

А.М. Афанасов, канд. техн. наук

(Украина, Днепрпетровск, Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. ак В. Лазаряна)

РЕГУЛИРОВАНИЕ НЕБАЛАНСНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ ВЗАИМНОГО НАГРУЖЕНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОМАШИН

Выбор оптимального способа компенсации потерь мощности в системах взаимного нагружения тяговых электромашин является основным направлением решения задачи повышения энергетической эффективности стенов для их испытания.

В большинстве вариантов систем взаимного нагружения электромашин постоянного тока используется принцип компенсации одного из видов потерь (электрических, холостого хода) путем создания небалансной электромагнитной мощности испытуемых генератора и двигателя [1].

Представим данную небалансную электромагнитную мощность в виде разницы

$$\Delta P_{эм} = P_{эмг} - P_{эмд}, \quad (1)$$

где $P_{эмг}$, $P_{эмд}$ – электромагнитные мощности испытуемых генератора и двигателя соответственно.

$$P_{эмг} = c\Phi_{г}w_{г}I_{г}, \quad (2)$$

$$P_{эмд} = c\Phi_{д}w_{д}I_{д}, \quad (3)$$

где c – конструктивная постоянная однотипных испытуемых электромашин; $\Phi_{г}$, $\Phi_{д}$ – магнитные потоки генератора и двигателя соответственно; $w_{г}$, $w_{д}$ – угловые скорости вращения якорей генератора и двигателя соответственно; $I_{г}$, $I_{д}$ – токи якорей генератора и двигателя соответственно.

При механическом способе компенсации электрических потерь

$$\Delta P_{эм} > 0,$$

а при электрическом способе компенсации потерь холостого хода

$$\Delta P_{эм} < 0.$$

Объединив формулы (1)-(3), после ввода новых обозначений получим выражение для небалансной электромагнитной мощности в общем виде

$$\Delta P_{эм} = c(\Phi_{г}I_{г}\Delta w + \Phi_{г}\Delta I w_{д} + \Delta\Phi I_{д}w_{д}), \quad (4)$$

где $\Delta\Phi = \Phi_{г} - \Phi_{д}$ – разница магнитных потоков генератора и двигателя; $\Delta w = w_{г} - w_{д}$ – разница угловых скоростей валов генератора и двигателя; $\Delta I = I_{г} - I_{д}$ – разница токов якорей генератора и двигателя.

Путем изменения $\Delta P_{эм}$ в системах взаимного нагружения осуществляется регулирование либо угловой скорости валов испытуемых электромашин, либо силы тока в обмотках их якорей.

Обобщенная универсальная схема системы взаимного нагружения тяговых электромашин, позволяющая реализовать любой из способов компенсации потерь [2], представлена на рис. 1.

Обмотка якоря электромашин, испытуемой в режиме генератора, G соединена последовательно с источником электрической мощности И1 (вольтодобавка) и подключена к входу конвертора напряжения (тока) К. К выходу конвертора К подключены соединенные последовательно обмотка якоря электромашин, испытуемой в режиме двигателя, M и обмотки возбуждения испытуемых электромашин M и G . Параллельно с выходом конвертора К включен источник электрической мощности И2. Параллельно каждой из обмоток возбуждения G и M подключены регуляторы поля РП1 и РП2 соответственно. регуляторы поля позволяют осуществлять отпитку-подпитку обмоток возбуждения. Валы испытуемых электромашин соединены между собой через редуктор Р (вариатор) и источник угловой скорости ИС (добавка скорости). Дополнительно к валу испытуемого генератора подсоединен двигатель $M_{д}$ (источник момента).

