

ВЫБОР ТИПОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ВЗАИМНОГО НАГРУЖЕНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОМАШИН С МЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ КОМПЕНСАЦИИ ПОТЕРЬ ХОЛОСТОГО ХОДА

Представил д.т.н., профессор Гетьман Г. К.

В настоящее время известен целый ряд вариантов схем взаимной нагрузки электрических машин постоянного тока, как независимого, так и последовательного возбуждения [1, 2]. Схема с механическим способом компенсации потерь холостого хода и электрическим способом компенсации электрических потерь является единственным вариантом системы взаимного нагружения с прямым способом покрытия потерь, без дополнительного преобразования вида мощности в испытуемых электромашин [3].

При использовании современной преобразовательной техники данный вариант схемы взаимной нагрузки для проведения приёмодаточных испытаний определённого типа тяговых электромашин может быть наиболее рациональным. К преимуществам рассматриваемой схемы следует отнести отсутствие высоковольтного регулятора напряжения и относительную простоту регулирования тока нагрузки и частоты вращения якорей электромашин.

Принципиальная схема стенда взаимной нагрузки с механическим способом компенсации потерь холостого хода и электрическим способом компенсации электрических потерь приведена на рис.1. Якорные обмотки и обмотки возбуждения испытуемых двигателя М и генератора Г включены последовательно в общую цепь и подключены к источнику напряжения (источник И1). Валы испытуемых двигателя М и генератора Г механически соединены между собой и с валом дополнительного двигателя (источник И2).

При совпадении магнитных характеристик испытуемых электромашин источник напряжения И1 компенсирует электрические потери а источник момента И2 - потери холостого хода в испытуемых электромашин. Ток нагрузки при испытании регулируется напряжением источника И1, а угловая скорость – моментом источника И2. При расхождении магнитных характеристик испытуемых электромашин характер компенсации видов потерь мощности существенно меняется.

Главной особенностью режима взаимного нагружения однотипных электромашин с расходящимися магнитными характеристиками является наличие небалансной электромагнитной мощности электромашин. Наличие такой небалансной электромагнитной мощности в системах взаимного нагружения с двумя источниками приводит к перераспределению энергетических потоков между ними [2]. Такое перераспределение энергетических потоков требует дополнительного запаса мощности источников. Рассмотрим работу системы взаимного нагружения с учётом возможного расхождения магнитных характеристик испытуемых тяговых электромашин.

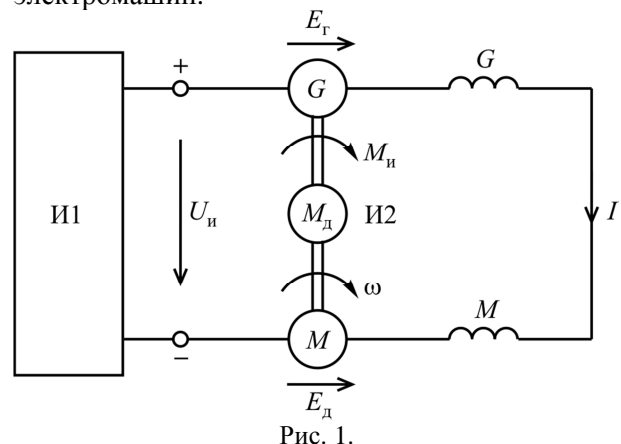


Рис. 1.

В статическом режиме взаимное нагружение для данной схемы описывается системой уравнений баланса напряжений и моментов:

$$\begin{cases} \sum \Delta U = U_{и} + E_{Г} - E_{д}; \\ \sum \Delta M = M_{и} + M_{эмд} - M_{эмг}, \end{cases} \quad (1)$$

где $U_{и}$ – напряжение на выходе источника И1;
 $E_{д}$, $E_{Г}$ – электродвижущие силы вращения испытуемых двигателя и генератора соответственно;

$\sum \Delta U$ – суммарное падение напряжений в электрической цепи;

$M_{и}$ – момент дополнительного источника И2;

$M_{\text{эмд}}$, $M_{\text{эмг}}$ – электромагнитные моменты испытуемых двигателя и генератора соответственно;

$\sum \Delta M$ – суммарный момент сопротивления вращению, обусловленный потерями холостого хода в испытуемых электромашинах.

Суммарное падение напряжений в электрической цепи данной схемы

$$\sum \Delta U = I \cdot \sum R$$

где I – ток нагрузки испытуемых электромашин;

$\sum R$ – суммарное активное сопротивление электрической цепи.

