

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА НА ОСНОВЕ АСИНХРОННО-ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДА

И. В. ДОРОЩЕНКО

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Для оценки нагрузочной способности испытательного стенда на основе асинхронно-вентильного каскада (АВК) необходимо использовать математическую модель, описывающую электромагнитный момент каскада с учетом реальных процессов, возникающих при работе стенда под нагрузкой. Будем рассматривать схему АВК с промежуточным звеном постоянного тока, которая получила наибольшее распространение из-за максимальной простоты и надежности, высокого коэффициента полезного действия, плавности регулирования частоты вращения и момента. Имеющиеся разработки составлены без учета влияния процесса коммутации вентилей [1], что справедливо только для упрощенного расчета. Влияние процесса коммутации вентилей сказывается на гармоническом составе токов двигателя. В выражениях других источников [2, с. 62], [3, с. 461–462] рассматриваются упрощенные механические характеристики без учета зоны прерывистых токов, возникающих при малых скольжениях нагрузочных характеристик. В указанных источниках не представлены выражения для приведения параметров статора к выпрямленной цепи ротора. Таким образом, целью данной работы является оценка влияния зоны прерывистых токов на существенное изменение механических характеристик автоматизированного электромеханического испытательного стенда на основе АВК на всем диапазоне рабочих скольжений.

Общие положения

Поставим задачу составить выражение для более точного построения механической характеристики автоматизированного электромеханического испытательного стенда на основе АВК в диапазоне рабочих скольжений (для зоны прерывистого и непрерывного тока ротора) и оценить целесообразность применения данной модели для расчета нагрузочных характеристик по отношению к известной упрощенной модели. Проанализировав уравнение для зоны прерывистого тока преобразователя [4] и выражения для электромагнитного момента асинхронно-вентильного каскада [5], составим выражения для расчета электромеханического момента с учетом различных нагрузок.

Перед построением механических характеристик автоматизированного электромеханического испытательного стенда на основе АВК необходимо произвести расчет параметров стенда:

1. Привести сопротивления статора к роторной цепи.

$$R'_1 = \frac{R_1}{k_r \cdot \sigma_1}, \quad x'_1 = \frac{x_1}{k_r \cdot \sigma_1},$$

где R_1' – активное сопротивление статора, приведенное к ротору; R_1 – активное сопротивление статора; k_r – коэффициент магнитной связи ротора; σ_1 – коэффициент рассеяния; x_1' – индуктивное сопротивление статора, приведенное к ротору.

2. Рассчитать параметры цепи выпрямленного тока.

Полное эквивалентное сопротивление цепи выпрямленного тока:

$$R_{d\Sigma} = x_{\text{rot}\Sigma} \cdot S + 2 \cdot R_1' \cdot S + 2 \cdot R_2 + R_{\text{др}} + 2 \cdot R_{2\text{т}} + \frac{m_{\text{и}} \cdot x_{2\text{т}}}{2 \cdot \pi},$$

где $x_{\text{rot}\Sigma} = \frac{m_{\text{в}}(x_1' + x_2)}{2 \cdot \pi}$ – эквивалентное индуктивное сопротивление обмоток статора и ротора, приведенное к цепи выпрямленного тока; $m_{\text{в}}$ – пульсность неуправляемого выпрямителя; x_2 – индуктивное сопротивление ротора; $m_{\text{и}}$ – пульсность инвертора; S – скольжение асинхронного двигателя; R_2 – активное сопротивление ротора; $R_{\text{др}}$ – активное сопротивление дросселя; $R_{2\text{т}}$ – активное сопротивление вторичной обмотки согласующего трансформатора; $x_{2\text{т}}$ – индуктивное сопротивление вторичной обмотки согласующего трансформатора.

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (для Г-образной схемы замещения, приведенной к роторной цепи) описывается выражением

$$M_{\text{ест}} = \frac{3(I_2 \cdot k_i)^2 R_2}{\omega_0 \cdot S},$$

где $I_2 = \frac{\frac{U_{2\text{rot}}}{\sqrt{3}} S}{\sqrt{(R_1' \cdot S + R_2)^2 + ((x_1' + x_2)S)^2}}$ – ток ротора; $U_{2\text{rot}}$ – линейное напряжение на кольцах ротора; $k_i = \frac{I_{2\text{н}}}{I_{1\text{н}}}$ – коэффициент приведения по току; ω_0 – синхронная скорость асинхронного двигателя.

