

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Анализ причин отказов асинхронных тяговых электродвигателей при эксплуатации на подвижном составе РАО РЖД, проведенный ведущим изготовителем электровозов в РФ – ЗАО «Трансмашхолдинг», выявил негативное влияние «человеческого фактора» на результаты приемо-сдаточных испытаний двигателей на стендовом оборудовании, создававшемся более четверти века назад на основе питающих и нагрузочных электромашинных агрегатов. Последнее обстоятельство стало одной из причин создания в 2009-2010 г.г. новой испытательной станции двигателей на ведущем российском заводе-изготовителе электровозов – ОАО ПК «НЭВЗ». Разработка, изготовление, поставка и запуск в работу полного комплекта силового оборудования, а также, средств автоматизации и управления вновь создаваемой станцией была осуществлена МК «Энергосбережение». С целью достижения максимально возможного уровня автоматизации при проведении всех испытаний двигателей и, в первую очередь, нагрузочных, на стендах станции впервые в СНГ установлены статические инверторы напряжения, общее управление которыми осуществляет АСУ, построенная на базе современных промышленных контроллеров и компьютеров.

Наиболее сложным, с точки зрения реализации, является нагрузочное испытание, проводимое на стенде для двух однотипных двигателей методом взаимной нагрузки, как показано на рис.1. В указанной схеме одна из машин (АД1) работает в режиме двигателя, вторая машина (АД2) – нагрузочный генератор, возврат энергии от генератора производится в общее звено постоянного тока двух инверторов (ИН1 и ИН2), компенсация потерь в схеме осуществляется из питающей сети через общий выпрямитель (В).

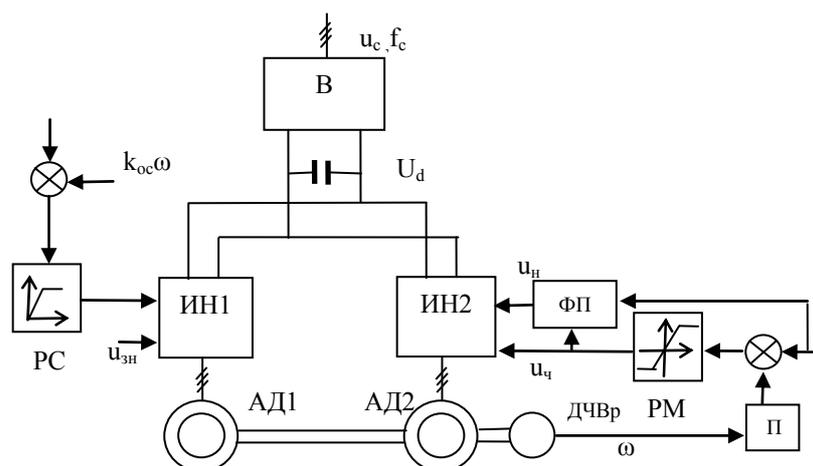


Рис. 1 Взаимная нагрузка двух однотипных тяговых двигателей.

По условиям проведения испытаний в схеме должны одновременно с определенной точностью выдерживаться: напряжение статорной обмотки двигателя, частота вращения общего вала и обеспечиваться нагрузочный момент, развиваемый машиной, работающей в режиме генератора. В связи с тем, что на практике простые прямые способы измерения момента отсутствуют, регулирование момента генератора производится по заданию момента ( $u_{зм}$ ) с обратной связью по скорости, которая определяется по сигналу, поступающему от импульсного датчика частоты вращения (ДЧВр), подключенного к общему валу двух машин.

Уравнение для канала регулирования частоты АД2 имеет вид:

$$\omega_{0эл} = k_{р}k_{рм}(u_{зм} + k_{пс}\omega), \quad (1)$$

где:  $k_{рм}$  - коэффициент усиления регулятора момента,  
 $k_{пс}$  коэффициент усиления в канале преобразования сигнала скорости,  
 $u_{зм}$  - сигнал задания момента.

Пренебрегая постоянной времени преобразователя в цепи ДЧВр, уравнение механической характеристики для АД2 можно записать в виде:

$$(T_s p + 1) M = k_m u_{зм}, \quad (2)$$

где:  $T_3$  - электромагнитная постоянная,

$$k_M = \beta_r k_{рм} k_f / p_n$$

$p_n$  - число пар полюсов

$\beta_r$  - жесткость линейризованной механической характеристики.

Разрешая (1) относительно  $\omega$ , получим, как и следовало ожидать, способ управления машиной АД2 по абсолютному скольжению  $s_a$ :

$$u_{3M} = k_s \cdot s_a, \quad (3)$$

где  $k_s = p_n \omega_{ном} / k_f k_{рм}$ .

Уравнение механической характеристики для машины АД1, работающей в режиме двигателя имеет вид:

$$(T_3 p + 1) M = k_{pc}(u_{3c} - k_{oc}\omega), \quad (4)$$

где  $u_{3c}$  - сигнал задания скорости,

$k_{pc}$  - коэффициент усиления регулятора скорости,

$k_{oc}$  - коэффициент усиления в цепи обратной связи по скорости.

Модуль жесткости определяется из (4) при  $p = 0$ :

$$\beta_d = k_{pc} \cdot k_{oc} \quad (5)$$

Хотя теоретически жесткость может быть сколь угодно большой, величина  $\beta_d$ , ограничена возможностью возникновения колебаний в системе и, как показала практика работы со стендовым оборудованием при реальных испытаниях, для обеспечения устойчивой работы схемы взаимной нагрузки при настройке необходимо добиваться выполнения требования равенства жесткостей статических характеристик обеих машин:

$$\beta_r = \beta_d \quad (6)$$

Проведение испытаний асинхронных тяговых двигателей по методу взаимной нагрузки в соответствии со схемой, показанной на рис. 1, имеет еще одну особенность, заключающуюся в наличии общей емкости звена постоянного напряжения инвертора ИН1, обеспечивающего питание двигателя, и инвертора ИН2, установленного в цепи нагрузочного генератора. При работе схемы в режиме нагружения между частотой электрического напряжения на зажимах двигателя ( $\omega_d$ ) и частотой напряжения на зажимах генератора ( $\omega_r$ ) всегда выполняется соотношение:  $\omega_d > \omega_r$ . Так как значения частот близки, можно положить  $\omega_r = \omega_d (1-\alpha)$ , считая  $\alpha \ll 1$ . При сложении на общей емкости токов, поступающих к двигателю и приходящих от генератора, в напряжении  $U_d$  звена образуются низкочастотные биения с модулирующими частотами  $\omega_d/\alpha$  и  $\omega_d/6\alpha$  (т.к. схема инверторов – шестипульсовая). Несмотря на то, что размах биений мал по сравнению со средним значением  $U_d$ , низкочастотные биения, в свою очередь, могут приводить к биениям токов статора машин и момента на общем валу.

Уменьшить размах биений в общем звене постоянного напряжения инверторов можно увеличивая общую емкость звена. В стандартных инверторах, нагруженных на один двигатель, емкость звена, как правило выбирается исходя из удельной величины 50...100 мкФ на 1 кВт мощности нагрузки. Практика показывает, что в схеме взаимной нагрузки емкость звена следует выбирать из соотношения 200...300 мкФ на 1 кВт мощности испытуемого двигателя. При этом биения напряжения в общем звене уменьшаются до величины, не оказывающей заметного влияния на электрические процессы в статорных цепях двигателя и нагрузочного генератора. Влияние биений может быть также снижено и путем соответствующей настройки регуляторов напряжения в системах управления инверторами ИН1 и ИН2.