

УДК 621.313.33

НАГРУЖАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КОМПЛЕКСНЫХ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ

В. В. ТОДАРЕВ, В. А. САВЕЛЬЕВ, И. В. ДОРОЩЕНКО

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

Рассмотрена новая конструкция электромеханического нагружающего устройства для стендовых испытаний техники. Приведена блок-схема устройства, показаны результаты математического моделирования работы устройства. Предложенная конструкция является более энергоэффективной по сравнению с существующими аналогами.

Ключевые слова: испытательный стенд, нагружающее устройство, испытания мощной техники, энергоэффективность.

COMPLEX LOADING DEVICE TEST BENCHES

V. V. TODAREV, V. A. SAVELYEV, I. V. DOROSHCHENKO

*Educational institution "Sukhoi State Technical University
of Gomel", the Republic of Belarus*

The authors consider new design of electromechanical loading device for bench tests of equipment. A block diagram of the device is shown, the results of mathematical modeling of the device operation are shown. The proposed design is more energy efficient than existing counterparts.

Keywords: test bench, loading device, tests of powerful equipment, energy efficiency.

Введение

Альтернативой натурным испытаниям новой гражданской (в том числе сельскохозяйственной) и военной техники могут служить испытания на комплексном испытательном стенде [1]–[4]. Возможность проведения круглогодичных испытаний, снижение затрат, постоянный контроль за ходом испытаний, снижение сроков ввода машин в производство – вот самые заметные преимущества такого варианта испытаний. При этом одной из проблем является повышение энергоэффективности, особенно при испытаниях мощной техники.

В [1]–[4] перечислены основные требования, предъявляемые к нагружающим устройствам комплексных испытательных стендов: энергоэффективность, универсальность, низкая стоимость, небольшие эксплуатационные расходы. Отдельно следует отметить необходимость получения высокой степени реалистичности имитируемой нагрузки как в статике, так и в динамике и возможность создания экстремальных зон нагрузки для оценки износа деталей и узлов. В наибольшей мере таким требованиям удовлетворяют электромеханические нагружающие устройства на основе асинхронной машины.

Одним из обязательных элементов в составе комплексных испытательных стендов является управляемый преобразователь электрической энергии, дающий возможность реализовать в нагружающем устройстве необходимый закон нагружения. Он же является одним из самых дорогостоящих элементов испытательного стенда.

Стоимость преобразователя зависит от его мощности, например, при увеличении мощности преобразователя от 1,5 до 15 кВт его цена возрастает примерно в 6,7 раза [5].

В ряде случаев характерной особенностью работы 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 управляемый преобразователь нагружающего устройства используется неэффективно, поскольку вся мощность нагрузки должна быть передана через него. В то же время переменная составляющая нагрузки, для воспроизведения которой и требуется управляемый преобразователь, составляет лишь 10–20 % от передаваемой через него мощности.

Целью настоящей статьи является поиск путей снижения мощности управляемого преобразователя нагружающего устройства испытательного стенда с вышеуказанными характеристиками, что приведет к снижению стоимости испытательного стенда в целом.

Основная часть

Для описанного выше режима работы испытуемой техники момент сопротивления M_c , создаваемый нагружающим устройством, можно представить в виде суммы постоянной M_{const} и переменной M_{var} составляющих, т. е. $M_c = M_{const} + M_{var}$ (рис. 1).

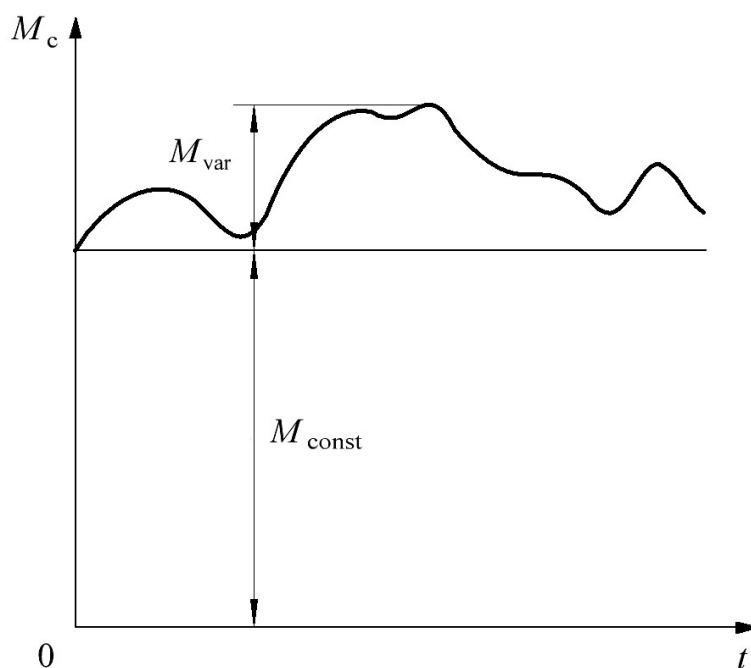


Рис. 1. Нагрузочная диаграмма испытательной машины

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 нагружающего устройства в обход управляемого преобразователя.

