

Анализ особенностей эксплуатации частотно-регулируемого электропривода компрессора вагона метро

Остриров В. Н., доктор техн. наук, Анучин А. С., канд. техн. наук, Габидов А. А., инж.

НИУ “МЭИ”, Москва

Репецкий Д. В., инж.

ООО НПП “Цикл Плюс”, Москва

Рассмотрены особенности эксплуатации электропривода мотор-компрессора с асинхронным двигателем, применяемого на подвижном составе метрополитена. Проведен анализ перенапряжений, возникающих в контактной сети в режиме рекуперативного торможения тяговых электродвигателей. Описаны структура статического преобразователя ИПП-МК и некоторые специфические режимы его работы.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, перенапряжение, мотор-компрессор, рекуперативное торможение.

Развитие асинхронного привода и замена им других типов управляемых электроприводов в первую очередь обусловлены хорошими эксплуатационными характеристиками асинхронного двигателя. До недавнего времени компрессор вагона метро приводился в движение коллекторным двигателем постоянного тока с применением реостатного пуска. Такой электропривод имеет невысокие технико-экономические показатели, большую стоимость обслуживания и ремонта и к тому же морально устарел. Для улучшения показателей мотор-компрессора авторы статьи использовали частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем.

Асинхронный двигатель мотор-компрессора получает питание от контактной сети постоянного тока, поэтому для его работы необходим статический преобразователь напряжения контактной сети в переменное трехфазное напряжение. Особенности функционирования преобразователя связаны с режимом питающей сети. Согласно ГОСТ 6962–75 и СНИП 32-02–2003 допустимый диапазон изменения напряжения контактной сети с учетом режимов рекуперации составляет 550 – 975 В. Столь значительная его ширина обусловлена спецификой подключения тяговых подстанций к контактному рельсу, а также большой протяженностью питающей линии. Возможно кратковременное повышение напряжения до 1400 В в течение 40 мс (рис. 1) при рекуперативном торможении тяговых электроприводов в пределах неперекрываемых токоразделов в случае отсутствия потребителя энергии. Возможны также кратковременные импульсы перенапряжений в контактной сети до 3000 В (энергия — до 1350 Дж), обусловленные наличием нейтральных вставок в контактном рельсе и достаточной индуктивностью в сети. При этом работоспособность преобразователя должна сохраняться.

С учетом данных требований спроектирован преобразователь ИПП-МК — статический силовой преобразователь для асинхронного привода мотор-компрессора. Он предназначен для применения в вагонах метрополитена, эксплуатирующихся как в тоннелях на действующих линиях, так и на открытых участках пути, где напряжение — 750 В постоянного тока. Преобразователь обеспечивает питание (и плавный пуск) асинхронного двигателя компрессора трехфазным напряжением 380 В переменного тока частотой 50 Гц.

На рис. 2 приведена функциональная схема преобразователя ИПП-МК. Балластный резистор $R_{вх}$ на его входе служит для уменьшения импульса перенапряжения от контактной сети. В преобразователе предусмотрено высоковольтное реле, осуществляющее подачу высокого напряжения на внутренние цепи питания, а также отключение преобразователя от сети в аварийных режимах. Понижающий импульсный преобразователь постоянного напряжения (DC/DC) обеспечивает поддержание уровня напряжения 540 – 620 В в звене постоянного тока.

Данный преобразователь структурно отличается от аналогичных тем, что имеет в своем составе два последовательно включенных IGBT транзистора, которые работают одновременно. Это необходимо для защиты инвертора от импульса перенапряжения, а также для обеспечения запаса по напряжению

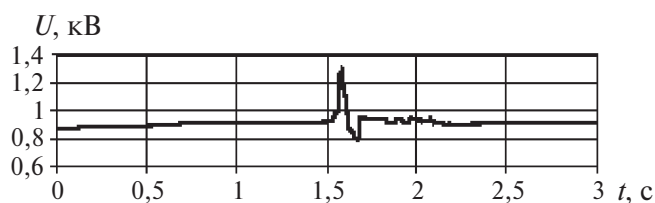


Рис. 1. Кривая напряжения контактной сети в режиме рекуперативного торможения на неперекрываемом токоразделе

