

УДК 621.3.002.5

*С.Н. Решетняк*

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ  
ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПИТАНИЯ СИНХРОННЫХ  
ДВИГАТЕЛЕЙ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ  
ПРИВОДОВ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК**

---

**О**сновной областью применения синхронных двигателей, до недавнего времени, были нерегулируемые системы электропривода большой мощности.

На горном предприятии применение мощных синхронных двигателей, в большинстве случаев, ограничивалось использованием в качестве нерегулируемых электроприводов вентиляторов главного проветривания, либо в качестве электроприводов мощных водоотливных установок. Применение данного вида двигателя обусловлено рядом положительных особенностей: возможность работы с опережающим коэффициентом мощности, что позволяет рекуперировать реактивную энергию, тем самым, улучшить режим работы и экономичность системы электроснабжения; довольно высокий КПД до 98 %; абсолютно жесткая механическая характеристика.

Следует также отметить о стремлении конструкторов к созданию упрощенных кинематических схем горных машин и механизмов с низкоскоростным, высокомоментным электроприводом, имеющим возможность для регулирования скорости вращения. В данном сегменте систем электроприводов не маловажную позицию занимают синхронные электродвигатели.

Развитие силовой преобразовательной техники позволило использовать статический преобразователь частоты в системе преобразователь частоты – синхронный двигатель. Результатом этой работы явилась возможность использования данного вида двигателей в механизмах, требующих регулирования скорости вращения двигателя в широких пределах.

Современные высоковольтные статические преобразователи частоты, используемые для регулирования скорости синхронного двигателя, подразделяются на три вида с различными выходными характеристиками. Первый выполнен на основе системы автономного инвертора напряжения с широтно-импульсной модуляцией (АИН – ШИМ) и обладает свойствами источника напряжения; второй обладает функциями источника тока и выполнен на основе автономного инвертора тока с широтно-импульсной модуляцией (АИТ – ШИМ). Отличительной особенностью АИН – ШИМ является наличие в цепи постоянного тока преобразователя емкостного фильтра, отличительной особенностью АИТ – ШИМ является наличие в цепи постоянного тока преобразователя индуктивного фильтра, а на выходе преобразователя емкостного фильтра. Кроме представленных выше преобразователей, выпол-

ненных с использованием промежуточного звена постоянного тока, в современной практике также находят применение преобразователи частоты с непосредственной связью (НПЧ). Особенностью данного вида преобразователей является отсутствие промежуточного преобразования энергии, в связи с этим необходимо отметить следующие достоинства: простота конструкции, высокая надежность, высокий КПД, большие величины токов и напряжений. Недостатком данного вида преобразователей является ограниченный диапазон качественного регулирования по частоте (до 25 Гц) при питании от источника тока с частотой 50 Гц. Кроме того, при использовании данного вида преобразователей, возникает вопрос о синхронизации работы силовых полупроводниковых элементов с питающей сетью. Следует отметить, что данный вид преобразователей обладает функциями источника напряжения, т.е. имеется возможность для питания нескольких потребителей одновременно. Промышленный выпуск таких преобразователей освоен следующими компаниями: "ESTEL+" (Эстония), "Siemens" (Германия).

Наиболее широкое распространение среди высоковольтного оборудования занимают преобразователи частоты с звеном постоянного тока компаний "Allen-Bradley" (Канада), "Siemens" (Германия), "ABB" (Финляндия), "Mitsubishi Electric" (Япония). Исходя из вышеперечисленных сведений о производителях преобразовательной техники, следует отметить, что в настоящее время мировыми лидерами по производству высоковольтных преобразователей частоты занимают компании "Allen-Bradley" (Канада) с преобразователями серии PowerFlex 7000, "Siemens" (Германия) с преобразователями серии Sinamics. Рассмотрим особенности вы-

соковольтных преобразователей частоты ведущих мировых производителей. Высоковольтные преобразователи серии Sinamics разработаны компанией "Siemens", и является расширением серии низковольтных преобразователей Sinamics. Особенностями данного вида преобразователей является отсутствие электрического соединения между силовой частью преобразователя и системой управления, все соединения выполнены с использованием оптоволоконной технологии, возможность выполнения автономного инвертора как с использованием IGBT – транзисторов, так и с использованием IGCT – тиристоров, что позволяет создавать автономные инверторы с различными функциями источника питания.