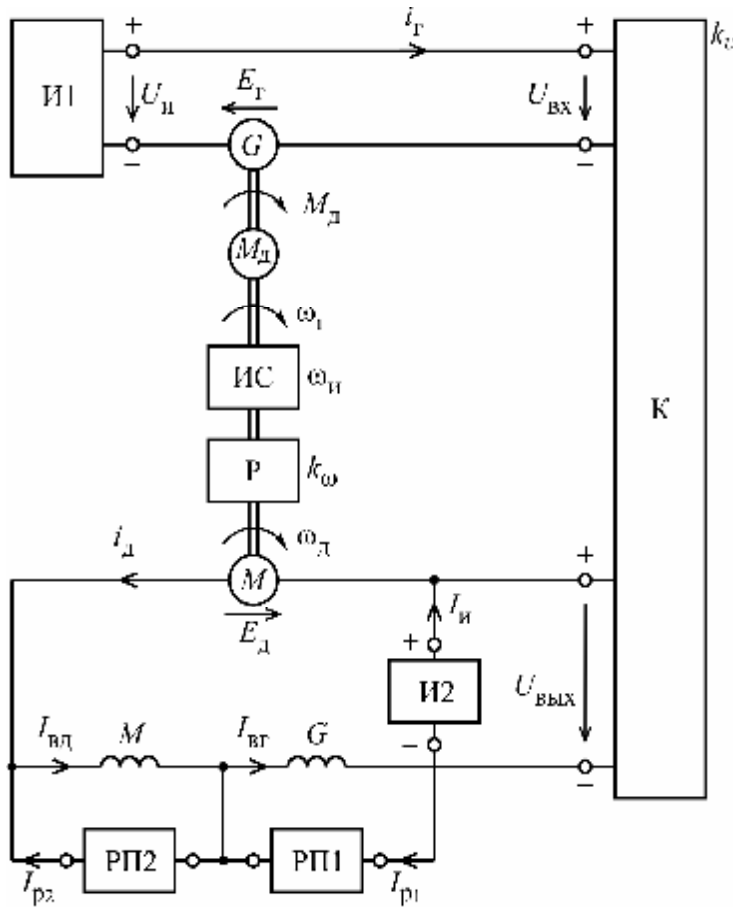


Рис. 1. Обобщенная универсальная схема системы взаимного нагружения тяговых электромашин

где I_{p1} , I_{p2} – токи регуляторов поля РП1 и РП2 соответственно.

Для удобства пользования уравнением (4) имеет смысл выразить значение $\Delta P_{эм}$ либо только через параметры испытуемого двигателя (Φ_d , w_d , I_d), либо только через параметры испытуемого генератора (Φ_g , w_g , I_g). При этом уравнение (4) может быть представлено в двух видах:

$$\Delta P_{эм} = c(\Phi_d I_d \Delta w + \Phi_d \Delta I w_d + \Delta \Phi I_d w_d + \Delta \Phi \Delta I w_d + \Phi_d \Delta I \Delta w + \Delta \Phi I_d \Delta w + \Delta \Phi \Delta I \Delta w); \quad (8)$$

$$\Delta P_{эм} = c(\Phi_g I_g \Delta w + \Phi_g \Delta I w_g + \Delta \Phi I_g w_g - \Delta \Phi \Delta I w_g - \Phi_g \Delta I \Delta w - \Delta \Phi I_g \Delta w + \Delta \Phi \Delta I \Delta w). \quad (9)$$

Небалансная э.д.с. испытуемых генератора и двигателя, приведенная к цепи якорной обмотки генератора, может быть выражена как

$$\Delta E = E_g - E'_d,$$

где E_g , E'_d – э.д.с. генератора и приведенная э.д.с. двигателя соответственно.

Приведенное значение э.д.с. двигателя в общем виде может быть выражено как

$$E'_d = \frac{E_d}{k_U},$$

где E_d – э.д.с. испытуемого двигателя.

Разница угловых скоростей валов испытуемых электромашин [3]

$$\Delta w = w_d(k_w - 1) + w_u, \quad (5)$$

где w_u – добавка угловой скорости источника ИС; k_w – коэффициент передачи угловой скорости редуктора Р:

$$k_w = \frac{w_g}{w_d}.$$

Разница токов якорей испытуемых электромашин [3]

$$\Delta I = I_d(k_U - 1) + I_u k_U, \quad (6)$$

где I_u – сила тока источника И2; k_U – коэффициент передачи по напряжению конвертора К.

Разница магнитных потоков испытуемых электромашин

$$\Delta \Phi = \Phi(I_{вг}) - \Phi(I_{вд}), \quad (7)$$

где $I_{вг}$, $I_{вд}$ – токи возбуждения генератора и двигателя соответственно.

$$I_{вг} = I_d + I_{p1};$$

$$I_{вд} = I_d + I_{p2},$$

$$E_r = c\Phi_r u_r ;$$

$$E_d = c\Phi_d u_d .$$

Небалансный электромагнитный момент испытуемых генератора и двигателя, приведенный к валу двигателя, может быть выражен как

$$\Delta M_{эм} = M'_{эмГ} - M_{эмД} ,$$

где $M_{эмД}$, $M'_{эмГ}$ – электромагнитный момент двигателя и приведенный электромагнитный момент генератора.

Приведенный электромагнитный момент генератора можно представить в виде

$$M'_{эмГ} = M_{эмГ} \cdot k_w ,$$

где $M_{эмГ}$ – электромагнитный момент испытуемого генератора.

$$M_{эмГ} = c\Phi_r I_r ;$$

$$M_{эмД} = c\Phi_d I_d .$$

При механическом способе компенсации электрических потерь регулирование небалансной электромагнитной мощности $\Delta P_{эм}$ сводится к регулированию небалансной э.д.с. ΔE и, как следствие, тока I_r [4]. Эти параметры связаны между собой уравнением

$$\Delta E = I_r R_3 + L_3 \frac{di_r}{dt} ,$$

где R_3 , L_3 – эквивалентные, приведенные к цепи генератора активное сопротивление и индуктивность электрического контура соответственно.