Уравнение механической характеристики автоматизированного электромеханического стенда на основе асинхронно-вентильного каскада с учетом зоны прерывистых токов:

$$M = \frac{(E_{d\text{rot}} - x_{\text{rot}\Sigma} \cdot I_d - 2 \cdot R_1' \cdot I_d) I_d}{\omega_0},$$

где $E_{d\text{rot}} = 1,35 \cdot U_{2\text{rot}}$ – выпрямленное напряжение ротора; I_d – выпрямленный ток роторной цепи.

Для зоны непрерывных токов выпрямленный ток определяется выражением

$$I_d = \frac{E_{d\text{rot}} \cdot S - E_{d\text{inv}} \cdot \cos(\beta)}{R_{d\Sigma}},$$

где $E_{d\text{rot}} = 1,35 \cdot U_{2\text{rot}}$ – выпрямленное напряжение ротора для мостовой схемы выпрямителя; $E_{d\text{inv}} = 1,35 \cdot U_{2\text{т}}$ – выпрямленное напряжение инвертора (для мостовой схемы инвертора); $U_{2\text{т}}$ – линейное напряжение согласующего трансформатора; β – угол опережения отпираания вентилей.

С учетом выражения выпрямленного тока преобразователя для зоны прерывистых токов [4, с. 98–99], получим уравнение для зоны прерывистого тока преимущественно к нагружающему стенду на основе АВК:

$$I_d = \frac{m_{\text{и}}}{\pi} \cdot \frac{E_{2m}}{2 \cdot x_{2r} + x_{\text{rot}\Sigma} + x_{\text{др}}} \sin\left(\frac{\lambda}{2}\right) \left(\sin\left(\frac{\lambda}{2} + \beta - \frac{\pi}{m_{\text{и}}}\right) \right) \left(1 - \frac{\lambda}{2 \cdot \tan\left(\frac{\lambda}{2}\right)} \right),$$

где $E_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_{2r}$ – амплитуда фазного напряжения согласующего трансформатора; λ – длительность протекания тока.

Для подтверждения адекватности выведенных уравнений механических характеристик автоматизированного электромеханического стенда на основе асинхронно-вентильного каскада были проведены экспериментальные исследования стенда на базе асинхронного двигателя с фазным ротором МТФ-112-6 мощностью 5 кВт. Схема нагружающего стенда приведена на рис. 1.

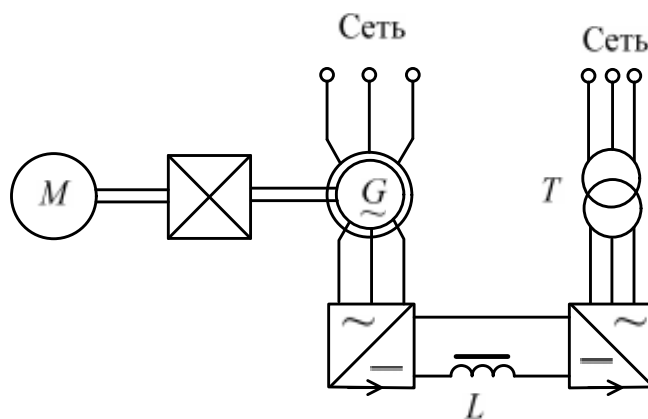


Рис. 1. Схема автоматизированного электромеханического стенда на основе асинхронно-вентильного каскада

Экспериментальная установка была реализована только для генераторного режима нагрузочного стенда на базе АВК. Расчетные (по выведенным соотношениям) и экспериментальные механические характеристики для различных углов опережения отпирания вентилей управляемого мостового преобразователя (β) приведены на рис. 2. На этом же рисунке приведена естественная механическая характеристика асинхронного двигателя, входящего в состав стенда при закороченном роторе (кривая АД).

