

И.В. Дорощенко,
ст. преподаватель



М.Н. Погуляев,
к.т.н., доцент



В.А. Савельев,
к.т.н., доцент



В.В. Тодарев,
к.т.н., доцент



Кафедра «Автоматизированный электропривод» УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого»

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ СТЕНДЫ

УДК 62-83-52

Аннотация

Рассмотрены возможности применения ресурсосберегающих технологий при создании испытательных стендов. Приведены наиболее перспективные с точки зрения энергосбережения схемы построения испытательных стендов. Рассмотрены возможности создания нагрузочных устройств, способных воспроизводить на валу момент сопротивления, инвариантный по отношению к скорости вращения вала.

Annotation

The possibilities of using resource-saving technologies for creating test benches are considered. The most promising schemes for constructing test benches from the point of view of energy saving are given. The possibilities of creating load devices capable to reproduce a torque of resistance on the shaft, that is invariant to the angular velocity of shaft rotation, are considered.

Введение

Приемо-сдаточные испытания – обязательная и весьма ответственная часть производственного процесса как при производстве новой техники, так и при ее ремонте.

Стендовые испытания разрабатываемых образцов новой техники позволяют значительно сократить сроки ввода ее в производство благодаря возможности реализовать предельную и даже запредельную нагрузку на отдельные узлы и устройства в целом.

Как аксиому можно воспринимать тот факт, что современные испытательные стенды являются энергосберегающими, то есть в них в той или иной мере вторично используется затраченная в процессе испытаний энергия за вычетом потерь в элементах стенда. Коэффициент полезного действия электромеханических энергосберегающих стендов может достигать 85%.

Вместе с тем в Республике Беларусь достаточно активно используются и так называемые энергозатратные стенды. Применительно к электромеханическому типу стендов можно сказать, что затраченная в процессе испытаний энергия преобразуется в тепло и рассеивается в окружающее пространство.

Сегодня сегмент таких испытательных стендов представлен универсальными стендами серий КС276 для испытания двигателей внутреннего сгорания (ДВС), КСАТ для испытания ДВС автомобилей, тракторов и комбайнов, КСС для испытания судовых и тепловозных двигателей, КС-02...03 для испытания коробок передач и раздаточных коробок и рядом других. Однако, заменить энергозатратные стенды на новые энергосберегающие для многих предприятий за-

труднительно, что объясняется уникальностью каждого типа стенда, и, как следствие, единичным характером производства и высокой ценой. Стоимость современных испытательных стендов составляет от \$50 000 до \$100 000 и выше в зависимости от степени универсальности.

Выход из такого положения – в модернизации существующих энергозатратных стендов в энергосберегающие, что значительно дешевле, поскольку сохраняются основные конструктивные и силовые элементы стенда. Последние, как правило, при технически грамотной эксплуатации в состоянии отработать еще не один десяток лет, а их основные технические характеристики незначительно уступают современным аналогам. Стоимость такой модернизации применительно к электромеханическим стендам составляет 10–20% от стоимости нового энергосберегающего стенда. Поскольку стенды функционируют в составе технологической производственной цепочки, то и глубина модернизации зависит от технологических факторов.

Специалисты кафедры «Автоматизированный электропривод» Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого длительное время занимаются как разработкой и изготовлением энергосберегающих электромеханических стендов, так и модернизацией существующих стендов в энергосберегающие для предприятий различных отраслей народного хозяйства страны, например, ОАО ПО «Гомсельмаш», ОАО «Витебский мотороремонтный завод». Много стендов сделано для Белорусской железной дороги, где испытания оборудования являются обязательными при проведении технического обслуживания подвижного состава.

В настоящей статье рассматриваются наиболее предпочтительные по совокупности технико-экономических показателей схемные построения электромеханических испытательных стендов, как новых, так и модернизированных, обеспечивающие их функциональные возможности в соответствии с программами испытаний.

Схемы построения энергосберегающих испытательных стендов

В электромеханических испытательных стендах применяются два вида схемных решений, обеспечивающих режим энергосбережения: рекуперация электрической энергии в сеть и взаимная нагрузка силовых электромеханических устройств.

Стенды для приемо-сдаточных испытаний ДВС реализуются по варианту рекуперации электрической энергии в сеть и должны реализовывать испытательные режимы «холодной» и «горячей» обкатки. В случае использования электрической машины постоянного тока (МПТ) при «холодной» обкатке МПТ работает в двигательном режиме, вращая испытуемый ДВС, при «горячей» обкатке – в генераторном режиме, нагружая испытуемый ДВС (рисунок 1а).