Высоковольтные преобразователи большой мощности подразделяются на две серии: Sinamics GM150 и Sinamics SM150. Принципиальные отличия двух преобразователей заключаются в различных используемых силовых полупроводниковых элементах автономного инвертора. В преобразователе Sinamics GM150 используются последовательно соединенные IGBT – транзисторы, по два в каждое плечо фазы. Наличие двух полупроводниковых ключей, включенных последовательно в каждую фазу, обусловлено электрическими параметрами элементов. Так, в настоящее время промышленностью выпускаются IGBT – транзисторы на максимальное рабочее напряжения 3,3 кВ, последовательное соединение которых увеличивает диапазон рабочего напряжения в 2 раза, тем самым достигается уровень напряжения высоковольтного оборудования. Также следует отметить, что компания "Mitsubishi Electric" (Япония) разработала новые HVIGBT – транзисторы CM600HC–130H с рабочим напряжением 6,5 кВ и током 600 А, однако в на-

стоящее время, данные элементы не распространены ввиду высокой стоимости. В преобразователе Sinamics SM150 используются IGCT – тиристоры, также по два в каждое плечо фазы. Помимо различия силовых полупроводниковых элементов, данные преобразователи отличаются и функциями источника питания электродвигателя. Так преобразователь серии Sinamics GM150 обладает функциями источника напряжения с его всеми достоинствами и недостатками, а преобразователь серии Sinamics SM150 обладает функциями источника тока, также со всеми его достоинствами и недостатками.

Достоинствами преобразователя серии Sinamics GM150, как преобразователя с функциями источника напряжения, принято считать возможность работы преобразователя на групповую нагрузку, т.е. на питание нескольких потребителей от одного преобразователя, высокий КПД до 98,5%, недостатком – отсутствие возможности для рекуперации электрической энергии в сеть без дополнительного оборудования.

Достоинствами преобразователя серии Sinamics SM150, как преобразователя с функциями источника тока, принято считать возможность свободной рекуперации электрической энергии в питающую сеть без дополнительного оборудования, большая мощность, по сравнению с преобразователем Sinamics GM150, способность сформировать на выходе преобразователя частоты тока, которые не зависят от режимов работы и параметров двигателя, а определяются только сигналом задания, высокий КПД до 99 %; недостатком следует считать отсутствие возможности для питания групповой нагрузки.

Высоковольтный преобразователь частоты серии PowerFlex 7000 компании

"Allen-Bradley" (Канада) представляет собой бестрансформаторную схему автономного инвертора то-ка с широтно-импульсной модуляцией, выполненную на основе SGCT – тиристоров (Symmetrical Gate Commutate Thyristor). Даная разновидность силовых полупроводниковых ключей представляет собой симметричный коммутационный тиристор с интегрированным управлением и является расширением серии тиристоров IGCT с более высокой частотой модуляции. Так, тиристор IGCT обладают частотой модуляции лежащей в пределах до 200 Гц, а тиристоры SGCT обладают частотой модуляции лежащей в пределах от 400 до 1000 Гц.

Следует отметить, что все преимущества преобразователей серии Sinamics в преобразователе PowerFlex 7000 сохранены, а преимущества преобразователя PowerFlex 7000 по отношению к преобразователям серии Sinamics заключается в унифицированности преобразователей, т.е. стандартные двигатели совместимы с преобразователем без снижения номинальной мощности и даже без изменений условий работы, без дополнительных согласующих устройств. Преобразователи данной серии обладают низким коэффициентом нелинейных искажений преобразователя благодаря использованию метода селективного подавления гармоник. Кроме того, уникальным является расстояние между преобразователем частоты и приводным двигателем, которое может достигать 15 км.