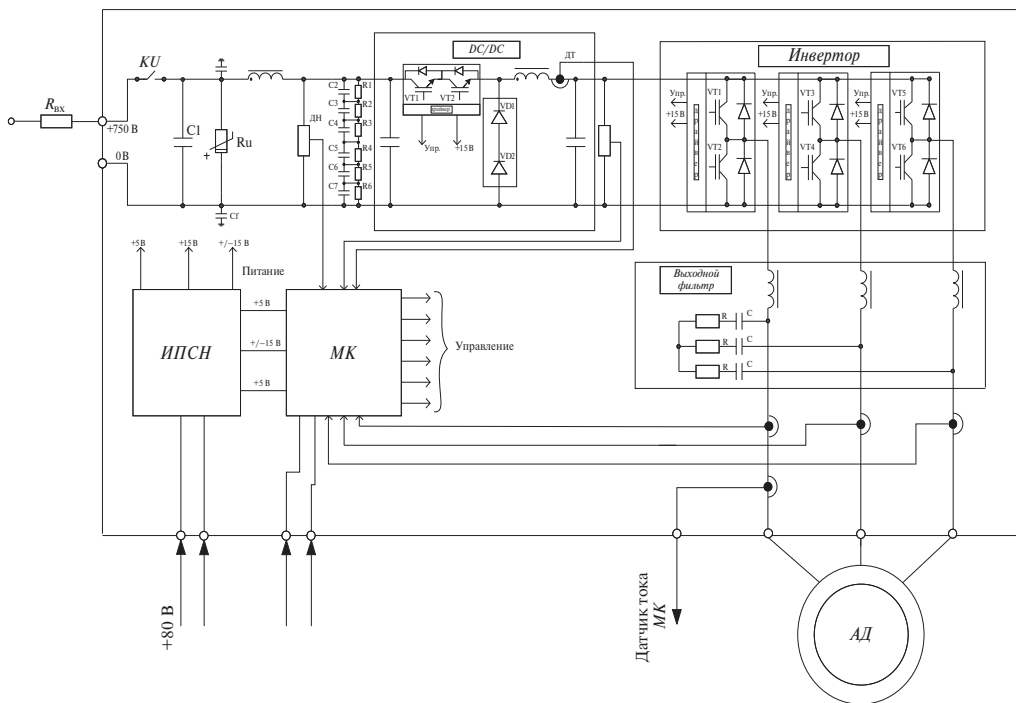


Рис. 2. Функциональная схема преобразователя ИПП-МК:

R_{BX} — балластный резистор; KU — контакт высоковольтного реле; DC/DC — понижающий импульсный преобразователь постоянного напряжения; $ИПЧН$ — источник питания собственных нужд; $МК$ — программируемый микроконтроллер; $Инвертор$ — автономный инвертор напряжения с ШИМ; выходной фильтр dU/dt ; $АД$ — асинхронный двигатель мотор-компрессора

на ключах при условии, что при импульсном перенапряжении 3000 В происходят: заряд входного конденсатора, поглощающего большую часть энергии импульса; падение напряжения (до 2 кВ) на внешнем резисторе; срабатывание входных ограничителей перенапряжения.

Автономный инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией, осуществляющий преобразование постоянного напряжения в переменное, выполнен на трех интеллектуальных силовых модулях (IPM) фирмы “Mitsubishi”. При повторно-кратковременном режиме работы электропривода теплота в полупроводниковой структуре IGBT инвертора выделяется импульсами, т. е. происходит термоциклирование приборов, которое существенно снижает ресурс IGBT. После снятия команды “пуск” с целью уменьшения диапазона изменения температуры кристаллов IGBT преобразователь DC/DC переводится в режим источника тока, а стойки инвертора замыкаются накоротко поочередно с частотой 15 кГц.

Предъявляемые к изоляции двигателя компрессора требования в части ограничения скорости нарастания выходного напряжения преобразователя на уровне ≤ 500 В/мкс (рис. 3) обусловили необходимость установки выходного фильтра dU/dt , параметры которого оп-

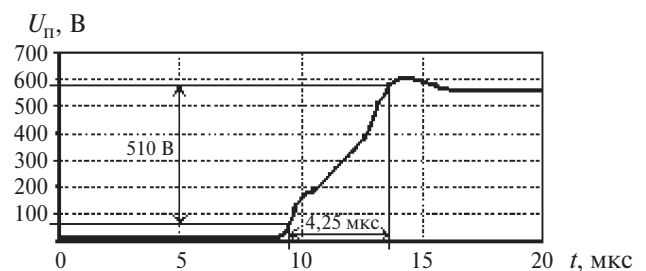


Рис. 3. График работы преобразователя с фильтром $dU/dt = 120$ В/мкс при стационарных испытаниях

ределены расчетным путем и проверены экспериментально.

На рис. 4 представлена диаграмма пульсаций напряжения и тока на входе выключенного преобразователя ИПП-МК (переменные составляющие). Пульсации входного напряжения, обусловленные работой выпрямительной установки тяговой подстанции при напряжении 875 В, составляют приблизительно 9 В (частота — 300 Гц), а пульсации входного тока — около 2,2 А (частота — 300 Гц).