Управляемый преобразователь (УП) обеспечивает регулирование и стабилизацию технических и технологических показателей работы стенда при «холодной» и «горячей» обкатке, причем в последнем случае – с рекуперацией генерируемой электрической энергии в сеть. При двузонном управлении функциональные возможности стенда значительно расширяются.

Коэффициент полезного действия (КПД) при рекуперации:

$$\eta = \eta_M \cdot \eta_{УП},$$

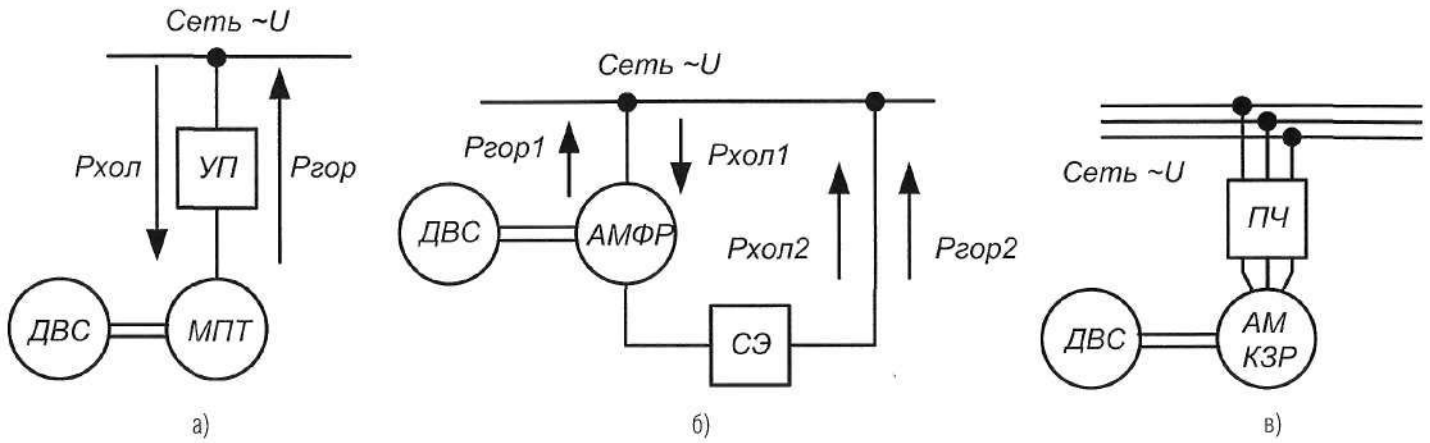


Рис. 1. Функциональные схемы стенов для испытания двигателей внутреннего сгорания: а) на основе машины постоянного тока; б) на основе асинхронной машины с фазным ротором; в) на основе короткозамкнутой асинхронной машины
 ДВС – испытуемый двигатель внутреннего сгорания; МПТ – машина постоянного тока; АМФР – асинхронная машина с фазным ротором; АМКЗР – асинхронная машина с короткозамкнутым ротором; УП – управляемый преобразователь, СЭ – согласующий элемент; ПЧ – преобразователь частоты; $P_{хол}$ – мощность в режиме холодной обкатки; $P_{гор}$ – мощность в режиме горячей обкатки

где η_m – КПД машины постоянного тока;
 $\eta_{уп}$ – КПД управляемого преобразователя.

В испытательном стенде с асинхронной машиной с фазным ротором (АМФР) «холодная» обкатка осуществляется в двигательном режиме работы АМФР, «горячая» – в генераторном, при скорости вращения вала АМФР выше синхронной (см. рисунок 1б). Введение в цепь ротора согласующего элемента (СЭ) позволяет в обоих случаях возвращать в сеть часть активной мощности ($P_{хол2}$, $P_{гор2}$). Схемно СЭ представляет собой ведомый сетью инвертор с промежуточным выпрямителем – асинхронно-вентильный каскад (АВК). К достоинствам АВК следует отнести сравнительно небольшую мощность и стоимость СЭ, поскольку они определяются ожидаемой мощностью скольжения АМФР.

В испытательном стенде на базе асинхронной машины с короткозамкнутым ротором (АМКЗР) управление работой АМКЗР в режимах «холодной» и «горячей» обкатки осуществляется преобразователем частоты (ПЧ), имеющим, так же, как и АМКЗР, высокие энергетические характеристики (см. рисунок 1в). При наличии в составе ПЧ устройства рекуперации возврат энергии в сеть в режиме «горячей» обкатки осуществляется на всем диапазоне рабочих скоростей. Недостаток такой схемы – высокая стоимость ПЧ.

Стенды для испытания редукторов и других элементов трансмиссий строят, в основном, по схемам, представленным на рисунке 2.

