

## **К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРООПАСНОСТИ ТЕПЛОВОЗОВ**

**Литвиненко А.И., Шилова В.А., Кибалина Е.С.,  
научные руководители: д-р техн. наук Довженко Н.Н.,  
канд. техн. наук Минкин А.Н., канд. техн. наук Бражников А.В.  
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»**

К числу основных недостатков современных тяговых гибридных приводов (в частности, тепловозов), базирующихся на использовании электродвигателей переменного тока, относится высокий уровень потерь энергии в преобразователях частоты и высокая температура нагрева последних, обуславливающая повышенную пожароопасность тепловозов. Эти потери обусловлены высокой частотой переключения вентиляльных элементов инвертора, входящего в состав преобразователя частоты со звеном постоянного тока (ПЧПК). Основными элементами ПЧПК, как правило, используются силовые транзисторы (известно, что основная доля потерь в транзисторном вентиле приходится на переходные процессы, т.е. на периоды перехода транзистора из закрытого состояния в открытое и обратно).

В 2012 г. концерном Samsung Group (Южная Корея) решение этой проблемы было названо одной из приоритетных задач в области электрических транспортных средств всех типов (в том числе и тех, в которых применяются тяговые гибридные системы) и был объявлен конкурс на получение соответствующего гранта.

Результаты исследований, проведенных авторами данной работы, показывают, что одним из наиболее эффективных путей решения этой проблемы является построение гибридной системы привода на базе многофазных (т.е. имеющих число фаз более четырех) асинхронных электродвигателей. Перспективам применения многофазных асинхронных линейных и нелинейных электроприводов в области железнодорожного транспорта ими был посвящен ряд статей.

Однако увеличение числа фаз асинхронного электропривода позволяет не только улучшать ряд его технико-экономических показателей, но и создать тяговые гибридные приводы тепловозов по схеме “дизельный генератор – асинхронный двигатель (двигатели)”, которые будут кардинально отличаться от существующих и иметь более простую конструкцию и систему управления, а также меньшие потери энергии по сравнению с аналогичными существующими гибридными приводами, построенными на базе трехфазных асинхронных двигателей и содержащими в своем составе преобразователи частоты. Эти тяговые гибридные приводы нового поколения основаны на использовании многофазных дизельных генераторов и нетрадиционно управляемых многофазных асинхронных двигателей.

В данной работе представлены основные принципы построения таких гибридных тяговых приводов нового поколения. К числу этих базовых принципов относятся следующие:

- 1) увеличение более четырех числа фаз дизель-генератора и питаемого от него асинхронного двигателя (двигателей);
- 2) применение такого нетрадиционного способа управления многофазным асинхронным двигателем как фазно-полусное управление (ФПУ);
- 3) использование ряда нетрадиционных конструктивных решений для построения многофазных асинхронных электродвигателей с ФПУ.

Многофазный асинхронный двигатель с ФПУ по сути дела представляет собой многоскоростной электродвигатель, но имеющий только одну обмотку статора (для

всех скоростей), не более сложную, чем обмотка статора односкоростного 3-фазного асинхронного двигателя.

Увеличение числа фаз дизель-генератора и питаемого от него асинхронного двигателя (двигателей) более четырех необходимо для обеспечения возможности применения в системе гибридного привода ФПУ, использование которого позволит обеспечить:

- широкий диапазон регулирования скорости асинхронного двигателя;
- достаточно малый шаг дискретного изменения скорости вращения двигателя в процессе ее регулирования.

Количество дискретных значений скорости, которые могут быть получены при использовании многофазного двигателя с ФПУ, возрастает с ростом числа фаз двигателя. При этом с ростом числа фаз появляется возможность для уменьшения шага дискретного изменения скорости за счет соответствующего выбора рабочих значений параметра  $H$  – основного параметра ФПУ.

Реализация ФПУ может быть сведена к простому изменению порядка подключения фазных обмоток статора многофазного асинхронного двигателя к фазам многофазного генератора переменного тока, т.е. 1-я фаза двигателя подключается не к 1-й фазе генератора, а например, к 3-й; 2-я фаза двигателя подключается не ко 2-й фазе генератора, а например, к 5-й и т.д.

Вследствие этого в многофазной системе гибридного привода для реализации ФПУ нет необходимости использовать преобразователь частоты для регулирования скорости вращения ротора двигателя. Вместо него в гибридном приводе нового поколения может быть использован тиристорный или электромеханический коммутатор. Частота переключения вентильных элементов такого коммутатора будет в сотни раз ниже частоты переключения транзисторов преобразователя частоты в системе привода традиционного типа. Вследствие этого потери энергии в системе тягового гибридного привода нового поколения будут значительно меньше, чем в существующих системах, в состав которых входят преобразователи частоты. При этом алгоритмы управления вентильными элементами коммутатора (а, следовательно, и их реализация) в системе нового поколения будут существенно проще (по сравнению с аналогичными существующими инверторными гибридными приводами).

