

Луков Н.М.

д.т.н., профессор, академик Академии транспорта России и транспортной Академии Украины, профессор МГУПС (МИИТ) (г. Москва);

Ромашкова О.Н.

д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Прикладная информатика» Московского педагогического государственного университета (г. Москва);

Космодамианский А.С.

зав. кафедрой «Тяговый подвижной состав» РОАТ МГУПС (МИИТ), д.т.н., профессор, академик Академии электротехнических наук Российской Федерации. (г. Москва);

Электрическая передача локомотива переменного тока с микропроцессорным управлением синхронным генератором и асинхронными двигателями с фазным ротором

Применение на локомотивах тяговых синхронных генераторов дает возможность создания электрических передач переменного тока с применением асинхронных двигателей с фазным ротором, повысить технико-экономические показатели локомотивов. Представлено описание схем и характеристик электрической передачи с микропроцессорным управлением, содержащей тяговый синхронный генератор и тяговые асинхронные двигатели с фазным ротором; при этом один из каждого двух двигателей имеет поворотный статор и эти два двигателя образуют конструктивно единую двухдвигательную установку

В тяговом подвижном составе (ТПС) применяются электрические передачи постоянного и переменного тока. Электрические передачи переменного-постоянного и переменного-постоянного тока имеют определенные преимущества перед передачами постоянного тока. Электрические передачи переменного-постоянного тока содержат тяговый синхронный генератор (ТСГ) с блоком возбуждения, тяговую выпрямительную установку, тяговый преобразователь частоты и асинхронные тяговые двигатели (АТД) [1-6]. Такие электрические передачи автономных локомотивов разработаны на основе систем тягового электрического привода осей движущих колес электрического ТПС, на котором нет ТСГ, а электрическая энергия подается из контактной сети. С учетом наличия на локомотивах ТСГ могут быть разработаны электрические передачи с применением АТД без использования преобразователей частоты в силовой цепи передачи, которые имеют определенные габаритные размеры, массу, стоимость, надежность и расходы на и эксплуатацию и ремонт. Разработанная электрическая передача локомотива переменного тока по сравнению с известными передачами имеет меньшую стоимость и массу, меньшие габаритные размеры, более высокий КПД и меньшие расходы на эксплуатацию и ремонт, большую монтажную гибкость.

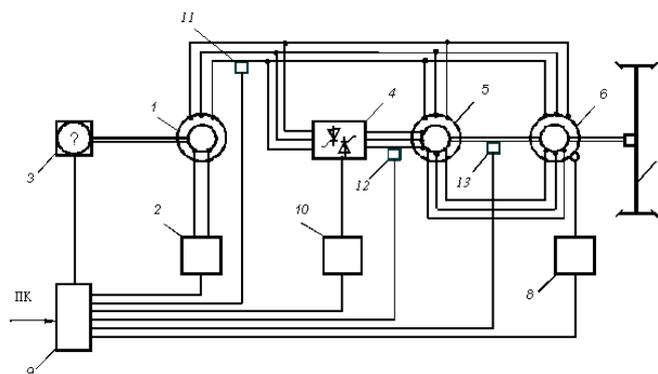


Рис. 1. Принципиальная блок-схема электрической передачи локомотива переменного тока с микропроцессорным управлением ТСГ и асинхронными тяговыми двигателями с фазным ротором: 1 – ТСГ; 2 – микропроцессорный блок возбуждения ТСГ; 3 – ТД; 4 – НПЧ; 5 и 6 – АТД; 7 – оси движущих колес; 8 – механизм поворота статора АТД; 9 – микропроцессорный блок управления передачей; 10 – микропроцессорный блок управления НПЧ; 11 – датчик напряжения ТСГ; 12 – датчик тока нагрузки ТСГ; 13 – датчик частоты вращения вала АТД

Электрическая передача переменного тока (рис. 1) содержит ТСГ 1, обмотка возбуждения которого подключена к микропроцессорному блоку возбуждения 2, вал его соединен с валом теплового двигателя (ТД) 3; к его статорным обмоткам подключены непосредственный преобразователь частоты (НПЧ) (без звена постоянного тока - выпрямителя) 4 и статорные обмотки двух одинаковых АТД 5 и 6, роторные обмотки которых

