

В.А. Савельев,
к.т.н., доцент



В.В. Тодарев,
к.т.н., доцент



УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД НА ОСНОВЕ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ С РАЗДЕЛЕННЫМИ ОБМОТКАМИ СТАТОРА

УДК.621.313.33

Аннотация

В статье рассмотрен способ снижения стоимости испытательного стенда за счет использования асинхронной машины с разделенными обмотками статора. Приведена функциональная схема нагружающего устройства, его статические механические характеристики, показаны результаты математического моделирования работы устройства. Предложенная конструкция имеет меньшую стоимость, по сравнению с существующими аналогами.

Annotation

The article discusses a way to reduce the cost of a test bench through the use of an asynchronous machine with separated stator windings. The functional diagram of the loading device, its static mechanical characteristics are given, the results of mathematical modeling of the device operation are shown. The proposed design has a lower cost compared to existing counterparts.

Введение

Альтернативой натурным испытаниям новой гражданской, в том числе сельскохозяйственной, и военной техники могут служить испытания на комплексном испытательном стенде [1-4]. Под комплексным испытательным стендом будем понимать стенд, предназначенный для испытаний механических приводных устройств, например, двигателей внутреннего сгорания, как отдельно, так и в составе ходовой части транспортного средства, имеющий в своем составе одно или несколько (по числу ведущих колес) нагружающих устройств, и информационно-измерительную часть. Возможность проведения круглогодичных испытаний, снижение затрат, постоянный контроль за ходом испытаний, снижение сроков ввода машин в производство – вот самые заметные преимущества такого варианта испытаний.

В [1-4] перечислены основные требования, предъявляемые к комплексным испытательным стендам: энергоэффективность, универсальность, низкая стоимость, небольшие эксплуатационные расходы. Отдельно следует указать на необходимость

получения высокой степени реалистичности имитируемой нагрузки, как в статике, так и в динамике, а также на возможность создания экстремальных зон нагрузки для оценки износа деталей и узлов. В наибольшей мере таким требованиям удовлетворяют электромеханические испытательные стенды на основе асинхронных машин.

Одним из обязательных элементов в составе комплексных испытательных стендов выступает управляемый преобразователь электрической энергии. Управляемый преобразователь используется для связи источника электроэнергии с электродвигателем нагружающего устройства.

При этом именно преобразователь позволяет реализовать необходимый закон нагружения в нагружающем устройстве стенда. С другой же стороны, преобразователь является одним из самых дорогостоящих элементов испытательного стенда. При этом стоимость преобразователя зависит от его мощности. При увеличении мощности преобразователя от 1,5 кВт до 15 кВт его цена возрастает примерно в 6,7 раза [5].

Накопленный нами опыт показывает, что в ряде случаев характерной особенностью работы испытуемой техники, например, самоходных зерно- и кормоуборочных машин, является практически постоянная скорость вращения (движения) основных узлов, при периодически изменяющейся в малых пределах нагрузке. В таких случаях управляемые преобразователи нагружающих устройств используются неэффективно, поскольку через них передается вся мощность нагрузки. В то же время, переменная составляющая нагрузки, для воспроизведения которой и требуется управляемый преобразователь, составляет лишь 10-20% от передаваемой через него мощности.

В связи с этим, целью настоящей статьи является поиск путей снижения мощности управляемого преобразователя нагружающего устройства испытательного стенда, что приведет к снижению стоимости испытательного стенда в целом.

Основная часть

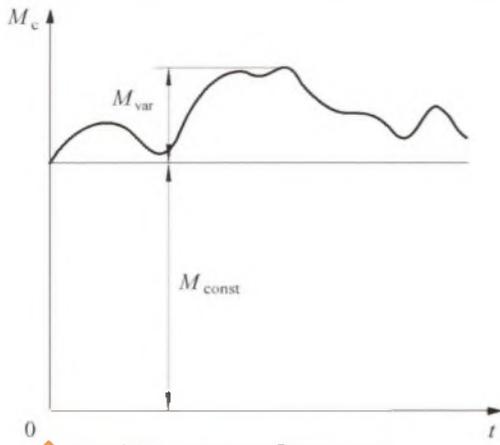
Для описанного выше режима работы испытуемой техники, момент сопротивления M_c , создава-

емый нагружающим устройством, можно представить в виде суммы постоянной M_{const} и переменной M_{var} составляющих, то есть $M_c = M_{const} + M_{var}$ (рисунок 1).