В случае полного совпадения магнитных характеристик испытуемых электромашин их электромагнитные мощности равны между собой. Потребные полезные мощности $P_{\text{и1}}$ и $P_{\text{и2}}$ источников И1 и И2 соответственно для данного условия:

$$P_{\text{и1}} = \sum \Delta P_{\text{xx}} ; \quad (2)$$

$$P_{\text{и2}} = \sum \Delta P_{\text{э}} , \quad (3)$$

где $\sum \Delta P_{\text{xx}}$, $\sum \Delta P_{\text{э}}$ – суммарные потери холостого хода и электрические потери соответственно.

В случае расхождения магнитных характеристик испытуемых электромашин выражения для определения потребных мощностей источников И1 и И2 будут иметь вид, отличный от (2) и (3). Найдем данные выражения, умножив обе части первого и второго уравнений системы (1) на I и ω соответственно.

$$\begin{cases} \sum \Delta P_{\text{э}} = U_{\text{и}} \cdot I + I(E_{\text{г}} - E_{\text{д}}); \\ \sum \Delta P_{\text{xx}} = M_{\text{и}} \cdot \omega + \omega(M_{\text{эмд}} - M_{\text{эмг}}). \end{cases} \quad (4)$$

Учитывая, что $P_{\text{и1}} = U_{\text{и}} \cdot I$, а $P_{\text{и2}} = M_{\text{и}} \cdot \omega$, после преобразований уравнений системы (4) получим:

$$P_{\text{и1}} = \sum \Delta P_{\text{э}} + \Delta P_{\text{эм}} ; \quad (5)$$

$$P_{\text{и2}} = \sum \Delta P_{\text{xx}} - \Delta P_{\text{эм}} , \quad (6)$$

где $\Delta P_{\text{эм}}$ – небалансная электромагнитная мощность испытуемых электромашин, обусловленная расхождением их магнитных характеристик.

$$\Delta P_{\text{эм}} = P_{\text{эмд}} - P_{\text{эмг}} ,$$

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

$$P_{\text{эмд}} = E_{\text{д}} \cdot I ;$$

$$P_{\text{эмг}} = E_{\text{г}} \cdot I .$$

Тогда выражение для $\Delta P_{\text{эм}}$ принимает вид

$$\Delta P_{\text{эм}} = \Delta E \cdot I ,$$

где ΔE – небалансная э. д. с. испытуемых электромашин.

$$\Delta E = E_{\text{д}} - E_{\text{г}} .$$

Сложив выражения (5) и (6), получим уравнения баланса мощностей в виде

$$P_{\text{и1}} + P_{\text{и2}} = \sum \Delta P_{\text{э}} + \sum \Delta P_{\text{xx}} .$$

Выражения (5), (6) могут быть записаны в относительных параметрах, если их правые и левые части разделить на часовую мощность $P_{\text{ч}}$ испытуемых электромашин:

Относительные мощности, использованные в данных выражениях, представляют собой отношения:

$$P_{\text{и1}} = \frac{P_{\text{и1}}}{P_{\text{ч}}} ; P_{\text{и2}} = \frac{P_{\text{и2}}}{P_{\text{ч}}} ; \Delta p_{\text{э}} = \frac{\sum \Delta P_{\text{э}}}{P_{\text{ч}}} ;$$

$$\Delta p_{\text{xx}} = \frac{\sum \Delta P_{\text{xx}}}{P_{\text{ч}}} ; \Delta p_{\text{эм}} = \frac{\Delta P_{\text{эм}}}{P_{\text{ч}}} .$$

Данные относительные параметры более удобны для проведения дальнейшего анализа, так как одни из них ($\Delta p_{\text{э}}$, Δp_{xx}) изменяются для данного типа электромашин в узких пределах, а другие являются нормируемыми ($\Delta p_{\text{эм}}$).

Максимальное относительное значение электрических потерь $\Delta \bar{p}_{\text{э}}$ соответствует максимально возможному (с учётом допустимых отклонений) сопротивлению обмоток испытуемых электромашин в нагретом состоянии.

Максимальное значение относительной составляющей небалансной электромагнитной мощности $\Delta \bar{p}_{\text{эм}}$ может быть определено в виде

$$\Delta \bar{p}_{\text{эм}} = \frac{\Delta \bar{\Phi}_{\text{ч}}}{\Phi_{\text{ч}}} ,$$

где $\Delta \bar{\Phi}_{\text{ч}}$ – максимальная разница магнитных потоков испытуемых электромашин в часовом режиме;

$\Phi_{\text{ч}}$ – магнитный поток в часовом режиме (типовое значение).

Отметим, что ГОСТом 2582-81 [4] нормируется максимально допустимое отклонение частоты вращения испытываемой электромашинны

$$\Delta \bar{n}^* = \frac{\Delta \bar{n}}{n_{\text{ч}}},$$

где $\Delta \bar{n}$ – максимальное отклонение частоты вращения в часовом режиме от типового значения часовой частоты вращения $n_{\text{ч}}$.