На рисунке 2б показан вариант построения стенда по схеме взаимной нагрузки электрических машин [1]. Такое схемное решение является предпочтительным, поскольку из сети потребляется лишь часть нагружаемой мощности, равная потерям мощности ΔP в двигателе, генераторе, испытуемой трансмиссии и согласующих элементах. В этом случае номинальная мощность управляющего устройства (УУ) выбирается исходя

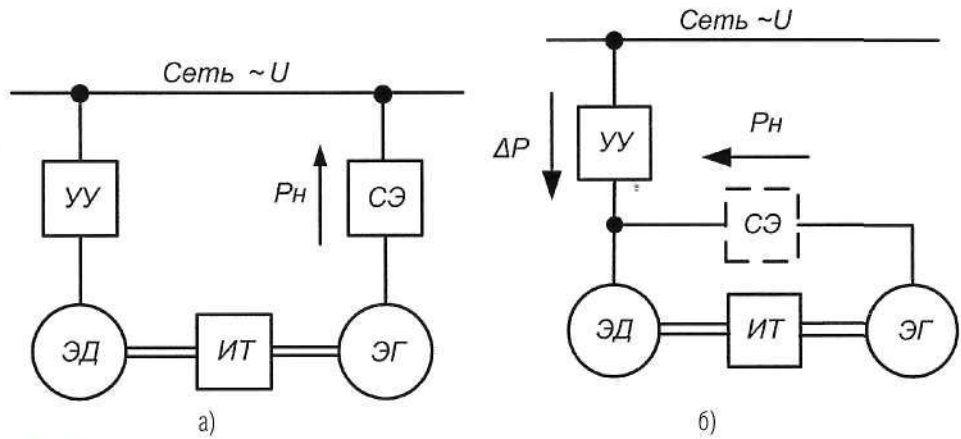


Рис. 2. Функциональные схемы стенов для испытания трансмиссий, редукторов и т.п.: а) с рекуперацией энергии в сеть; б) по схеме взаимной нагрузки
 УУ – управляющее устройство; ЭД – приводной электродвигатель; ЭГ – нагружающий электрогенератор; СЭ – согласующий элемент; ИТ – испытуемая трансмиссия

из суммарных потерь мощности в элементах стенда и для ряда схем, например «двигатель постоянного тока – генератор постоянного тока», СЭ не требуется.

Стенды для испытания электрических двигателей и генераторов имеют такую же функциональную схему (см. рисунок 2), что и стенды для испытания трансмиссий. Трансмиссия же в данном случае выполняет роль элемента, согласующего механические параметры электрических машин.

Для данного типа стенов наиболее часто применяется следующее сочетание силовых электрических машин:

- двигатель постоянного тока – генератор постоянного тока;
- асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором – генератор постоянного тока;
- асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором – асинхронный двигатель с фазным ротором.

Схемы силовой части стенов для стеновых испытаний новой техники в принципе

ничем не отличаются от аналогичных стенов для приемно-сдаточных испытаний. Их отличие – в системе управления, реализующей гораздо более сложные законы нагружения.

Обеспечение инвариантности нагрузки

Функционирование испытательного стенда с определенными параметрами нагрузки обеспечивается автоматической системой управления, которую в дальнейшем будем называть нагружающим устройством (НУ).

НУ стенов для приемно-сдаточных испытаний относительно просты, поскольку решают простые задачи задания и стабилизации скорости и момента нагружения.

Для проведения научных исследований, работ по наладке и испытаниям механизмов и машин в условиях, максимально приближенных к реальным условиям их эксплуатации, НУ должно воспроизводить для ▶

