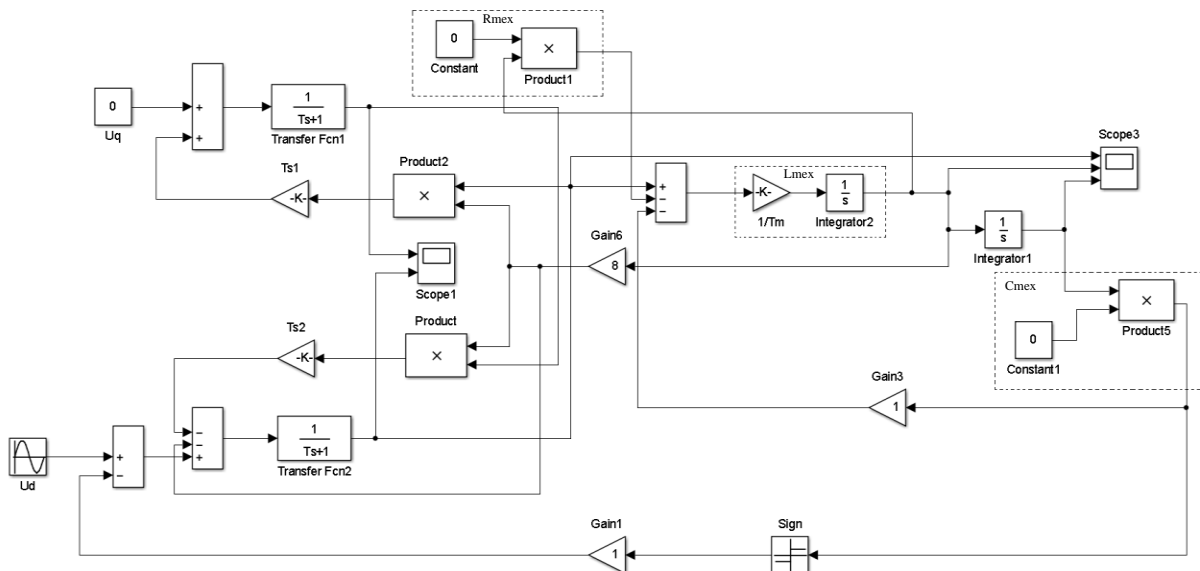


Рис. 1. Иммитационная модель вентильной машины во вращающейся системе координат

Исследования влияния параметров нагрузки на выходные характеристики вентильного электропривода были проведены для двух бесконтактных моментных двигателей серии ДБМ (ДБМ 185-6-0,2-2 и ДБМ 150-4-1,5-3). Так как все параметры модели задавались в относительных единицах, то и полученные результаты позволят оценить на их примере большинство вентильных двигателей, работающих в режиме вынужденных колебаний. Для исследуемых двигателей они составили соответственно $\bar{T}_{S1} = 0,23$ о.е., $\bar{T}_{S2} = 1,758$ о.е., $\bar{T}_{m1} = 0,68$ о.е и $\bar{T}_{m2} = 0,059$ о.е.

На рис. 2 представлены зависимости изменения амплитуды колебаний и электромагнитного момента от частоты ($M = f(\Omega)$) при наличии механической позиционной нагрузки и отсутствии обратной связи по положению.

Как видно, при наличии позиционной нагрузке в электроприводе характеристики имеют максимум на резонансных частотах, в качестве которых выбраны значения $\Omega_1 = 1,462$ о.е. и $\Omega_2 = 1,9$ о.е.

Аналогичные результаты имеют место при введении электрической обратной связи по положению, выполняющей роль «фиктивной» пружины. Как видно, здесь также можно обеспечить регулирование собственной частоты и амплитуды колебаний в достаточно большом диапазоне за счет изменения глубины обратной связи, поддерживая тем самым энергетически выгодный резонансный режим работы исполнительного двигателя.