Структурная схема регулирования тока I_r представлена на рис. 2.

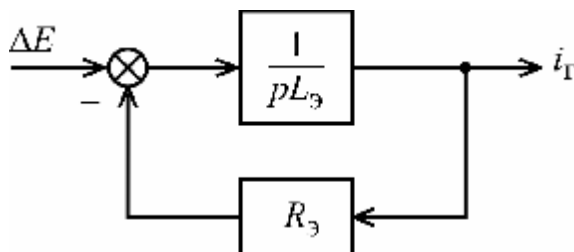


Рис. 2. Структурная схема регулирования тока I_r

В стационарном режиме

$$I_r = \frac{\Delta E}{R_3} .$$

При электрическом способе компенсации потерь холостого хода регулирование небалансной электромагнитной мощности $\Delta P_{эм}$ сводится к регулированию небалансного электромагнитного момента $\Delta M_{эм}$ и, как следствие, угловой скорости

ω_d и напряжений на испытуемых электромашинах [5]. Эти параметры связаны между собой уравнением

$$-\Delta M_{эм} = \Delta M_{xx} + J_3 \frac{d\omega_d}{dt} ,$$

где ΔM_{xx} , J_3 – потери момента, обусловленные потерями холостого хода, и эквивалентный момент инерции, приведенные к валу испытуемого двигателя.

Структурная схема регулирования угловой скорости ω_d представлена на рис. 3.

Потери момента ΔM_{xx} для каждой из электромашин являются функцией угловой скорости ω и магнитного потока Φ . Магнитный поток Φ в каждой из электромашин определяется током возбуждения, зависящим от тока нагрузки I_r .

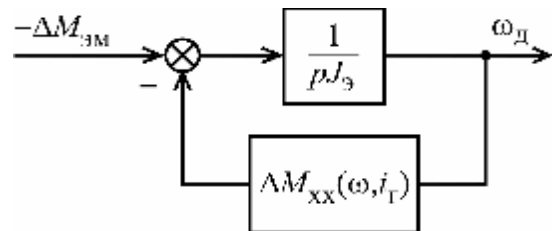


Рис. 3. Структурная схема регулирования угловой скорости ω_d

$$\Delta M_{xx} = f(u_d, i_r).$$

В стационарном режиме

$$u_d = f^*(-DM_{эм}),$$

где f^* – функция, обратная f .

Каждому отдельно выбранному способу компенсации потерь мощности в системе взаимного нагружения электромашин будут соответствовать частные выражения для небалансной электромагнитной мощности $\Delta P_{эм}$, получаемые из уравнений (8) и (9). Для ряда вариантов системы взаимного нагружения:

$\Delta\omega = 0$; $\Delta I = 0$. Как правило, $\Delta\Phi \neq 0$, что связано с частым расхождением магнитных характеристик испытываемых тяговых электромашин.

Принятый вариант регулирования небалансной электромагнитной мощности в системе взаимного нагружения тяговых электромашин определяет принципы управления испытательным стендом, структуру системы автоматического управления, её стоимость и энергетическую эффективность испытательной системы в целом.

Рациональность того или иного варианта системы взаимного нагружения определяется типовой мощностью тяговых электромашин, номинальным напряжением на коллекторе, типом тяговой передачи и долей отдельных видов потерь в суммарных потерях мощности в испытываемых электромашинах.

Список литературы

1. Афанасов, А. М. Теоретический анализ энергетических процессов при взаимной нагрузке тяговых электрических машин постоянного тока [Текст] / А. М. Афанасов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 25 – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 258-262.
2. Афанасов, А. М. Принципы синтеза схем взаимной нагрузки тяговых электромашин постоянного тока [Текст] / А. М. Афанасов // Наук.-техн. збір. "Гірнич. електромеханіка та автоматика". – 2010. – Вип. 85. – С. 183-189.
3. Афанасов, А. М. Электромеханические принципы обеспечения взаимной нагрузки электрических машин постоянного тока [Текст] / А. М. Афанасов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 27. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 42-46.
4. Афанасов, А. М. Условия компенсации механических и магнитных потерь при взаимной нагрузке тяговых электрических машин по схеме Потье [Текст] / А. М. Афанасов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 29. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 59-62.
5. Афанасов, А. М. Компенсация электрических потерь при взаимной нагрузке тяговых электромашин по схеме Гопкинсона [Текст] / А. М. Афанасов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 28. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 34-37.

Рекомендовано до друку проф. Костіним М.О.