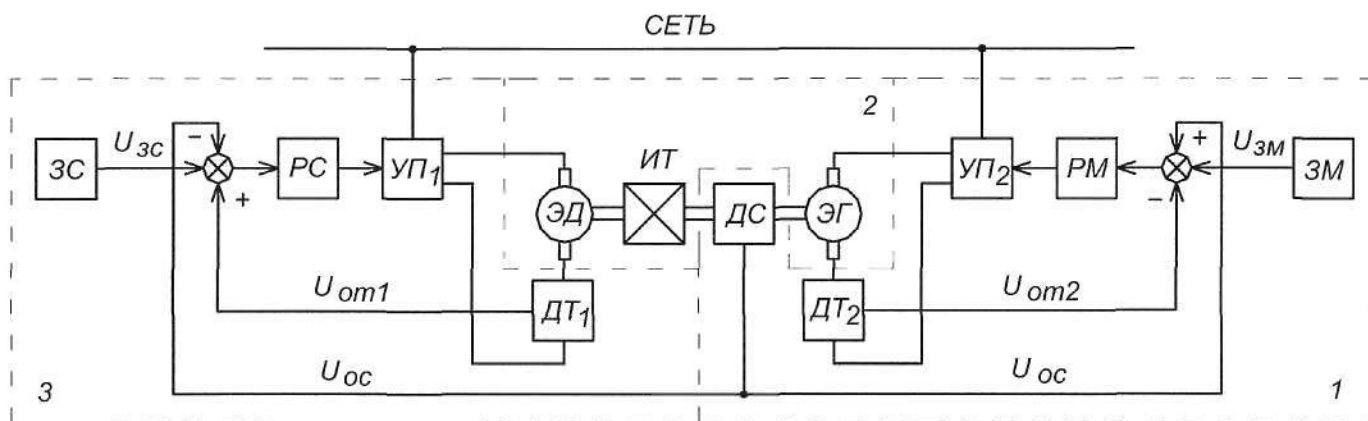


Рис. 3. Функциональная схема универсального испытательного стенда с рекуперацией энергии в сеть

испытуемого устройства широкий спектр характерных нагрузочных воздействий, то есть сочетать несколько видов нагрузок [2].

Такими нагрузками могут быть:

- момент, не зависящий от координат движения $M_c = \text{const}$;
- момент, зависящий от угла поворота (пройденного пути) $M_c = f(\varphi)$;
- момент, зависящий от скорости вращения $M_c = f(\omega)$ – к этому моменту относятся момент сухого трения $M_c = M \cdot \text{sign}(\omega)$, момент вязкого трения $M_c = k \cdot \omega$, вентиляторный момент $M_c = k \cdot \omega^2$;
- момент, зависящий от ускорения (динамический момент) $M_c = f(\epsilon)$;
- момент, зависящий от времени $M_c = f(t)$.

При этом скорость вращения (перемещения) испытуемого механизма выступает в качестве возмущающего воздействия, поскольку она препятствует поддержанию требуемого закона изменения момента нагрузки. Поэтому при построении НУ применяется принцип инвариантности по отношению к возмущающему воздействию – скорости – на всем диапазоне нагрузок, а основными требованиями являются максимальное быстродействие, минимальное перерегулирование, высокая статическая и динамическая точность.

На рисунке 3 приведен один из вариантов функциональной схемы испытательного стенда с устройством для управления системой нагружения на основе МПТ, электромеханическим преобразователем и системой управления приводным электродвигателем [3], реализующий принцип инвариантности.

Устройство 1 управления системой нагружения испытательного стенда, функционально связанное с электромеханическим преобразователем 2 и системой 3 управления приводным электродвигателем ЭД, содержит датчик момента (ЗМ), регулятор момента (РМ), управляемый преобразователь (УП2), датчик тока (ДТ2) и датчик скорости (ДС).

В системе регулирования момента нагрузочного генератора ЭГ производится сравнение сигнала задания момента $U_{зм}$ и сигналов отрицательной обратной связи с датчика тока якоря ЭГ $U_{от2}$ и компенсирующей положительной обратной связи с датчика скорости вращения вала генератора $U_{ос}$. Введение положительной обратной связи необходимо для компенсации возмущающего воздействия со стороны скорости. Регулятор момента РМ обеспечивает инвариантность момента сопротивления нагрузочного генератора по отношению к скорости вращения вала ЭГ, а также формирует характеристики системы в динамике.

Электромеханический преобразователь 2 кроме нагрузочного ЭГ также может содержать, например, приводной двигатель ЭД и механическую трансмиссию ИТ.

Система 3 управления приводным двигателем ЭД может быть выполнена по любой из известных схем, например, в виде контура регулирования скорости, состоящего из датчика скорости (ДС), регулятора скорости (РС), управляемого преобразователя (УП1) и датчика тока ЭД (ДТ1).

Как показано в [3], статический момент сопротивления, создаваемый нагрузочным ЭГ, может быть определен как:

$$M = U_{зм} \cdot \frac{k_p \cdot k_{тп} \cdot k \cdot \Phi}{k_p \cdot k_{тп} \cdot k_T + R_{я}}$$

- где k_p – коэффициент передачи РМ;
- $k_{тп}$ – коэффициент передачи УП2;
- k – конструктивная постоянная ЭГ;
- $R_{я}$ – активное сопротивление якорной цепи ЭГ;
- k_T – коэффициент передачи ДТ2.

Следовательно, величина момента сопротивления, создаваемого ЭГ, не зависит от скорости вращения вала, а определяется только значением сигнала задания момента $U_{зм}$.

