

ВЗАИМНОЕ НАГРУЖЕНИЕ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОМАШИН С РАСХОДЯЩИМИСЯ МАГНИТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Рассмотрены особенности работы систем взаимного нагружения тяговых электромашин при расхождении их магнитных характеристик, предложена методика определения приведенной суммарной мощности источников питания стэнда взаимной нагрузки.

Ключевые слова: электрическая машина, магнитные характеристики, взаимная нагрузка, испытания, электромагнитная мощность, коэффициент полезного действия

Главной особенностью режима взаимного нагружения однотипных тяговых электромашин с расходящимися магнитными характеристиками является наличие дополнительной составляющей небалансной электромагнитной мощности испытуемых электромашин [1]. Наличие такой составляющей небалансной электромагнитной мощности в системах взаимного нагружения с двумя источниками мощности приводит к перераспределению энергетических потоков между ними [1, 2]. Такое перераспределение энергетических потоков требует дополнительного запаса мощности каждого из источников и должно быть учтено при выборе их параметров. Суммарная приведенная мощность источников питания системы взаимного нагружения является одним из основных критериев оптимизации её структуры.

На рис. 1 приведена универсальная схема характера распределения мощностей в системе взаимного нагружения с двумя источниками при совпадении магнитных характеристик и равенстве магнитных потоков испытуемых электромашин.

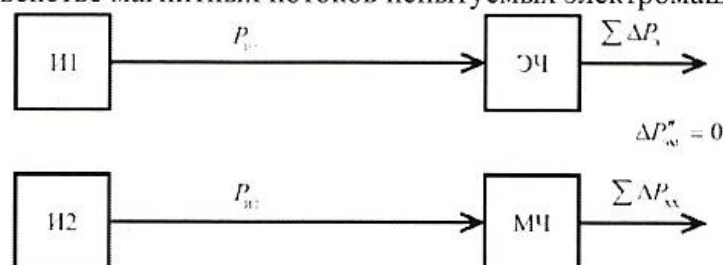


Рис. 1

Источник И1 компенсирует электрические потери в электрической части системы взаимного нагружения ЭЧ. Источник И2 компенсирует потери холостого хода в механической части МЧ. Для данного случая при допустимых упрощениях справедливы выражения:

$$P_{И1} = \sum \Delta P_{\varepsilon};$$

$$P_{И2} = \sum \Delta P_{\text{мх}},$$

где $P_{И1}$, $P_{И2}$ – полезные мощности источников И1 и И2 соответственно;

$\sum \Delta P_{\varepsilon}$, $\sum \Delta P_{\text{мх}}$ – суммарные электрические потери и потери холостого хода в системе взаимного нагружения.

В общем случае разница электромагнитных мощностей испытуемых электромашин может быть представлена в виде [1, 3]

$$\Delta P_{\text{эм}} = \Delta P'_{\text{эм}} + \Delta P''_{\text{эм}},$$

где $\Delta P'_{эм}$ – часть небалансной электромагнитной мощности, которая идёт на покрытие одного из видов потерь;

$\Delta P''_{эм}$ – часть небалансной электромагнитной мощности, вызванная расхождением магнитных потоков $\Delta\Phi$.

На рис. 2 приведена схема распределения мощностей в системе взаимного нагружения при таком расхождении магнитных характеристик, когда магнитный поток испытуемого двигателя больше, чем магнитный поток испытуемого генератора. Условно принимаем такую разницу магнитных потоков положительной ($\Delta\Phi > 0$). Тогда разница электромагнитных мощностей, вызванная разницей магнитных потоков $\Delta\Phi$, также положительна $\Delta P''_{эм} > 0$.

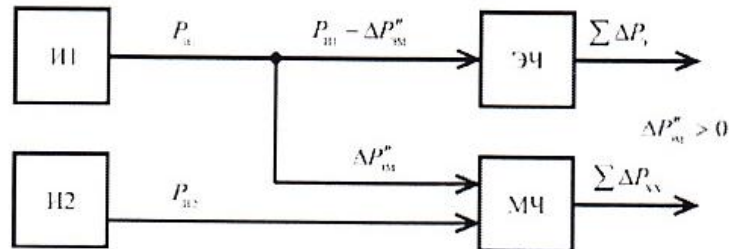


Рис. 2

В соответствии со схемой на рис. 2:

$$\begin{aligned} P_{И1} &= \sum \Delta P_э + \Delta P''_{эм}; \\ P_{И2} &= \sum \Delta P_{мх} - \Delta P''_{эм}. \end{aligned}$$