соединены последовательно и подключены к НПЧ 4, валы АДД соединены между собой и с осями 7 движущих колес локомотива, статор одного из АДД выполнен поворотным и соединен с механизмом поворота 8, а также микропроцессорный блок управления передачей 9, подключенный к ТД 3, микропроцессорному блоку возбуждения 2, микропроцессорному блоку управления НПЧ 10 и к механизму поворота статора 8. К ТСП1 подключены датчик напряжения 11 и датчик тока нагрузки 12. К валу АДД подключен датчик частоты вращения 13. Микропроцессорный блок возбуждения 2 и микропроцессорный блок управления передачей 9 содержат три регулятора напряжения ТСП: по отклонению напряжения от заданного значения, по току нагрузки и по частоте вращения вала ТД (частоте напряжения ТСП f_i). Микропроцессорный блок возбуждения 2 и микропроцессорный блок управления передачей 9 вместе с ТСП 1 образуют автоматическую комбинированную микропроцессорную систему регулирования напряжения ТСП 1 [1, 6].

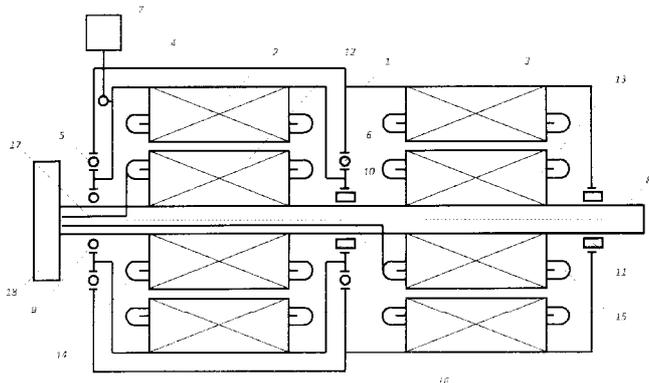


Рис. 2 Принципиальная схема тяговой асинхронной плавнорегулируемой двухдвигательной установки с поворотным статором одного двигателя: 1 – общий корпус; 2 – поворотный статор; 3 – неподворотный статор; 4 – корпус поворотного статора; 5, 6 и 9 – подшипники шариковые; 7 – механизм поворота статора; 8 – вал; 10 и 11 – подшипники роликовые; 12, 13 – роторы; 14, 15 – обмотки роторов; 16, 17 – провода; 18 – контактные элементы

В разработанной электрической передаче вместо двух одинаковых АДД с фазным ротором, один из которых имеет поворотный статор, может быть применена тяговая асинхронная плавнорегулируемая двухдвигательная установка с поворотным статором одного двигателя, которая содержит (рис. 2) следующие узлы: общий корпус 1, в котором установлены два одинаковых статора – поворотный 2 и неподворотный 3. Поворотный статор 2, корпус 4 которого установлен на подшипниках 5 и 6, соединен с механизмом поворота 7. Общий вал 8 установлен на подшипниках 9, 10 и 11. На общем валу 8, в свою очередь, размещены два одинаковых ротора 12 и

13 с обмотками 14 и 15, подключенными посредством проводов 16 и 17 к контактным элементам 18 (контактным кольцам и щеточному аппарату), установленным на валу 8. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования двухдвигательной установки, в которой один из АДД с фазным ротором имеет поворотный статор, показали высокую эффективность управления установкой путем поворота статора. Разработана конструкция двухдвигательной установки (рис. 3) в соответствии с принципиальной схемой, приведенной на рис. 2.

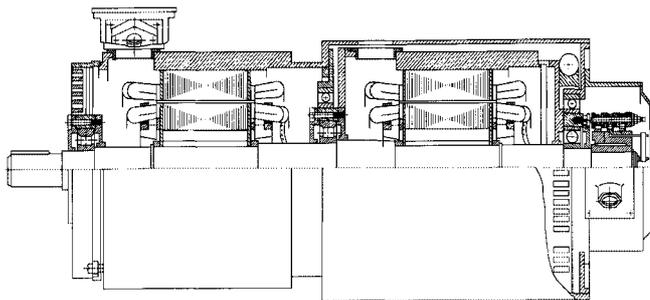


Рис. 3 Тяговая асинхронная плавнорегулируемая двухдвигательная установка с поворотным статором одного двигателя