На рисунке 4 приведена еще одна функциональная схема испытательного стенда

с устройством 1 управления системой нагружения, электромеханическим преобразователем 2 и системой 3 управления приводным двигателем, выполненная по схеме взаимной нагрузки [4].

В отличие от схемы, приведенной на рисунке 3, в данной схеме якорь нагрузочного генератора ЭГ электрически соединен с якорем приводного электродвигателя ЭД. При этом управление нагрузочным генератором производится по каналу обмотки возбуждения.

В связи с этим, для обеспечения инвариантности нагрузочного момента, создаваемого ЭГ, по отношению к скорости вращения электромеханической системы в схему добавлены блок деления ($:$) и блок извлечения квадратного корня ($\sqrt{\quad}$). Кроме того, на регулятор момента (РМ) поступает сигнал обратной связи с датчика момента (ДМ).

В остальной схеме повторяет конструкцию, приведенную на рисунке 3.

Как показано в [4], статический момент сопротивления, создаваемый нагрузочным ЭГ, может быть определен как:

$$M = U_{зм} \cdot \frac{(k_p \cdot k_{тп} \cdot k_B \cdot k)^2}{k_{\Omega} \cdot R_{я} \cdot R_B^2 + k_M \cdot (k_p \cdot k_{тп} \cdot k_B \cdot k)^2}$$

где k_B – коэффициент пропорциональности между током возбуждения ЭГ и магнитным потоком;

- k_{Ω} – коэффициент передачи ДС;
- R_B – активное сопротивление ОВЭГ;
- k_M – коэффициент передачи ДМ.

То есть статический момент сопротивления, создаваемый ЭГ, в данной схеме также не зависит от скорости вращения вала ЭГ и полностью определяется величиной сигнала задания момента $U_{зм}$.

На рисунке 5 приведена функциональная схема энергосберегающего инвариантного электромеханического испытательного стенда на основе асинхронно-вентильного каскада [5].

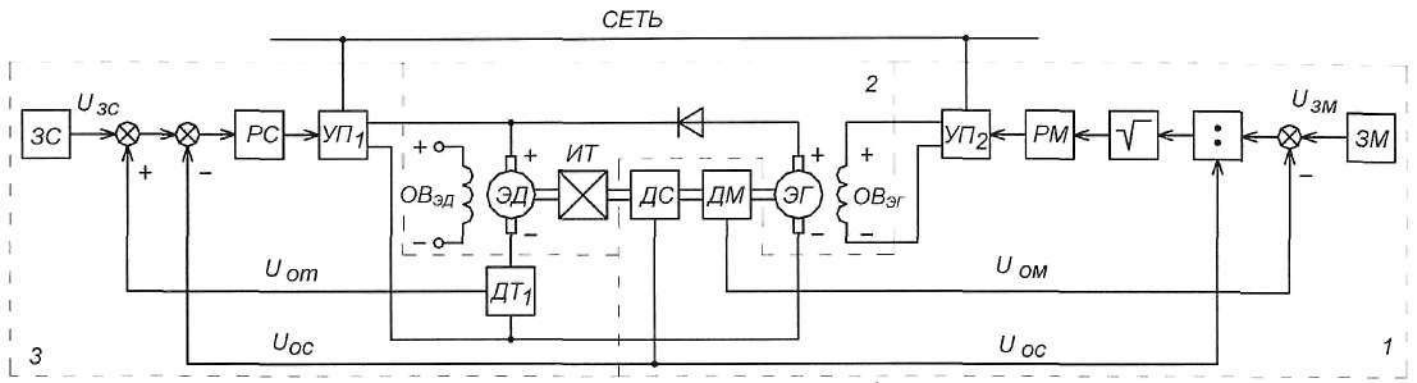


Рис. 4. Функциональная схема универсального испытательного стенда по схеме взаимной нагрузки