Параметр $\Delta \bar{p}_{\text{эм}}$ может быть выражен через относительное отклонение частоты $\Delta \bar{n}^*$ в виде

$$\Delta \bar{p}_{\text{эм}} = 2\Delta \bar{n}^*.$$

Таким образом, максимальная приведенная мощность источника И1 для случая $\Delta P_{\text{эм}} > 0$ будет определяться по формуле

$$\bar{p}_{\text{И1}} = \Delta \bar{p}_{\text{э}} + 2\Delta \bar{n}^*.$$

Для данного режима приведенная мощность источника И2 будет определяться в виде

$$p_{\text{И2}} = \Delta p_{\text{хх}} - 2\Delta \bar{n}^*.$$

Максимальная приведенная мощность источника И2, соответствующая случаю $\Delta P_{\text{эм}} < 0$ будет определяться по формуле

$$\bar{p}_{\text{И2}} = \Delta \bar{p}_{\text{хх}} + 2\Delta \bar{n}^*.$$

Для данного режима приведенная мощность источника И1 будет определяться в виде

$$p_{\text{И1}} = \Delta p_{\text{э}} - 2\Delta \bar{n}^*.$$

Так как реально возможны оба варианта расхождения магнитных характеристик, максимальная суммарная приведенная мощность источников системы взаимного нагружения будет определяться по формуле

$$\sum \bar{p}_{\text{и}} = \Delta \bar{p}_{\text{э}} + \Delta \bar{p}_{\text{хх}} + 4\Delta \bar{n}^*.$$

Если считать потери мощности в двух испытываемых электромашиннах одинаковыми, и пренебречь потерями в соединительных проводах и коммутационной аппаратуре стенда взаимной нагрузки, можно принять

$$\Delta \bar{p}_{\text{э}} + \Delta \bar{p}_{\text{хх}} = 2(1 - \eta_{\text{ч}}),$$

где $\eta_{\text{ч}}$ – коэффициент полезного действия однотипных испытываемых электромашин в часовом режиме.

В соответствии с [4] типовое значение к.п.д. тяговой электромашинны в часовом режиме соответствует нагретому состоянию, то есть $\Delta p_{\text{э}} = \Delta \bar{p}_{\text{э}}$.

Тогда выражение для суммарной приведенной мощности источников запишем в виде

$$\sum \bar{p}_{\text{и}} = 2(1 - \eta_{\text{ч}}) + 4\Delta \bar{n}^*. \quad (7)$$

В табл. 1 приведены значения $\sum \bar{p}_{\text{и}}$, полученные по формуле (7) для реального диапазона значений к.п.д. тяговых двигателей электроподвижного состава и $\Delta \bar{n}^* = 0,03$.

Таблица 1

| К. п. д. | 0,9 | 0,91 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,96 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| $\Delta \bar{p}_{\text{э}} + \Delta \bar{p}_{\text{хх}}$ | 0,2 | 0,18 | 0,16 | 0,14 | 0,12 | 0,1 | 0,08 |
| $\sum \bar{p}_{\text{и}}$ | 0,32 | 0,3 | 0,28 | 0,26 | 0,24 | 0,22 | 0,2 |

Как видно из табл. 1, для тяговых двигателей с высоким коэффициентом полезного действия (до 0,96) необходимый запас суммарной мощности двух источников системы взаимного нагружения, обусловленный возможным расхождением магнитных характеристик испытываемых электромашин, является более чем двукратным.

Данные выводы относятся ко всем вариантам системы взаимного нагружения, в которых отдельные виды потерь (электрические и холостого хода) компенсируются отдельными источниками мощности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Захарченко, Д. Д. Тяговые электрические машины и трансформаторы [Текст] / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов, Е. В. Горчаков – М.: Транспорт, 1979. – 303 с.
- Афанасов, А. М. Электромеханические принципы обеспечения взаимной нагрузки электрических машин постоянного тока [Текст] / А. М. Афанасов // Вісник Дн. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В.Лазаряна: Зб. наук. пр. – 2009. – Вип. 27. – С. 42-46.
- Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин [Текст] / Г. К. Жерве. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
- ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. [Текст] / Государственный стандарт СССР. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 50 с.

Ключевые слова: испытание, тяговая электромашинна, взаимная нагрузка, электромагнитная мощность, электрические потери, потери холостого хода.

Ключові слова: випробування, тягова електромашина, взаємне навантаження, електромагнітна потужність, електричні втрати, втрати холостого ходу.

Keywords: test, hauling electric machine, mutual loading, electromagnetic power, electric losses, losses of idling.