На рис. 5 показаны диаграммы линейного напряжения, формируемого преобразователем, и фазного тока электродвигателя мотор-компрессора. Мгновенное значение выходного напряжения составляет 540 В, а действующее значение напряжения — 380 В. В выходном токе отсутствуют переменные составляющие, связанные с пульсацией на-

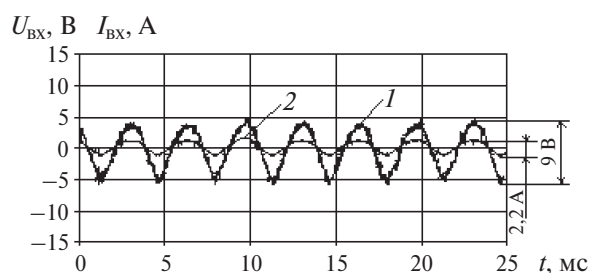
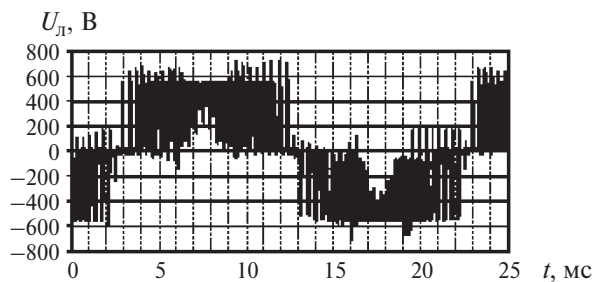
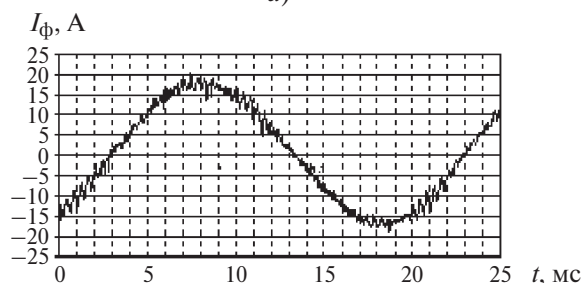


Рис. 4. Диаграмма пульсаций напряжения (кривая 1) и тока (кривая 2) на входе выключенного преобразователя ИПП-МК (переменные составляющие)



а)



б)

Рис. 5. Диаграммы линейного напряжения U_L (а) и фазного тока I_ϕ (б) на выходе преобразователя в установившемся режиме

пряжения питающей сети, что свидетельствует о правильности выбора параметров входного сглаживающего фильтра.

При пуске мотор-компрессора возможен режим стопорения (рис. 6) в период снижения давления воздуха в магистрали. При этом ток на выходе ИПП-МК ограничивается до двойного номинального $2I_{ном}$. В этом режиме система преобразователь — двигатель может находиться до 20 с. Если пуск не происходит, то преобразователь отключается тепловой защитой I^2t . При движении поезда такой режим не наблюдается.

В процессе ходовых испытаний опытного образца преобразователя ИПП-МК выявлено его негативное влияние на устройства радиосвязи метрополитена: генерируемые им электромагнитные помехи вызывают сбой в работе передающих устройств радиосвязи “машинист — диспетчер”. Проведенные в одном из вагонов исследования уровней напряженности поля радиопомех от ИПП-МК в диапа-

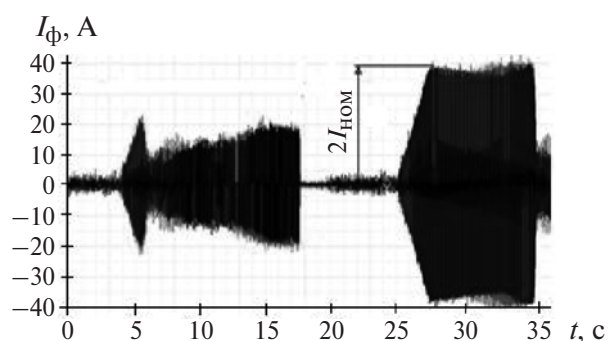


Рис. 6. Режим стопорения мотор-компрессора

Режим преобразователя	Уровень фона (радиопомех), $dB\mu V$
Не работает	10 – 15
Работает без дополнительного фильтра	35 – 40
Работает с дополнительным фильтром	25 – 27

зоне рабочих частот радиостанций от 2444 до 2464 кГц позволили определить уровень фона при неработающем преобразователе, а также уровень радиопомех при его работе без и с дополнительным помехоподавляющим емкостным фильтром во входной цепи. Результаты исследований представлены в таблице. На их основе сделан вывод о необходимости установки дополнительного емкостного помехоподавляющего фильтра для снижения уровня напряженности поля радиопомех до допустимого ($\leq 30dB\mu V$).

Проведенные испытания показали, что преобразователь можно успешно эксплуатировать в условиях метрополитена, а асинхронный привод является хорошей заменой устаревшего привода постоянного тока мотор-компрессора.

В настоящее время около 500 новых вагонов метро оснащены компрессорами с асинхронным частотно-регулируемым электроприводом на базе преобразователя ИПП-МК и его модификации, входящей в преобразователь собственных нужд типа ПСН-24.

Список литературы

1. Остриров В. Н. Проектирование электронных преобразователей для регулируемых электроприводов. — М.: Изд-во МЭИ, 2008.
2. Ильинский Н. Ф. Основы электропривода. — М.: Изд-во МЭИ, 2003.
3. Ключев В. И. Теория электропривода. — М.: Энергоатомиздат, 2001.
4. ГОСТ 6269–75. Транспорт электрифицированный с питанием от контактной сети. Ряд напряжений.
5. СНиП 32-02–2003. Метрополитены.

OstrirovVN@cycle-p.ru