Функциональная схема силовой части предлагаемого тягового гибридного привода тепловоза представлена на рис. 1, где ДГ –  $m$ -фазный дизель-генератор переменного тока, К – тиристорный или электромеханический коммутатор, АД –  $m$ -фазный асинхронный двигатель, БУ – блок управления системой тягового гибридного привода.

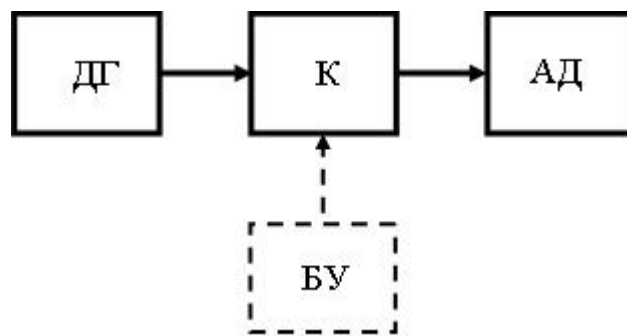


Рис. 1. Функциональная схема силовой части тягового гибридного привода нового поколения

В такой системе гибридного привода изменение скорости вращения ротора асинхронного двигателя осуществляется за счет изменения варианта соединения выходных контактов  $m$ -фазного дизель-генератора ДГ с входными контактами (т.е. с фазными обмотками)  $m$ -фазного асинхронного двигателя АД. Это изменение реализуется с помощью коммутатора К в соответствии с соответствующими сигналами, поступающими с блока управления БУ системой тягового гибридного привода.

При этом дизель-генератор работает постоянно в оптимальном режиме, с максимальным КПД.

Сущность ФПУ заключается в том, что при его использовании изменение скорости вращения магнитного поля в воздушном зазоре двигателя переменного тока осуществляется за счет изменения величины фазового смещения  $\alpha$  между напряжениями (токами) соседних фаз двигателя в некоторое целое число раз  $H$  (по сравнению с традиционным управлением) без какого-либо изменения частоты и амплитуды этих напряжений (токов), т.е. при ФПУ  $\alpha_H = H \cdot \alpha_T$ , где  $H$  – параметр ФПУ, некоторое целое число;  $\alpha_T$  – величина угла фазового смещения  $\alpha$  при традиционном управлении;  $\alpha_H$  – величина угла фазового смещения  $\alpha$  при ФПУ.

Значение  $H = 1$  соответствует традиционному управлению асинхронным двигателем, а значение  $H > 1$  – ФПУ.

Изменение фазового смещения  $\alpha$  осуществляется за счет упомянутого выше электронного или механического коммутатора, установленного между многофазным дизель-генератором и многофазным асинхронным двигателем. При этом варьирование значения параметра  $H$  ФПУ осуществляется за счет изменения варианта соединения фаз дизель-генератора с фазами двигателя.

При использовании ФПУ, когда параметр  $H$  изменяется, наблюдается эффект, адекватный одновременному изменению и числа фаз, и числа пар полюсов двигателя. При этом соответствующим образом изменяются и синхронная скорость вращения, и максимальный момент двигателя (синхронная скорость обратно пропорциональна значению параметра  $H$ , а максимальный момент двигателя прямо пропорционален значению  $H$ ).

Таким образом, применение ФПУ позволяет изменять скорость вращения ротора двигателя без изменения частоты питающего напряжения.

Электронный или механический коммутатор должен осуществлять соединение фаз дизель-генератора с фазами двигателя в соответствии со следующим алгоритмом:

$$i_M = N_1 - N_2,$$

где  $N_1 = H \cdot (i_{in} - 1) + 1$ ,  $N_2 = 0$  если  $H = 1$ ,  $N_2 = m \cdot \text{Int}\{(N_1 - 1) / m\}$  если  $H \geq 2$ ,  $i_M$  – номер фазы обмотки статора асинхронного двигателя,  $i_{in}$  – номер фазы дизель-генератора,  $\text{Int}\{(N_1 - 1) / m\}$  – целая часть числа  $(N_1 - 1) / m$ .

Полученные на сегодняшний день результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Предлагаемые принципы построения системы тягового гибридного привода тепловоза кардинально отличаются от существующих и позволяют рассматривать предложенную систему как новое поколение гибридного привода.

2. Построение гибридного привода на базе многофазных дизель-генераторов и асинхронных электродвигателей позволяет исключить из системы привода преобразователь частоты, заменить его коммутатором с низкой частотой работы вентильных элементов и тем самым значительно улучшить энергетику системы привода и снизить пожароопасность тепловоза.