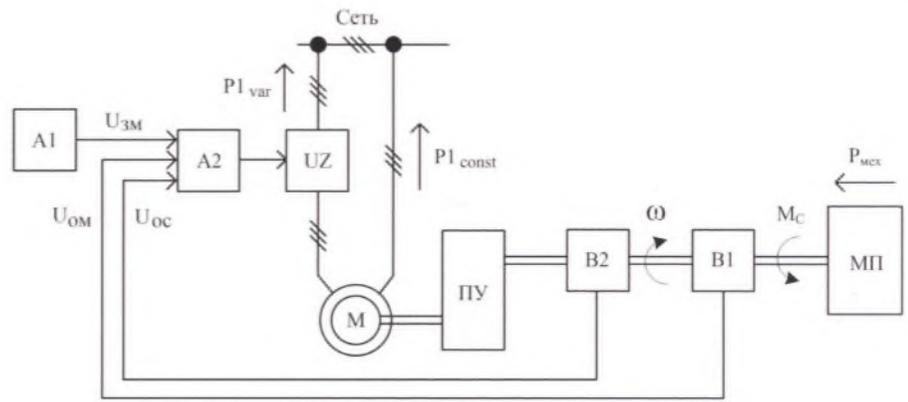
Таким образом, становится возможным снизить мощность, передаваемую управляемым преобразователем электродвигателю нагружающего устройства, если передавать только мощность переменной составляющей нагрузки. При этом возникает задача, как передать значительную часть мощности, соответствующей постоянной составляющей нагрузки, на электродвигатель в обход управляемого преобразователя.

По нашему мнению, решением данной задачи может стать использование в качестве электродвигателя нагружающего устройства недорогой в изготовлении асинхронной машины с короткозамкнутым ротором и электрически не связанными полюсными обмотками статора.

Авторами получен патент [6] на полезную модель, реализующую такую конструкцию двигателя. Суть решения состоит в том, что полюсные обмотки статора асинхронной машины делятся на две электрически не свя-



◆ Рис. 1. Нагрузочная диаграмма испытуемой машины



◆ Рис. 2. Функциональная схема испытательного стенда на основе асинхронной машины с разделенными обмотками статора

занные части. Тогда, подключив одну часть полюсных обмоток асинхронной машины непосредственно к сети, можно реализовать передачу значительной части мощности, соответствующей постоянной составляющей нагрузки M_{const} в обход преобразователя. Подключив вторую часть полюсных обмоток асинхронной машины к сети через управляемый преобразователь реализуем переменную составляющую нагрузки M_{var} .

Благодаря такому решению, достаточно выбрать управляемый преобразователь мощностью, соответствующей мощности переменной составляющей нагрузки, что приведет к снижению мощности преобразователя в несколько раз по сравнению с традиционным способом включения обмоток асинхронной машины. Соответственно снизится и стоимость преобразователя.

Функциональная схема предлагаемого нагружающего устройства представлена на рисунке 2.

Асинхронная машина М с короткозамкнутым ротором, содержит полюсные обмотки статора, которые в соответствии с предлагаемым решением, разделены на две электрически не связанные части. Одна часть обмоток статора подключена к питающей сети напрямую, и через нее передается постоянная составляющая мощности P_{1const} нагрузочного устройства. Другая часть полюсных обмоток статора машины М подключена к питающей сети через управляемый преобразователь UZ.

Преобразователь UZ предназначен для формирования пере-

менной составляющей момента M_{var} и передает в сеть переменную составляющую мощности P_{1var} . Кроме того, преобразователь UZ соединен с выходом регулятора A2 системы управления нагружающего устройства.

Передачное устройство ПУ, посредством которого испытуемый механический преобразователь МП механически соединен с валом асинхронной машины М нагружающего устройства, предназначено для перевода асинхронной машины М в генераторный режим работы.

С испытуемым механическим преобразователем МП также механически соединены датчики момента В1 и скорости В2, которые предназначены для получения информации о фактических значениях нагрузочного момента U_{om} и скорости U_{oc} соответственно. Это необходимо для формирования требуемых характеристик нагружающего устройства в статике и динамике. С этой целью выходы датчиков момента и скорости соединены с входом регулятора A2 системы управления нагружающего устройства. Кроме того, информация с датчиков поступает для регистрации в информационно-измерительную часть стенда.

Формирование сигнала задания необходимого нагрузочного момента $U_{зм}$ производится блоком управления А1.