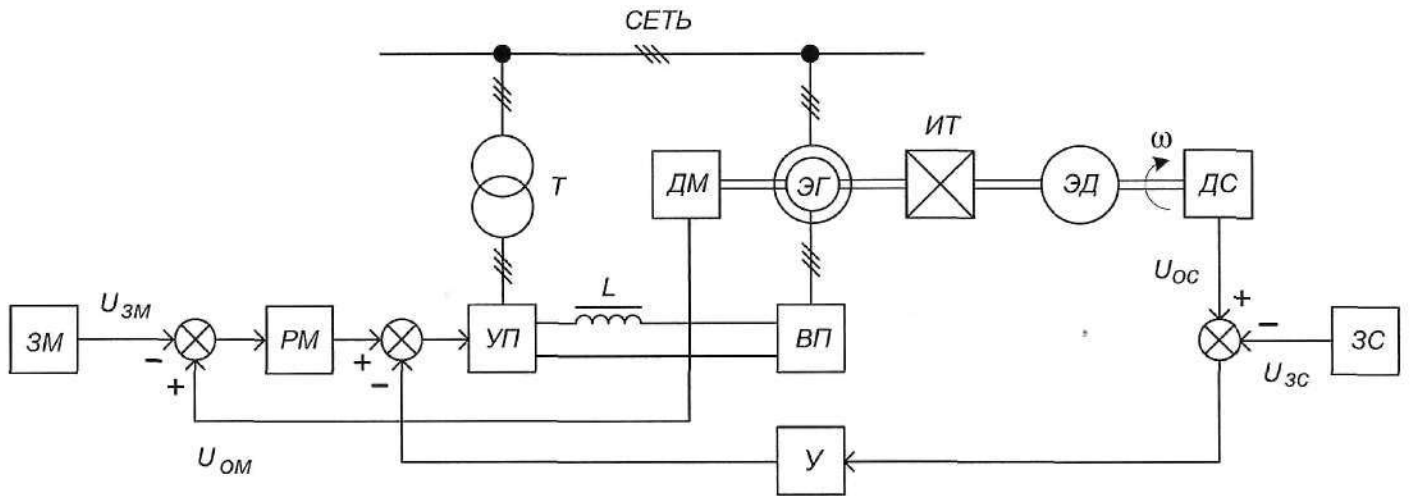


Рис. 5. Функциональная схема универсального испытательного стенда с асинхронно-вентильным каскадом

Задача повышения энергоэффективности нагрузочных испытаний при одновременном обеспечении инвариантности момента сопротивления нагрузочного устройства по отношению к скорости вращения во всем диапазоне нагрузок решается тем, что в качестве нагрузочного генератора ЭГ использована асинхронная машина с фазным ротором. Вал ЭГ механически соединен с датчиком момента ДМ, датчиком скорости ДС и валом испытуемого ЭД или испытуемой трансмиссии ИТ. Обмотка статора ЭГ подключается непосредственно к трехфазной сети переменного тока, а обмотка ротора через неуправляемый выпрямитель ВП и дроссель L соединена с управляемым преобразователем УП. Последний через согласующий трансформатор Т подключается к той же сети, что и обмотка статора ЭГ, образуя асинхронно-вентильный каскад (АВК), что позволяет возвращать энергию скольжения асинхронной машины назад в сеть, тем самым повышая энергоэффективность нагрузочных испытаний.

Для обеспечения инвариантности момента сопротивления ЭГ по отношению

к скорости вращения сигнал с выхода регулятора момента РМ сравнивается с компенсирующим сигналом, пропорциональным частоте вращения, поступающим с выхода усилителя У. Сигнал на входе усилителя У, пропорциональный скольжению, формируется в результате сравнения сигнала заданной скорости идеального холостого хода U_{xc} , поступающего с задатчика скорости ЗС и сигнала обратной связи по скорости U_{oc} , поступающего с выхода датчика скорости ДС.

Преобразователь УП, работая в режиме инвертора, регулирует нагрузку в цепи выпрямленного тока ротора ЭГ, тем самым изменяя величину создаваемого асинхронной машиной момента, нагружающего исследуемый ЭД или ИТ. При таком режиме работы асинхронной машины энергия отдается в сеть переменного тока как через обмотку статора, так и через обмотку ротора по цепи: обмотка ротора – выпрямитель ВП – дроссель L – преобразователь УП – трансформатор Т – сеть.

Для статора и ротора асинхронной машины в системе координат ху по закону Кирхгофа можно записать следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} u_{1m} = R_1 \cdot i_{1x} + \frac{d\psi_{1x}}{dt} - \omega_{0эл} \cdot \psi_{1y}, \\ 0 = R_1 \cdot i_{1y} + \frac{d\psi_{1y}}{dt} + \omega_{0эл} \cdot \psi_{1x}, \\ 0 = R_{2\Sigma} \cdot i_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_{0эл} - \omega_{вл}) \cdot \psi_{2y} - E_{и} \cdot \frac{1}{k_{сх}}, \\ 0 = R_{2\Sigma} \cdot i_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_{0эл} - \omega_{вл}) \cdot \psi_{2x}, \end{cases} \quad (1)$$

где u_{1m} – мгновенное значение фазного напряжения статора ЭГ;

$i_{1x}, i_{1y}, i_{2x}, i_{2y}$ – мгновенные значения фазных токов статора и ротора ЭГ;

