

## ИНВАРИАНТНЫЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ СТЕНД ИСПЫТАНИЯ ТРАНСМИССИЙ

Докт. техн. наук, проф. ЛУКОВНИКОВ В. И., канд. техн. наук, доц. ЗАХАРЕНКО С. И.,  
аспиранты ЗАХАРЕНКО В. С., САВЕЛЬЕВ В. А.

*Гомельский государственный технический университет*

При длительных по времени испытаниях трансмиссий мощных рабочих машин требуется автоматически имитировать разнообразные нагрузочные механические характеристики с пониженными энергетическими затратами.

Высокий уровень автоматического имитирования разнохарактерных нагрузок (сухое и жидкостное трение, вентиляторный момент, пульсирующая и колебательная нагрузка и т. д.) можно обеспечить использованием инвариантного принципа управления, а экономичность исследований — применением рекуперации энергии или использованием метода взаимной нагрузки электрических машин [1] в электромеханическом испытательном стенде.

Существующие электромеханические испытательные стенды не обеспечивают в комплексе указанные требования к испытаниям трансмиссий, хотя имеются технические реализации стендов, в которых эти требования частично удовлетворяются [2, 3].

На рис. 1 изображена разработанная нами функциональная схема одного варианта электромеханического испытательного стенда, в котором при рекуперации энергии в сеть в приводной части стенда реализована инвариантность к моменту сопротивления, а в нагрузочной части — инвариантность к частоте вращения. Инвариантность обеспечивается по принципу Понселе за счет введения компенсирующих сигналов — положительных обратных связей по моменту и частоте вращения, измеряемых тахогенератором и датчиком момента (тока якоря).

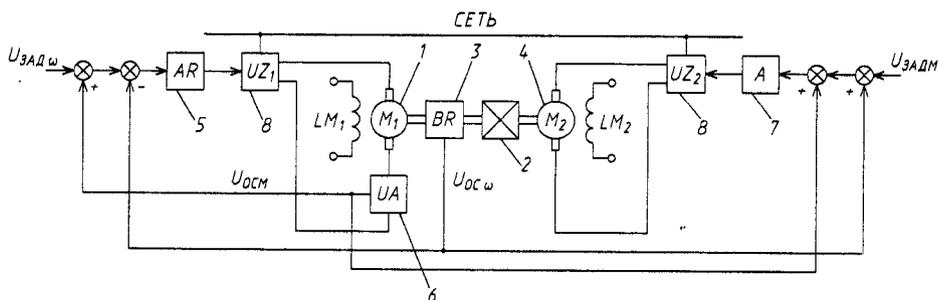


Рис. 1 — 1 — приводной электродвигатель; 2 — испытуемая трансмиссия; 3 — тахогенератор; 4 — нагрузочный электрический генератор; 5 — регулятор скорости; 6 — датчик момента; 7 — регулятор момента; 8 — тиристорные преобразователи

Анализ статического режима этого стенда показал, что условием инвариантности приводной части к нагрузочному моменту будет равенство

$$K_1 = \frac{R_{я1} I_{яN1} U_{тпN1}}{U_{яN1} K_{тп1} U_{яN1}}, \quad (1)$$

и нагрузочной части к частоте вращения

$$K_3 = \frac{\omega_{N1} U_{\text{тп}N2} E_{\text{я}N2}}{i \omega_{N2} K_{\text{тп}2} U_{\text{y}N2} U_{\text{я}N2}}. \quad (2)$$

Причем выполнение стабилизирующей обратной связи по скорости в приводной части стэнда в соответствии с соотношением

$$K_2 = 1 - \frac{U_{\text{тп}N1} E_{\text{я}N1}}{K_{\text{тп}1} U_{\text{y}N1} U_{\text{я}N1}} \quad (3)$$

и стабилизирующей обратной связи по моменту в нагрузочной части в соответствии с

$$K_4 = 1 - i \frac{R_{\text{я}2} I_{\text{я}N2} U_{\text{тп}N2} M_{N1}}{U_{\text{я}N2} K_{\text{тп}2} U_{\text{y}N2} M_{N2}} \quad (4)$$

позволяет получить линейные статические характеристики стэнда в относительных переменных вида

$$\begin{cases} \omega_{01} = U_{\text{зад}\omega 0}; \\ M_{01} = -U_{\text{зад}M 0}. \end{cases} \quad (5)$$

В соотношениях (1)—(5) обозначено:

$K_1 = \frac{U_{\text{осм}1} M_{N1}}{M_1 U_{\text{y}N1}}$  — относительный коэффициент передачи, компенсирующей положительной обратной связи по моменту в приводной части стэнда;

$K_2 = \frac{U_{\text{ос}\omega 1} \omega_{N1}}{\omega_1 U_{\text{y}N1}}$  — то же, стабилизирующей отрицательной обратной связи по скорости в приводной части стэнда;