Решением данной задачи может быть использование в качестве электродвигателя нагружающего устройства асинхронной машины с короткозамкнутым ротором и электрически не связанными полюсными обмотками статора, описанной в [6].

Суть решения состоит в том, что полюсные обмотки статора асинхронной машины нагружающего устройства делятся на две электрически не связанные 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 по мощности в соответствии с мощностью 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.

В качестве управляемого преобразователя можно, например, использовать регулятор напряжения с функцией рекуперации энергии в сеть.

Блок-схема предлагаемого нагружающего устройства дана на рис. 2.

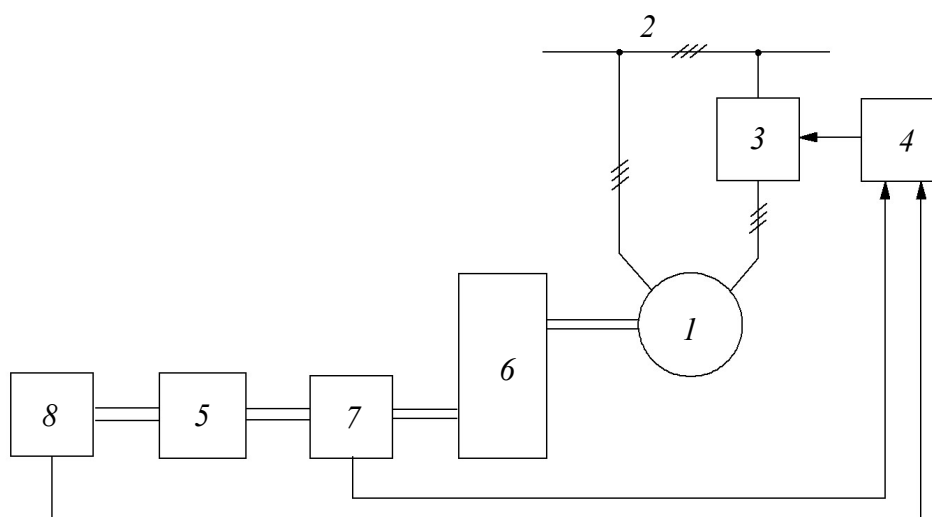


Рис. 2. Блок-схема нагружающего устройства

Нагружающее устройство содержит асинхронную машину 1 с короткозамкнутым ротором, полюсные обмотки статора которой разделены на две электрически не связанные части. Одна часть обмоток статора подключена к питающей сети 2 напрямую, другая – через регулятор 3 напряжения. Регулятор 3 напряжения предназначен для формирования переменной составляющей момента нагрузки и снабжен первой группой трехфазных выводов, предназначенных для подключения к одной из обмоток статора асинхронной машины 1, второй группой трехфазных выводов, служащих для подключения к питающей сети 2, и входом управления, предназначенным для соединения с выходом системы 4 управления. Вал асинхронной машины 1 механически соединен с валом испытываемой трансмиссии 5 через передаточное устройство 6, для перевода асинхронной машины 1 в генераторный режим, и датчик 7 момента. С валом испытываемой трансмиссии 5 также механически соединен датчик 8 скорости. Датчики момента и скорости предназначены для получения информации о фактических значениях нагрузочного момента и скорости соответственно. Выходы датчиков 7 момента и 8 скорости соединены с системой 4 управления.

На рис. 3 представлены механические характеристики предлагаемого нагружающего устройства: 1 – механическая характеристика, соответствующая постоянной составляющей нагрузки; 2 – механическая характеристика, соответствующая переменной составляющей нагрузки при разном напряжении; 3 – суммарная механическая нагрузка; ω – угловая частота испытуемого объекта.