R_1 – активное сопротивление обмотки статора ЭГ;

$R_{2\Sigma} = R_2 + R_{др} + R_{тн\Sigma}$ – суммарное активное сопротивление цепи ротора ЭГ, включающее активное сопротивление R_2 обмотки ротора ЭГ, сопротивление $R_{др}$ дросселя L, суммарное сопротивление $R_{тн\Sigma}$ управляемого преобразователя УП и выпрямителя ВП;

$\omega_{0элэл}$ – электрическая скорость идеального холостого хода ЭГ;

$\omega_{эл}$ – электрическая скорость вращения ротора ЭГ;

E_n – ЭДС преобразователя УП, при работе в инверторном режиме; k_{cx} – коэффициент схемы;

$\Psi_{1x}, \Psi_{1y}, \Psi_{2x}, \Psi_{2y}$ – полные потокоцепления фазных обмоток статора и ротора ЭГ.

Полные потокоцепления фазных обмоток статора и ротора:

$$\begin{cases} \Psi_{1x} = L_1 \cdot i_{1x} + L_{12} \cdot i_{2x}, \\ \Psi_{1y} = L_1 \cdot i_{1y} + L_{12} \cdot i_{2y}, \\ \Psi_{2x} = L_{2\Sigma} \cdot i_{2x} + L_{12} \cdot i_{1x}, \\ \Psi_{2y} = L_{2\Sigma} \cdot i_{2y} + L_{12} \cdot i_{1y}, \end{cases} \quad (2)$$

где L_1 – индуктивность рассеяния обмотки статора ЭГ;

$L_{2\Sigma} = L_2 + L_{dp} + L_m$ – суммарная индуктивность цепи ротора ЭГ, включающая индуктивность L_2 обмотки ротора ЭГ, индуктивность L_{dp} дросселя, индуктивность L_m управляемого преобразователя УП; L_{12} – взаимная индуктивность.

Электромагнитный момент асинхронной машины:

$$M = \frac{p_d \cdot L_{12}}{L_1 \cdot L_{2\Sigma} - L_{12}^2} \cdot (\Psi_{1y} \cdot \Psi_{2x} - \Psi_{1x} \cdot \Psi_{2y}), \quad (3)$$

где p_d – число пар полюсов асинхронной машины.

Пренебрегая в (1) падением напряжения $R_1 \cdot i_1$ и приравняв производные нулю, что соответствует установившемуся режиму работы, запишем (1) в виде

$$\begin{cases} \Psi_{1y} = -\frac{u_{1m}}{\omega_{0эл}} = const, \\ \Psi_{1x} = 0, \\ i_{1y} = 0, \\ 0 = R_{2\Sigma} \cdot i_{2x} - (\omega_{0эл} - \omega_{эл}) \cdot \Psi_{2y} - E_n \cdot \frac{1}{k_{cx}}, \\ 0 = R_{2\Sigma} \cdot i_{2y} + (\omega_{0эл} - \omega_{эл}) \cdot \Psi_{2x}. \end{cases} \quad (4)$$

С учетом (4) запишем (2) и (3) в виде:

$$\begin{cases} i_{1x} = -\frac{L_{12}}{L_1} \cdot i_{2x}, \\ i_{2y} = -\frac{u_{1m}}{\omega_{0эл}} \cdot \frac{1}{L_{12}}, \\ \Psi_{2x} = L_{2\Sigma} \cdot i_{2x} + L_{12} \cdot i_{1x}, \\ \Psi_{2y} = L_{2\Sigma} \cdot i_{2y}. \end{cases} \quad (5)$$

$$M = \frac{p_d \cdot L_{12}}{L_1 \cdot L_{2\Sigma} - L_{12}^2} \cdot \Psi_{1y} \cdot \Psi_{2x} = \frac{p_d \cdot L_{12}}{L_1 \cdot L_{2\Sigma} - L_{12}^2} \cdot \left(-\frac{u_{1m}}{\omega_{0эл}} \right) \cdot \Psi_{2x} \quad (6)$$

Выражая из (5) потокоцепление Ψ_{2x} , получим:

$$\Psi_{2x} = \frac{L_1 \cdot L_{2\Sigma} - L_{12}^2}{L_1} \cdot i_{2x} \quad (7)$$

Из четвертого уравнения (4) с учетом второго и четвертого уравнений (5) запишем ток i_{2x} в виде:

$$i_{2x} = \frac{1}{R_{2\Sigma}} \cdot (\omega_{0эл} - \omega_{эл}) \cdot \left(-\frac{u_{1m}}{\omega_{0эл}} \right) \cdot \frac{L_{2\Sigma}}{L_{12}} + E_n \cdot \frac{1}{k_{cx}} \cdot \frac{1}{R_{2\Sigma}}. \quad (8)$$