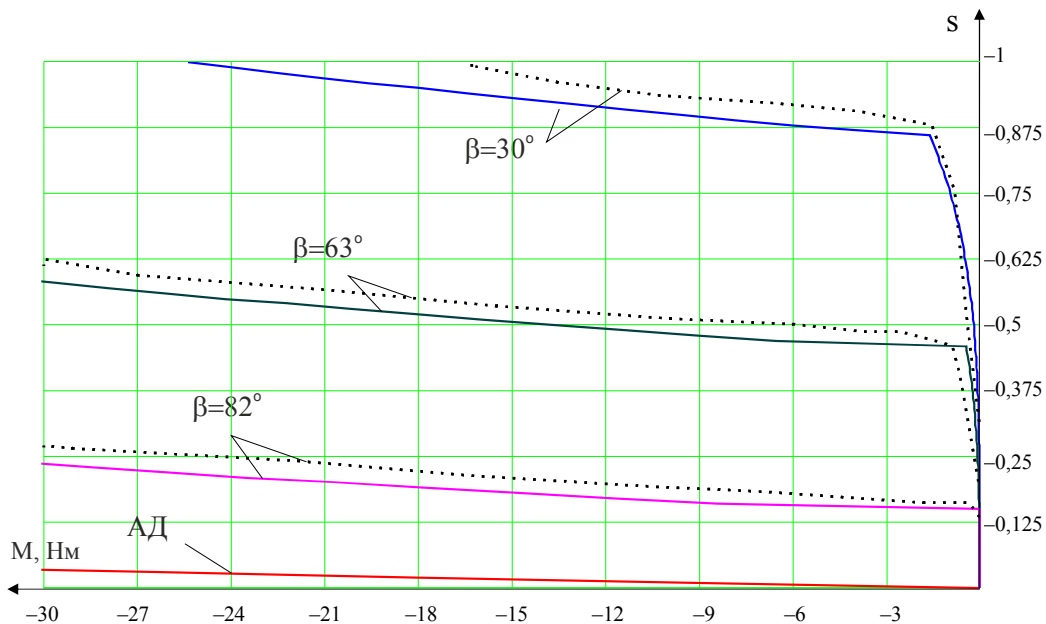


Рис. 2. Механические характеристики генераторного режима асинхронно-вентильного испытательного стенда:
 — — расчет; ···· — эксперимент

Заключение

В результате анализа численного расчета и эксперимента приходим к выводу, что при значениях угла опережения отпирания вентилей $90^\circ > \beta > 60^\circ$ изменение электромагнитного момента, рассчитанного по уточненному выражению, остается в пределах 2 % от номинального, т. е. его можно не учитывать и расчет производить по упрощенным известным выражениям. Однако при значениях угла $60^\circ > \beta > 20^\circ$ различие нагрузочного момента может достигать порядка 7–10 % от номинального. Таким образом, при необходимости наиболее точного расчета электромеханических характеристик АВК необходимо использовать разработанные расчетные соотношения, которые наиболее полно описывают характеристики во всем диапазоне рабочих скольжений.

Литература

1. Фираго, Б. И. Теория электропривода : учеб. пособие / Б. И. Фираго, Л. Б. Палявчик. – Минск : ЗАО «Техноперспектива», 2004. – 527 с.
2. Парфенов, Э. Е. Вентильные каскады / Э. Е. Парфенов, В. А. Прозоров. – Л. : Энергия, 1968. – 92 с.
3. Чиликин, М. Г. Теория автоматизированного электропривода : учеб. пособие для вузов / М. Г. Чиликин, В. И. Ключев, А. С. Сандлер. – М. : Энергия, 1979. – 616 с.
4. Шипилло, В. П. Автоматизированный вентильный электропривод / В. П. Шипилло. – М. : Энергия, 1969. – 400 с.
5. Асинхронно-вентильные нагружающие устройства / С. В. Хватов [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.
6. Грейвулис, Я. П. Асинхронно-вентильный каскад с улучшенными энергетическими показателями / Я. П. Грейвулис, И. В. Авкштол, Л. С. Рыбицкий. – Рига : Зинатне, 1991. – 217 с.

Получено 16.02.2011 г.