$K_3 = \frac{U_{\text{ос}\omega 2} \omega_{N1}}{\omega_1 U_{\text{y}N2}}$  — то же, компенсирующей положительной обратной связи по скорости в нагрузочной части стэнда;

$K_4 = \frac{U_{\text{ос}M 2} M_{N1}}{M_1 U_{\text{y}N2}}$  — то же, стабилизирующей отрицательной обратной связи по моменту в нагрузочной части стэнда;

$E_{\text{я}}$ ,  $U_{\text{я}}$ ,  $I_{\text{я}}$ ,  $R_{\text{я}}$  — ЭДС, напряжение, ток и активное сопротивление якорной цепи;

$U_{\text{y}}$ ,  $U_{\text{тп}}$ ,  $K_{\text{тп}}$  — напряжение управления, напряжение на выходе и коэффициент передачи тиристорного преобразователя;

$\omega$  — частота вращения;

$i$  — передаточное число трансмиссии;

$U_{\text{зад}}$  — напряжение задания;

$M$  — электромагнитный момент.

Индексы  $N$  и  $0$  указывают номинальные и относительные величины, а индексы  $1$  и  $2$  отмечают принадлежность переменных к приводному электродвигателю и нагрузочному генератору.

На рис. 2 приведены механические характеристики стенда, из которых видно, что в приводной части они абсолютно жесткие (инвариантность по моменту нагрузки), а в нагрузочной части они абсолютно мягкие (инвариантность по частоте вращения).

На рис. 3 изображена разработанная нами функциональная схема другого варианта электромеханического испытательного стенда, в котором использован принцип взаимной нагрузки электрических машин и в приводной части стенда реализована инвариантность к моменту сопротивления за счет введения компенсирующей положительной обратной связи по моменту, а в нагрузочной части обеспечена инвариантность к частоте вращения за счет введения развязывающих функциональных блоков извлечения квадратного корня и деления при управлении потоком возбуждения.

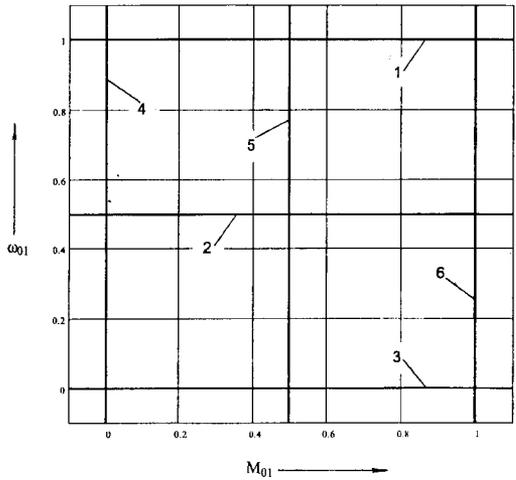


Рис. 2. 1, 2, 3 — характеристики электропривода при заданиях 0; 0,5; 1 соответственно; 4, 5, 6 — характеристики нагрузочной машины при заданиях 0; -0,5; -1 соответственно

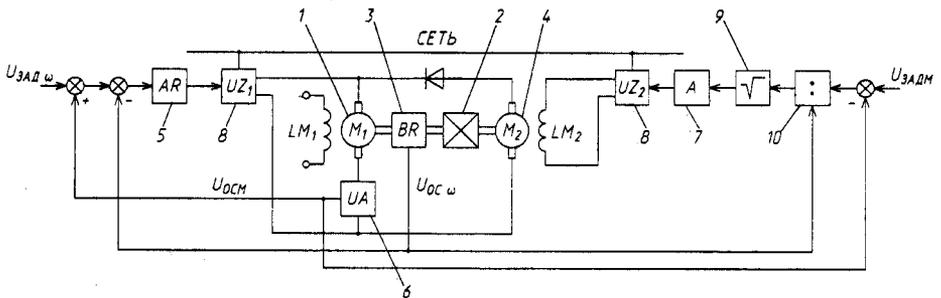


Рис. 3. Обозначения те же, что на рис. 1; 9 — функциональный блок извлечения квадратного корня; 10 — делитель

Анализ статического режима этого варианта электромеханического стенда показал, что для приводной части соотношения для относительных коэффициентов передачи компенсирующей (по моменту)  $K_1$  и стабилизирующей (по скорости)  $K_2$  обратных связей не изменились (1), (3) и вид статической характеристики  $\omega_{01} = U_{зад0}$  сохранился.

Для нагрузочной части существует рабочая область допустимых значений нагрузочных моментов, определяемая неравенством

$$M_1 \leq \frac{E_{яN1} M_{N1}}{R_{я1} I_{яN1} \omega_{N1}} \omega_1. \quad (6)$$

В этой области обеспечивается инвариантность к частоте вращения при физически реализуемых параметрах только с точностью до  $\delta$  (допустимое отклонение механической характеристики нагрузочной части стэнда от идеальной  $M_{01} = U_{задм0}$  в относительных единицах).