Электрическая передача локомотива переменного тока работает следующим образом. При максимальной частоте вращения $\omega_{АДД}$ валов АДД и оси 7 движущих колес ω_k поворотный статор одного из АДД должен быть поставлен в такое положение, чтобы ЭДС, наводимые в обмотках вращающихся роторов АДД, совпадали по фазе, т.е. чтобы угол рассогласования между положениями статоров АДД 4 и 5 β_{max} был равен 180° электрических (это соответствует $\pm 180^\circ/p$ градусов геометрических, где p – число пар полюсов АДД). При этом угле сдвига статоров β_{max} оба АДД работают как один АДД двойной мощности. В рассматриваемом случае (в диапазоне высоких частот вращения) $\omega_{АДД}$ валов АДД и оси 7 движущих колес ω_k изменения $\omega_{АДД}$ целесообразно производить путем изменения частоты и напряжения в обмотках роторов АДД с помощью НПЧ 4 до значения скольжения $s = 0,25$. Последующее уменьшение частоты вращения $\omega_{АДД}$ (скорости движения локомотива) достигается поворотом статора АДД 6. При повороте статора в сторону уменьшения угла β результирующая ЭДС роторных обмоток АДД 5 и 6, равная геометрической сумме ЭДС обмоток роторов, при том же скольжении начнет уменьшаться, ток в обмотках роторов уменьшится, и момент, развиваемый АДД, уменьшится. Частота вращения $\omega_{АДД}$ будет снижаться до значения, при котором вращающий момент обоих АДД станет равным моменту сопротивления, создаваемому движущими колесами локомотива. При отсутствии угла

сдвига между статорными обмотками АДД (т.е. при $\beta = 0^\circ$) ЭДС обмоток их роторов равны и направлены встречно, результирующая ЭДС равна нулю и частота вращения $\omega_{\text{АДД}} = 0$. Увеличение частоты вращения $\omega_{\text{АДД}}$ достигается сначала поворотом статора АДД 6 (увеличением угла β), а затем уменьшением частоты f_2 . Частота вращения $\omega_{\text{АДД}}$ валов АДД зависит от частоты напряжения в статорных обмотках и в обмотках их роторов и определяется выражением $\omega_{\text{АДД}} = 2\pi (f_1 \pm f_2)/p$, где f_1 и f_2 - соответственно частота напряжения ТСГ и частота напряжения в обмотках роторов АДД. Знак «минус» в этом выражении соответствует вращению магнитных полей статоров и роторов АДД в одном направлении, а знак «плюс» - в противоположном направлении. Изменяя частоту и напряжение в обмотках роторов АДД, можно заставить вращаться их валы с частотой вращения $\omega_{\text{АДД}}$ как выше, так и ниже синхронной частоты вращения ω_0 , т.е. осуществлять двухзонное изменение частоты вращения $\omega_{\text{АДД}}$. В электрической передаче локомотива с помощью микропроцессорного блока управления 10 НПЧ непосредственным преобразователем 4 осуществляется независимое изменение как частоты f_2 напряжения, подводимого к обмоткам роторов, так и значения самого напряжения. В результате в электрической передаче АДД работают в режиме машины двойного питания. При перевозбуждении (при большом токе в обмотках роторов) АДД могут генерировать реактивную мощность в ТСГ, работая с опережающим коэффициентом мощности, что является очень ценным свойством разработанной электрической передачи. Кроме того, питание статорных обмоток АДД не от НПЧ, а непосредственно от статорных обмоток ТСГ обеспечивает более высокие значения КПД ТСГ и АДД.

При работе АДД с подсинхронной частотой вращения $\omega_{\text{АДД}}$, т.е. когда $\omega_{\text{АДД}} < \omega_0$, мощность, потребляемая со стороны статора, частично поступает на вал; остальная часть, исключая потери, через ротор возвращается в ТСГ. При $f_2 = 0$ АДД превращается в обычную синхронную машину с возбуждением постоянным током.

При работе АДД с надсинхронной частотой вращения $\omega_{\text{АДД}}$, т.е. когда $\omega_{\text{АДД}} > \omega_0$, электрическая мощность будет подводиться как со стороны статора, так и со стороны ротора. Мощность, равная сумме этих мощностей статора и ротора, за вычетом потерь, преобразованная в механическую, будет передана на вал АДД.