Тогда, с учетом (8) после несложных преобразований уравнение момента (6) примет вид:

$$M = \frac{p_d \cdot L_{2\Sigma}}{L_1 \cdot R_{2\Sigma}} \cdot \frac{u_{1m}^2}{\omega_{0эл}^2} \cdot (\omega_{0эл} - \omega_{эл}) - E_n \cdot \frac{u_{1m}}{\omega_{0эл}} \cdot \frac{p_d \cdot L_{12}}{k_{cx} \cdot R_{2\Sigma} \cdot L_1}. \quad (9)$$

Как видно из (9), для обеспечения инвариантности момента сопротивления нагрузочного устройства по отношению к скорости вращения достаточно установить коэффициент передачи усилителя U равным:

$$k = \frac{p_d \cdot L_{2\Sigma}}{L_1 \cdot R_{2\Sigma}} \cdot \frac{u_{1m}^2}{\omega_{0эл}^2}.$$

Выводы

При проведении нагрузочных испытаний целесообразно использовать электромеханические испытательные стенды на основе машин постоянного или переменного тока, обеспечивающие инвариантность нагрузочного момента по отношению к скорости вращения испытуемого двигателя или элемента трансмиссии. Для нагрузочных устройств как на основе машин постоянного тока, так и на основе машин переменного тока можно обеспечить рекуперацию энергии либо в питающую сеть, либо на приводной электродвигатель, тем самым повышая энергоэффективность испытаний. При введении в систему регулирования нагрузочного момента об-

ратных связей как по регулируемой координате – моменту, так и по возмущающим воздействиям – скорости или скольжению, возможно обеспечить инвариантность нагрузочного момента по отношению к скорости. Инвариантное нагрузочное устройство будет воспроизводить на валу необходимую для испытаний зависимость момента от скорости, времени, угла поворота и т.п.

Литература

1. Тодарев, В.В. Взаимная нагрузка в электромеханических стендах для испытания электрических машин / В.В. Тодарев, М.Н. Погуляев, И.В. Дорощенко // Современные проблемы машиноведения : тезисы докладов VIII Международной научно-технической конференции (научные чтения, посвященные 115-летию со дня рождения Павла Осиповича Сухого), Гомель, 28–29 октября 2010 года / под общ. ред. С. И. Тимошина. – Гомель: ГГТУ, 2010. – С. 149–150.

2. Савельев, В.А. Нагружающие устройства испытательных стендов / В.А. Савельев, В.Б. Попов, В.В. Тодарев // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сборник тезисов докладов междунар. науч.-практ. конф., 21–22 декабря 2017. – Гомель, 2017. – С. 102–103.

3. Пат. 5370 ВУ, МПК7 H02P 5/00, H04R 29/00. Устройство для управления системой нагружения испытательного стенда // Афицыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2003. – №3.

4. Пат. 5694 ВУ, МПК7 H02P 5/00, H04R 29/00. Устройство для управления системой нагружения испытательного стенда // Афицыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2003. – №4.

5. Дорощенко, И.В. Математическая модель нагрузочной части испытательного стенда, инвариантного к скорости вращения на основе асинхронно-вентильного каскада / И.В. Дорощенко, В.С. Захаренко, В.А. Савельев // Вестник Гомельского гос. техн. универта им. П.О. Сухого. – 2013. – № 3. – С. 63–72. ■

Статья поступила в редакцию 11.07.2018

Энергосмесь

В Польше начали взимать плату за зарядку электромобилей

Самая крупная сеть станций зарядки электромобилей в Польше GreenWay Polska начала взимать плату за использование своей инфраструктуры. Если принять во внимание запланированные тарифы быстрой зарядки ночью, стоимость заправки авто на 100 км обходится теперь примерно в 2,5 евро, пишет «Радио Польша».

«Поскольку мы ввели плату, мы можем видеть изменения в способе зарядки автомобилей, – отметил Рафал Чижевски, президент GreeWay Polska. – Прежде всего, ежемесячное количество сессий зарядки упало в четыре раза. На это оказало значительное влияние значительное сокращение использования нашей сети компаниями по прокату такси и ав-

томобилей, которые ранее генерировали более 20% спроса на наши услуги... Второе: мы заряжаем быстрее – теперь это около 43 минут за один сеанс...»

По словам Рафала Чижевски, эти изменения схожи для ряда стран, где после периода бесплатной зарядки компании вводили плату.

greenwaypolka.pl