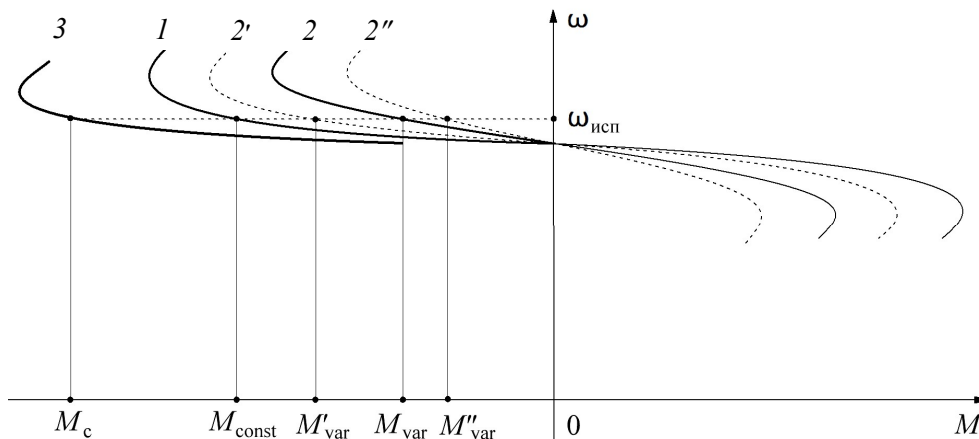


Рис. 3. Механические характеристики нагружающего устройства

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

В частности, на рис. 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 подается неизменное напряжение (на диаграммах не показано), при этом на вторую полюсную обмотку – нулевое напряжение. В результате сформирована неизменная по времени составляющая момента нагрузки M_{const} , а переменная составляющая момента M_{var} равна нулю.

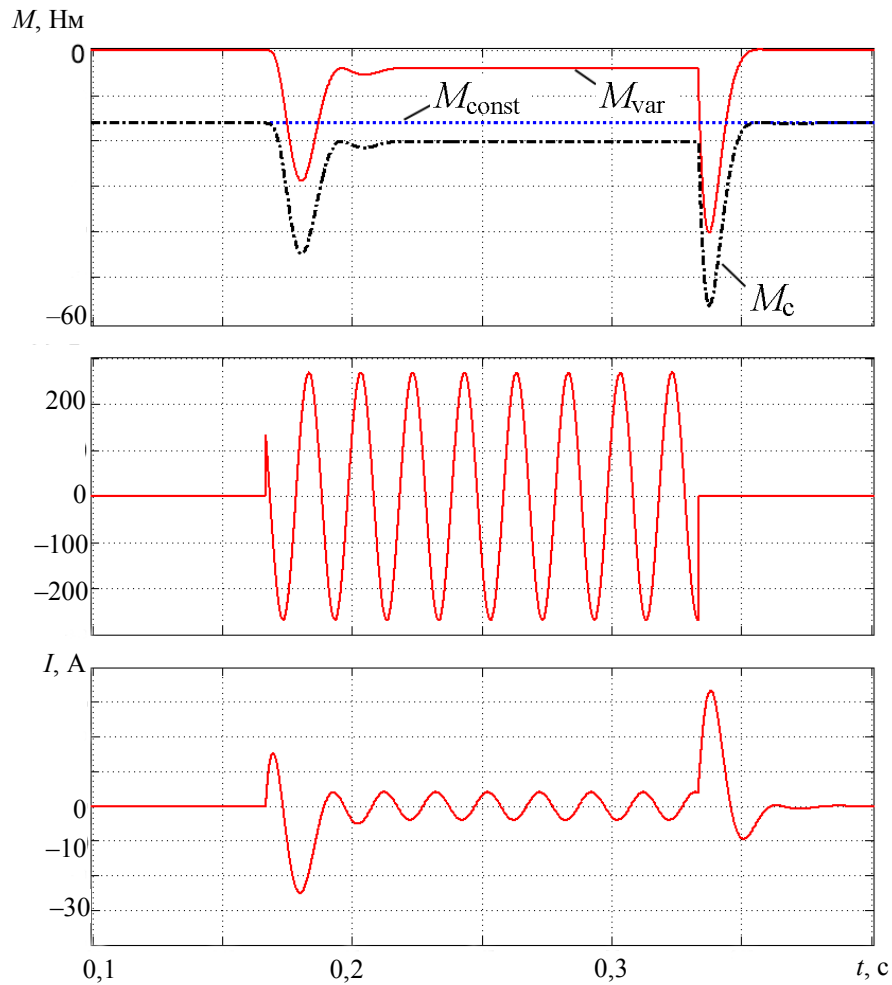


Рис. 4. Динамические характеристики нагружающего устройства при прямоугольной форме переменной составляющей нагрузки

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

На рис. 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 итоге имеем синусоидальную форму моментов сопротивления M_{var} и M_c .