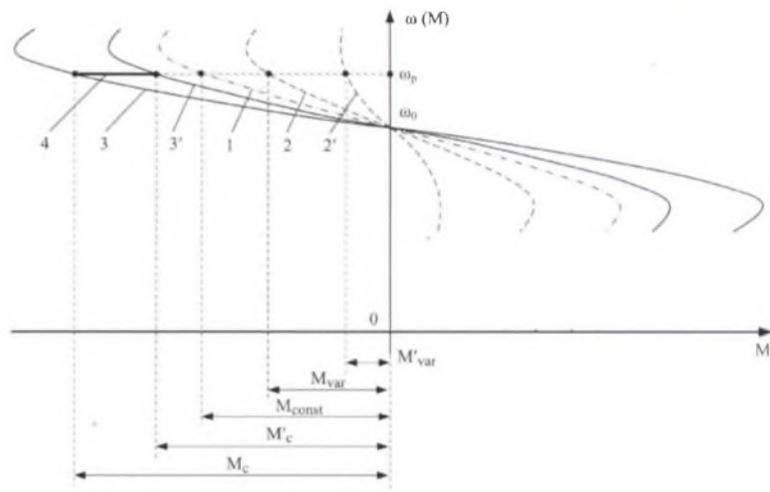
В качестве управляемого преобразователя можно, например, использовать регулятор напряжения с функцией рекуперации энергии в сеть. Для этого случая на рисунке 3 представлены

механические характеристики предлагаемого нагружающего устройства: 1 – механическая характеристика, соответствующая постоянной составляющей нагрузки M_{const} ; 2, 2' – механические характеристики, соответствующие переменной составляющей нагрузки M_{var} при разных значениях напряжения преобразователя UZ; 3, 3' – суммарные нагрузочные механические характеристики M_c ; 4 – рабочий участок характеристики, формируемой нагрузочным устройством; ω_p – угловая скорость вращения испытуемого механического преобразователя.

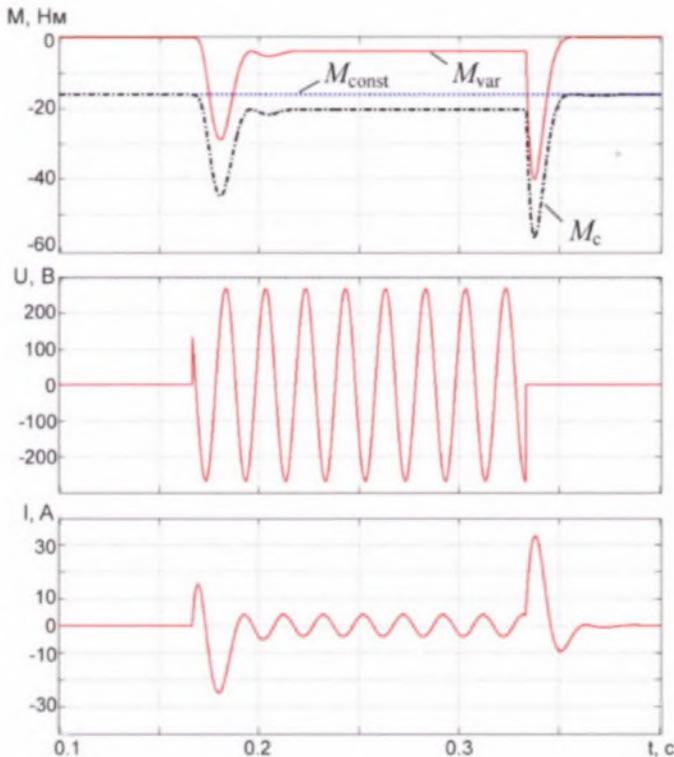
Для верификации предложенного способа реализации нагружающего устройства испытательного стенда использовалась упрощенная математическая модель нагружающего устройства, выполненная в программном пакете Matlab Simulink. В модели

не учитывались явления краевого эффекта и электромагнитных связей полюсных обмоток. В процессе моделирования на одну часть полюсных обмоток асинхронной машины подано неизменное сетевое напряжение, а на вторую – напряжение, сформированное управляемым преобразователем.

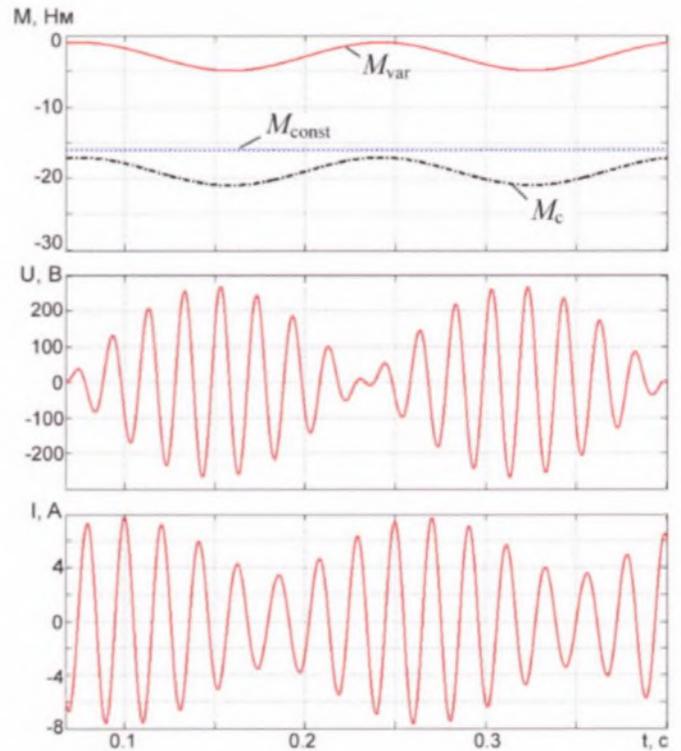
На рисунках 4 и 5 приведены результаты моделирования режимов нагружения. Здесь используются следующие обозначения: $M_{const}(t)$ – динамическая характеристика постоянной составляющей нагрузки; $M_{var}(t)$ – динамическая характеристика переменной составляющей нагрузки; $M_c(t)$ – суммарная динамическая характеристика нагрузки, создаваемой нагружающим устройством; $U(t)$ – напряжение фазы обмотки асинхронной машины, подключенной к сети через управляемый преобразователь; $I(t)$ – ток ▶