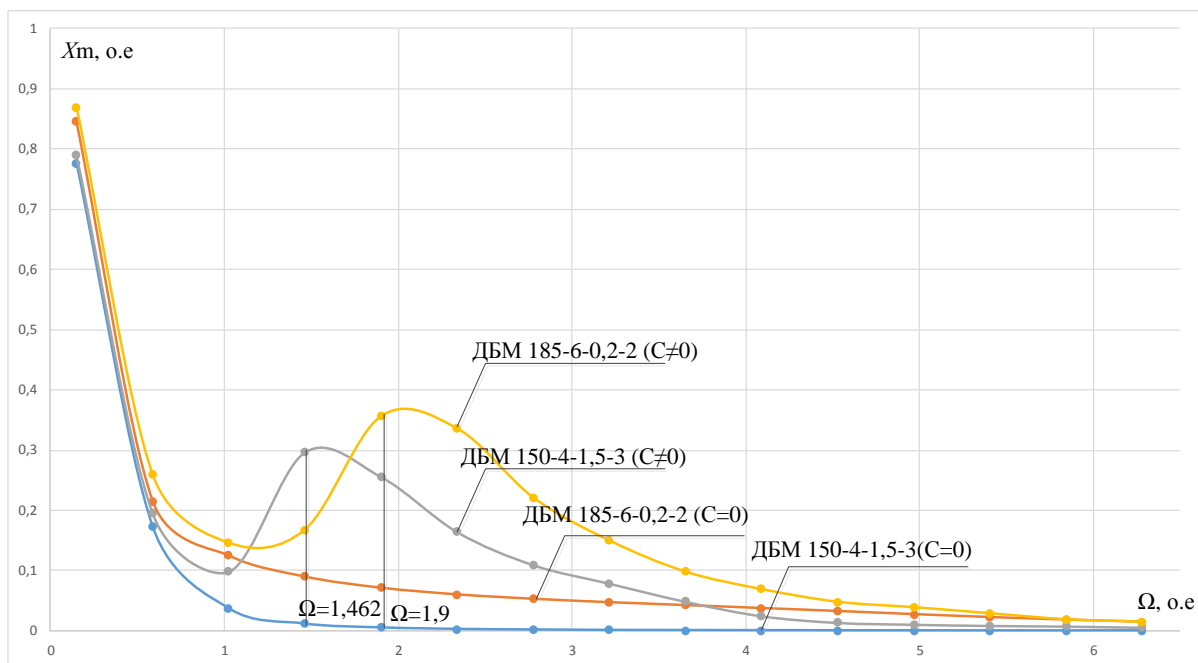


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики исследуемых двигателей при отсутствии ОС по положению $\chi_m = f(\Omega)$

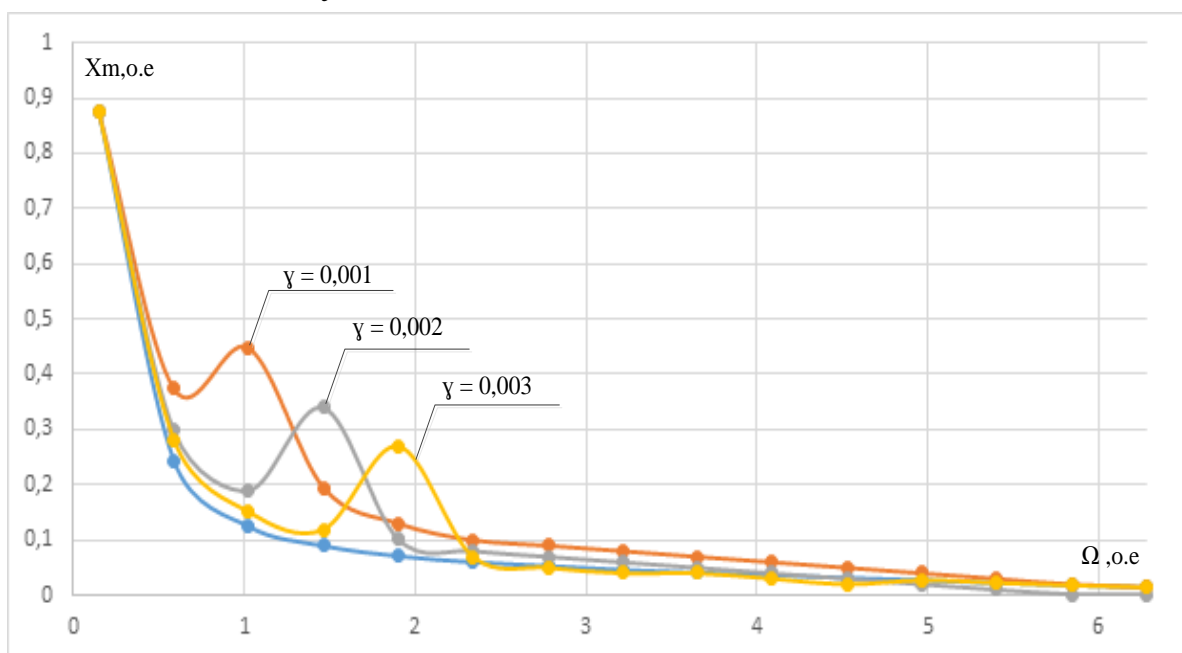


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики ДБМ 185-6-0,2-2 при наличии ОС по положению $\chi_m = f(\Omega)$

Проведенные исследования позволяют сделать выводы о возможности разработки вентильного электропривода колебательного движения с регулируемой собственной частотой, обладающего высокими энергетическими характеристиками, в качестве которого можно рассматривать энергетический фактор комплексной оценки эффективности работы электромеханического преобразователя энергии [4].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Луковников В.И. Электропривод колебательного движения. М.: Энергоатомиздат. 1984. – 152с.
2. Федотов В.М. Асинхронный колебательный электропривод с регулируемой собственной частотой: М. Федотов; Томский политехнический институт; науч. рук. Г. А. Сипайлов. - Томск: Б.и., 1982. — 201 л.: ил. — Библиогр. с. 160-175.
3. Preston M.A. and Lyons J. P., "A Switched Reluctance Motor Model with Mutual Coupling and Multi-Phase Excitation" IEEE Transaction on Magnetics, Vol 27, № 6, November 1991.
4. Аристов А.В. Электропривод колебательного движения с машиной двойного питания. Томск: Издательско-полиграфическая фирма ТПУ–2000–176 с.

Научный руководитель А.В. Аристов, к.т.н., профессор каф. ЭПЭО ЭНИИ ТПУ.