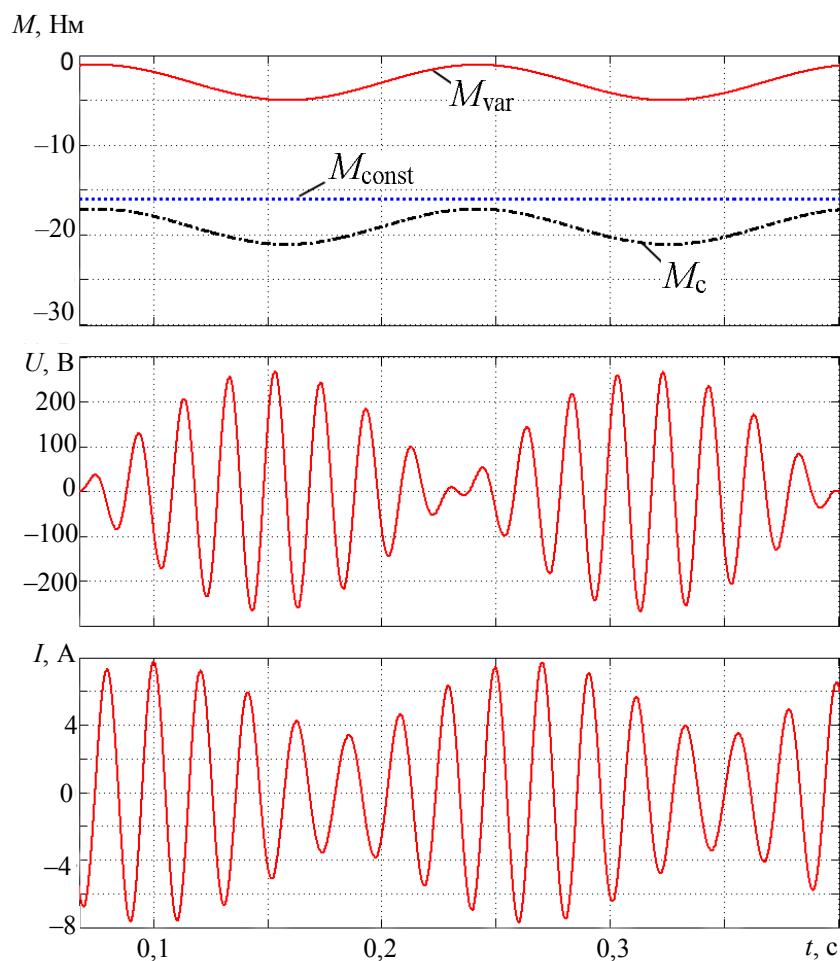


Рис. 5. Динамические характеристики нагружающего устройства при синусоидальной форме переменной составляющей нагрузки

Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Предлагаемое нагружающее устройство при прочих равных параметрах имеет меньшую стоимость за счет снижения установленной мощности управляемого преобразователя.
2. Данное нагружающее устройство с достаточной точностью воспроизводит задаваемую периодическую нагрузку.
3. Разработанная математическая модель требует дальнейшего уточнения в отношении учета краевого эффекта и взаимоиндукции между полюсными обмотками.

Литература

1. Энергоэффективные испытательные стенды / И. В. Дорошенко [и др.] // Энергоэффективность. – 2018. – № 8. – С. 46–56.
2. Ресурсосберегающие электромеханические стенды для испытаний сложной техники на предприятиях транспортного машиностроения / И. В. Дорошенко [и др.] // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. – 2018. – № 8 (69). – С. 36–45.
3. Тодарев, В. В. Опыт разработки и модернизации стендов для испытания сложной техники / В. В. Тодарев, В. А. Савельев // 8-я Международная научная конферен-

- ция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения «Milex. Innovations-2019» : сб. науч. ст. : в 5 ч. / Гос. военно-пром. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2019. – Ч. 1. – С. 87–90.
4. Тодарев, В. В. Энергоэффективные электромеханические стенды для испытаний военной техники / В. В. Тодарев, М. Н. Погуляев, В. А. Соловьев // 8-я Международная научная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения «Milex. Innovations-2019» : сб. науч. ст. : в 5 ч. / Гос. военно-пром. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2019. – Ч. 1. – С. 84–87.
 5. Инверторы Omron 3G3MX2. – Режим доступа: <https://www.proenergo.ru/motion-and-drives/omron-preobrazovateli-chastoty/inventory-omron-3g3mx2>. – Дата доступа: 16.05.2022.
 6. Асинхронный электродвигатель : пат. 12022 Респ. Беларусь, МПК Н 02 Р 23/03 (2006.01), Н 02 К 17/16 (2006.01) / Тодарев В. В., Савельев В. А., Беликова А. И., Мигдаленок А. А. ; заявитель и патентообразователь Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; опубл. 30.06.19.

Получено 24.05.2022