◆ Рис. 3. Механические характеристики нагружающего устройства



◆ Рис. 4. Динамические характеристики нагружающего устройства при прямоугольной форме переменной составляющей нагрузки



◆ Рис. 5. Динамические характеристики нагружающего устройства при синусоидальной форме переменной составляющей нагрузки

фазы обмотки асинхронной машины, подключенной к сети через управляемый преобразователь.

В частности, на рисунке 4 показаны диаграммы работы нагружающего устройства при моделировании переменной составляющей нагрузки прямоугольной формы.

Как следует из диаграмм, в исходном состоянии на одну из полюсных обмоток подано неизменное напряжение (на диаграммах не показано), при этом на вторую полюсную обмотку подано нулевое напряжение. В результате сформирована неизменная по времени составляющая момента нагрузки M_{const} , переменная составляющая момента M_{var} равна нулю.

Затем на вторую полюсную обмотку подается синусоидальное напряжение, в результате чего формируется отличная от нуля переменная составляющая момента нагрузки M_{var} . В результате формируется суммарный момент M_c по форме близкий к прямоугольному. Этот момент имеет отрицательный знак, что соответствует генераторному режиму работы нагрузочной машины.

На рисунке 5 показаны диаграммы работы нагружающего устройства при моделировании переменной составляющей нагрузки синусоидальной формы.

В отличие от предыдущего режима, питающее напряжение второй полюсной обмотки формируется путем модуляции сетевого напряжения синусоидальным сигналом с помощью управляемого преобразователя. В результате имеем синусоидальную форму моментов сопротивления M_{var} и M_c .

Заключение

Предлагаемое нагружающее устройство при прочих равных параметрах имеет меньшую стоимость за счет снижения установленной мощности управляемого преобразователя. Оно с достаточной точностью воспроизводит задаваемую периодическую нагрузку.

Разработанная математическая модель требует дальнейшего уточнения в отношении учета краевого эффекта и взаимоиндукции между полюсными обмотками.

Литература

1. Дорощенко И.В. Энергоэффективные испытательные стенды / И.В. Дорощенко, М.Н. Погуляев, В.А. Савельев, В.В. Тодарев // Энергоэффективность – 2018. – №8. – С.46–56.
2. Дорощенко И.В. Ресурсосберегающие электрохимические стенды для испытаний сложной техники на предприятиях транспортного машиностроения / И.В. Дорощенко, М.Н. Погуляев, В.Б. Попов, В.А. Савельев, В.В. Тодарев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – № 8 (69). – С.36–45.
3. Тодарев В.В., Савельев В.А. Опыт разработки и модернизации стендов для испытания сложной техники // 8-я Международная научная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (Минск, 16–17 мая 2019 г.): сборник научных статей. В 5 ч. Ч. 1 / Государственный военно-промышленный комитет Республики Беларусь. – Минск: Лаборатория интеллекта, 2019. С.84–87.
4. Тодарев В.В., Погуляев М.Н., Савельев В.А. Энергоэффективные электрохимические стенды для испытаний военной техники // 8-я Международная научная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (Минск, 16–17 мая 2019 г.): сборник научных статей. В 5 ч. Ч. 1 / Государственный военно-промышленный комитет Республики Беларусь. – Минск: Лаборатория интеллекта, 2019. С.87–90.
5. Инверторы Omron 3G3MX2. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.proenergo.ru/motion-and-drives/omron-preobrazovateli-chastoty/inventory-omron-3g3mx2>. Дата доступа: 16.05.2022.
6. Патент РБ №12022 на полезную модель. Асинхронный электродвигатель / Тодарев В.В., Савельев В.А., Беликова А.И., Мигдаленок А.А. // Опубликовано 30.06.2019. ■

Статья поступила в редакцию 28.07.2022 г.