Эти же выражения могут быть записаны в относительных параметрах, если их правые и левые части разделить на часовую мощность $P_ч$ испытуемых электромашин:

$$\begin{aligned} P_{И1} &= \Delta p_э + \Delta p''_{эм}; \\ P_{И2} &= \Delta p_{мх} - \Delta p''_{эм}. \end{aligned}$$

Приведенные мощности, использованные в данных выражениях, представляют собой отношения соответствующих абсолютных значений к часовой мощности $P_ч$.

Максимальное значение относительной мощности источника И1

$$\bar{P}_{И1} = \Delta \bar{p}_э + \Delta \bar{p}''_{эм}.$$

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

$$\Delta \bar{p}''_{эм} = \frac{\Delta \bar{\Phi}_ч}{\Phi_ч}, \quad (1)$$

где $\Delta \bar{\Phi}_ч$ и $\Phi_ч$ – максимальная разница магнитных потоков и часовое значение магнитного потока соответственно;

Нормируемое максимально допустимое отклонение частоты вращения [4]

$$\Delta \bar{n}^* = \frac{\Delta \bar{n}}{n_ч},$$

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

Найдем параметр $\Delta p''_{\text{эм}}$, выраженный через относительное отклонение частоты Δn^* . Будем считать, что испытания электромашин проводятся в часовом режиме. При часовом токе $I_{\text{ч}}$ и при условии равенства сопротивлений обмоток типовым параметрам тяговой электромашин относительное отклонение магнитного потока

$$\Delta\Phi^* = \frac{\Delta\Phi}{\Phi_{\text{ч}}} = -\frac{\Delta n^*}{1 + \Delta n^*},$$

где Δn^* – относительное отклонение частоты.

Максимальное положительное значение $\Delta\bar{\Phi}^*$ будет соответствовать допустимому отрицательному относительному отклонению частоты вращения $\Delta\underline{n}^*$. Минимальное отрицательное значение $\Delta\underline{\Phi}^*$ будет соответствовать допустимому положительному отклонению частоты вращения $\Delta\bar{n}^*$. При значениях $\Delta\underline{n}^*$, $\Delta\bar{n}^*$ находящихся для тяговых двигателей электровозов и электропоездов в пределах, допустимых по ГОСТ 2582-81, можно принять

$$\Delta\bar{\Phi}^* \approx -\Delta\underline{n}^*. \quad (3)$$

$$\Delta\underline{\Phi}^* \approx -\Delta\bar{n}^*. \quad (4)$$

Максимальное значение максимально возможного относительного расхождения магнитных потоков в часовом режиме испытания с учётом (3), (4) и $\Delta\bar{n}^* = -\Delta\underline{n}^*$

$$\Delta\bar{\Phi}_{\text{ч}}^* = \Delta\bar{\Phi}^* - \Delta\underline{\Phi}^* = 2\Delta\bar{n}^*.$$

Тогда, в соответствии с (1)

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

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

$$\bar{p}_{\text{и1}} = \Delta\bar{p}_3 + 2\Delta\bar{n}^*. \quad (5)$$

На рис. 3 приведена схема распределения мощностей в системе взаимного нагружения при таком расхождении магнитных характеристик, когда магнитный поток испытуемого двигателя меньше, чем магнитный поток испытуемого генератора. Условно принимаем такую разницу магнитных потоков отрицательной ($\Delta\Phi < 0$). Тогда составляющая небалансной электромагнитной мощности $\Delta p''_{\text{эм}} < 0$.

В соответствии со схемой на рис. 3:

$$P_{\text{и1}} = \sum \Delta P_3 + \Delta p''_{\text{эм}};$$

$$P_{\text{и2}} = \sum \Delta P_{\text{xx}} - \Delta p''_{\text{эм}}.$$

Максимальное значение относительной мощности источника И2

$$\bar{p}_{и2} = \Delta\bar{p}_{xx} - \Delta p_{эм}'' ,$$

где $\Delta p_{эм}''$ – минимальное значение приведенной составляющей небалансной электромагнитной мощности.