Из принципа работы электрической передачи локомотива переменного тока следует, что НПЧ должен быть многофазным. При проходе через синхронную частоту вращения ω_0 следование напряжения по фазам на выходе НПЧ должно

менять свой знак, благодаря чему поле ротора изменяет свое направление вращения относительно ротора; при синхронной частоте вращения ω_0 преобразователь частоты должен в зависимости от фазового положения ротора соответствующим образом распределять постоянный ток возбуждения между фазами ротора АДД. Преобразователь частоты должен быть реверсивным для активной и реактивной мощностей, не должен вносить потерь реактивной мощности. Высокий КПД преобразователя частоты должен обеспечиваться режимом работы переключающих полупроводниковых элементов. Преобразователь частоты со всеми перечисленными свойствами может быть выполнен без звена постоянного тока, т.е. должен быть НПЧ.

Важной особенностью разработанной электрической передачи локомотива переменного тока является небольшая установочная мощность НПЧ, работа его в зоне сравнительно невысоких частот и простота управления АДД, плавное и экономичное регулирование частоты вращения $\omega_{\text{АДД}}$ валов АДД, возможность изменения напряжения и частоты в роторных обмотках по требуемому закону, обеспечивающему необходимую перегрузочную способность АДД и рациональное распределение реактивной мощности между роторными и статорными обмотками.

В разработанной электрической передаче локомотива переменного тока микропроцессорный блок возбуждения 2 ТСГ 1 обеспечивает такой закон изменения его тока возбуждения, при котором его мощность остается примерно постоянной при данной скорости вращения вала ТД. Это означает, что напряжение ТСГ должно изменяться в обратно пропорциональной зависимости от тока его нагрузки, то есть от тока АДД.

При трогании (пуске) локомотива значение сигнала задания P_k микропроцессорного блока управления передачей 9 такое, что скорость вращения вала ТД минимальна. При этом микропроцессорный блок управления НПЧ 10 обеспечивает минимальную разность частот f_1 и f_2 . Разгон локомотива с разработанной электрической передачей переменного тока осуществляется весьма плавно: на первой стадии - поворотом статора АДД 6, а затем - уменьшением частоты напряжения роторов f_2 .

При установившемся режиме работы ТД, то есть при постоянных значениях скорости вращения его вала и частоты f_1 , скорость движения локомотива изменяется автоматически в зависимости от изменений силы сопротивления движению путем изменения частоты f_2 , напряжения на роторных обмотках и напряжения ТСГ 1 с помощью микропроцессорного блока возбуждения 2, микропроцессорного блока управления

НПЧ 10 и микропроцессорного блока управления передачей 9.

Технический результат разработки электрической передачи локомотива переменного тока заключается в уменьшении стоимости и массы, а также габаритных размеров, расходов на эксплуатацию и ремонт электрической передачи, и увеличении КПД и монтажной гибкости.

Литература

1. Луков Н.М. Передачи мощности тепловозов// Н. М. Луков, К. И. Рудая, В. В. Стрекопытов. Под ред. Н. М. Лукова. - М.: Транспорт, 1987.- 279 С.
2. Луков Н.М. Автоматизация тепловозов, газотурбовозов и дизель-поездов. - М.: Машиностроение, 1988. – 272 С.
3. Луков Н.М. Основы автоматики и автоматизации тепловозов. - М.: Транспорт, 1989. – 296 С.
3. Шишкин В.П. Диалоговое проектирование на микро-ЭВМ асинхронных двигателей с фазным ротором [Текст] : учеб. пособие / В.П.Шишкин, Н.И.Чуворов. - Иваново : [б. и.], 1989. - 87 с.
4. Винокуров В. А. Электрические машины железнодорожного транспорта// В. А. Винокуров, Д. А. Попов - М.: Транспорт, 1986.- 511 С.
5. Камаев А.А. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов.// А. А. Камаев, Н. Г. Апанович, В. А. Камаев. - М.: Машиностроение, 1981. – 351 С.
6. Луков Н. М.. Автоматические системы управления локомотивов//. Н. М. Луков, .А. С. Космодамианский – Учебник для вузов ж.-д. транспорта. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 429 с.