При этом из двух значений коэффициента передачи стабилизирующей (по моменту) обратной связи

$$K_3 = \frac{1 + U_{задм0} / M_{01}}{2} \left( 1 \pm \sqrt{1 + \frac{4a}{(1 + U_{задм0} / M_{01})^2}} \right) \quad (7)$$

следует выбирать удовлетворяющий условию  $0 < K_3 < 1$  и более близкий к единице. В выражении (7)

$$a = \frac{U_{задм0}}{M_{01}} + \frac{R_{я2} I_{яN2} M_{N1} \omega_{N1} U_{яN1}}{M_{01} U_{яN2} M_{N2} \omega_{N2} (E_{яN1} \omega_{01} - R_{я1} I_{яN1} M_{01})^2} \delta^2.$$

Относительный коэффициент передачи регулятора момента для данного варианта стэнда определяется

$$K_4 = \sqrt{\frac{b}{1 - K_3}}, \quad (8)$$

где

$$b = \frac{i^2 M_{N1} \omega_{N2} R_{я2} I_{яN2} U_{яN2}}{M_{N2} \omega_{N1} K_{тп2}^2 U_{yN2}^2}.$$

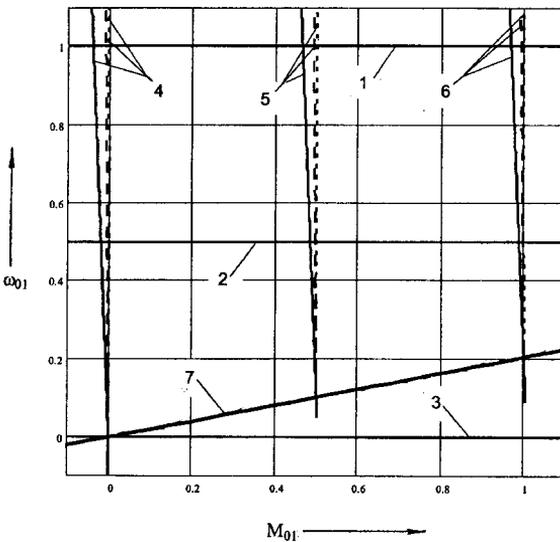


Рис. 4. Обозначения те же, что на рис. 2; 7 — граница допустимых значений момента при  $K_3 = 1$ ; сплошные линии соответствуют характеристикам при  $K_4 = 5$ ; штриховые — 10; пунктирные — 20

На рис. 4 приведены механические характеристики стэнда, из которых видно, что в данном варианте его исполнения не удается добиться идеальной мягкости механической характеристики нагрузочной части стэнда, т. е. обеспечивается неполная инвариантность к частоте вращения.

По заказу Гомельского вагоноремонтного завода нами был реализован второй вариант стэнда для испытания редукторов вагонных генераторов. Он выполнен на электрических машинах ДК210А мощно-

стью 110 кВт; передаточное число редуктора — 2,96; передаточное число ременной передачи — 0,641; диапазон регулирования частоты вращения —  $0 \div 960$  об./мин; диапазон регулирования мощности нагрузки —  $0 \div 40$  кВт; отношение потребляемой мощности из сети к отдаваемой мощности в испытуемый редуктор — 1/3.

Результаты приемо-сдаточных испытаний и последующая эксплуатация стенда подтвердили полученные теоретические выводы и рекомендации по настройке его управляющих и компенсирующих обратных связей для статического режима.

## ВЫВОДЫ

1. Численный анализ механических характеристик и результаты промышленной эксплуатации убеждают в перспективности предложенных схемных реализаций инвариантных высокоэкономичных испытательных электромеханических стендов.

2. Стенд с рекуперацией энергии в сеть (рис. 1) более сложен в технической реализации силовой части, чем стенд со взаимной нагрузкой машин (рис. 2), но при настройках обратных связей (1)—(4) он позволяет получить полную инвариантность приводной части к моменту, а нагрузочной — к частоте вращения (5).

3. Стенд со взаимной нагрузкой машин при настройках обратных связей по соотношениям (1), (3) также обеспечивает полную инвариантность приводной части, но в нагрузочной может быть реализована только инвариантность с точностью  $\delta$  по условиям (6)—(8).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коварский Е. М., Янко Ю. И Испытание электрических машин. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 320 с.

2. Устройство имитации момента статического трения электропривода с датчиком тока: А. с. 1823121, МКИ<sup>5</sup> H02 P5/00 / А. Е. Конюхов и др.; ЦНИИАиГ // Бюл. Открытия. Изобретения. — 1993. — № 23. — С. 81.

3. Электропривод стенда для испытания механических передач: А. с. 1429267, МКИ<sup>4</sup> H02 P5/00 / Г. М. Иванов и др.; ВНИИиПКИ по АЭП // Бюл. Открытия. Изобретения. — 1988. — № 37. — С. 231.

Представлена кафедрой  
автоматизированного  
электропривода

Поступила 2.04.1999