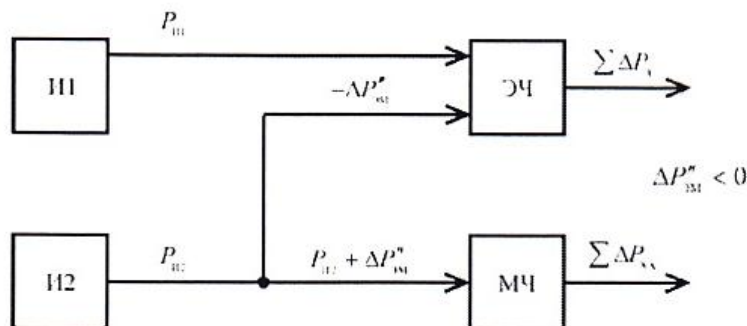


Рис. 3

Максимальная приведенная мощность источника И2 для случая $\Delta P_{эм}'' < 0$ будет определяться по формуле

$$\bar{p}_{и2} = \Delta\bar{p}_{xx} + 2\Delta\bar{n}^* . \quad (6)$$

Так как реально возможны оба варианта расхождения магнитных характеристик, рассмотренные выше, максимальная суммарная приведенная мощность источников в соответствии с (5) и (6) будет определяться по формуле

$$\sum \bar{p}_{и} = \Delta\bar{p}_{\epsilon} + \Delta\bar{p}_{xx} + 4\Delta\bar{n}^* . \quad (7)$$

Если считать потери мощности в двух испытуемых электромашинах одинаковыми и пренебречь потерями в коммутирующей аппаратуре, можно принять

$$\Delta\bar{p}_{\epsilon} + \Delta\bar{p}_{xx} = 2(1 - \eta_{ч}) ,$$

где $\eta_{ч}$ – коэффициент полезного действия одноступенчатых испытуемых тяговых электромашин в часовом режиме [2].

Тогда выражение (7) запишем в виде

$$\sum \bar{p}_{и} = 2(1 - \eta_{ч}) + 4\Delta\bar{n}^* . \quad (8)$$

Запас суммарной мощности источников питания системы взаимного нагружения может быть оценен коэффициентом запаса мощности в виде

$$k_{зап} = \frac{\sum \bar{p}_{и}}{\Delta\bar{p}_{\epsilon} + \Delta\bar{p}_{xx}} . \quad (9)$$

В табл. 1 приведены значения $\sum \bar{p}_{и}$ и $k_{зап}$, полученные по формулам (8) и (9) 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
$\Delta\bar{p}_{\epsilon} + \Delta\bar{p}_{xx}$	0,2	0,18	0,16	0,14	0,12	0,1	0,08
$\sum \bar{p}_{и}$	0,32	0,3	0,28	0,26	0,24	0,22	0,2
$k_{зап}$	1,6	1,67	1,75	1,86	2	2,2	2,5

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 испытуемых электромашин, является более чем двукратным. Снижение коэффициента запаса мощности $k_{\text{зап}}$ может быть достигнуто путём использования систем взаимной нагрузки с одним источником питания, компенсирующим как электрические, так и потери холостого хода [3].

Литература

1. Афанасов А.М. К вопросу о выборе мощности источников питания стенда взаимной нагрузки тяговых электромашин // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – №27. – С. 3-9.
2. Захарченко, Д. Д. Тяговые электрические машины и трансформаторы [Текст] / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов, Е. В. Горчаков – М.: Транспорт, 1979. – 303 с.
3. 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.
4. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. [Текст] / Государственный стандарт СССР. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 50 с.

Розглянуто особливості роботи систем взаємного навантаження тягових електромашин при розбіжності їх магнітних характеристик, запропоновано методику визначення приведеної сумарної потужності джерел живлення стенда взаємного навантаження.

Ключові слова: електрична машина, магнітні характеристики, взаємне навантаження, випробування, електромагнітна потужність, коефіцієнт корисної дії.

The features of work of the systems of the mutual loading of hauling electric machines at divergence of their magnetic descriptions are considered, the method of determination of the resulted total power of sources of feed of stand of the mutual loading is offered.

Keywords: electric machine, magnetic descriptions, mutual loading, tests, electromagnetic power, output-input ratio.

Афанасов А.М., – к. т. н., доц. кафедри «Електроподвижной состав железных дорог»,
Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, г. Днепропетровск, Украина

Рецензент: д. т. н., проф. Гетьман Г.К.