Основной проблемой, возникающей при использовании статических преобразователей частоты, включая преобразователи ведущих мировых производителей, заключается в электромагнитной совместимости автономного инвертора с приводным двигателем. Существует не-

сколько путей решения данной проблемы. Так компания "Siemens" производит разработку всех без исключения преобразователей частоты, нагрузкой которых являются двигатели своего же производства, с повышенной изоляцией обмоток. Питание двигателей других производителей, от преобразователей частоты компании "Siemens", также может происходить, но с использованием дополнительных согласующих устройств. Следует отметить и компанию "Allen-Bradley", которая для решения данной проблемы использовала на выходе преобразователя частоты ограничитель, выполненный на основе LC – фильтра. Данное устройство позволяет избежать повреждения изоляции обмоток любого стандартного двигателя, включая двигатели, бывшие в употреблении и имеющие пониженную изоляционную способность обмоток.

Следует отметить, что преобразователь PowerFlex 7000 на сегодняшний день, обладает наиболее приемлемыми характеристиками среди высоковольтных преобразователей частоты.

Кроме ведущих мировых производителей высоковольтной преобразовательной техники, следует отметить и отечественных производителей. К данному сегменту рынка следует отнести оборудование компаний ОАО "Электровыпрямитель" (Россия), СП "Триол" (Украина Россия). В частности, высоковольтные преобразователи компании ОАО "Электровыпрямитель" собраны из отечественных полупроводниковых элементов, большинство которых произведено непосредственно на предприятии. Структурная схема преобразователя серии ВПЧА представляет собой автономный инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией и выполнен на основе бестрансформаторной блочной системы. Увеличение мощно-

сти преобразователя происходит за счет подключения дополнительных параллельных ячеек с силовыми полупроводниковыми элементами к основным ячейкам. Структурная схема высоковольтного преобразователя частоты серии СТ10 компании СП "Триол" представляет собой низковольтный автономный инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией с двумя трансформаторами: понижающим и повышающим. Увеличение мощности преобразователя осуществляется так же как и в преобразователе компании "Электровыпрямитель" за счет подключения дополнительных параллельных ячеек с силовыми полупроводниковыми элементами. В данной серии преобразователей силовыми ключами служат IGBT – транзисторы.

Данные преобразователи обладают своими достоинствами и недостатками. К достоинствам следует отнести только стоимость оборудования. К недостаткам преобразователя следует отнести относительно низкий КПД 93 – 94 %, наличие индивидуального фильтра на каждую дополнительную ячейку, следовательно, большие габаритные размеры.

Отдельно следует отметить очень низкую надежность отечественного оборудования, что практически делает невозможным нормальное использование его в промышленности. Так наработка на отказ преобразователей компании "Siemens" составила более 400 тыс. часов, а наработка на отказ отечественных преобразователей СП "Триол" составляет около 10 – 15 тыс. часов. Основной причиной отказов отечественного оборудования является низкое качество сборки преобразователей, а также низкое качество отечественных силовых полупроводниковых элементов.

Кроме того, СП «Триол» использует в качестве силовых полупроводниковых

элементов высоковольтных преобразователей частоты серии СТ17 отечественные однооперационные тиристоры. Производители данного оборудования сообщают о преимуществах данных элементов силовой электроники по цене, рабочим токам и напряжениям, однако в схемах с однооперационными SCR тиристорами обязательно должен присутствовать блок искусственной коммутации, что усложняет силовую часть преобразователя и снижает его надежность. Хотелось бы верить, что в ближайшее будущее отечественные производители высоковольтной преобразовательной техники решат вопросы по повышению качества и надежности своего оборудования.

Следует отметить, что полностью отказаться от использования классических однооперационных SCR тиристоров, используемых в качестве силовых ключей автономных инверторов, пока невозможно, т.к. данные приборы являются единственными элементами силовой электроники, перешагнувшие рубеж 10 кВ.

Одним из перспективных способов использования системы высоковольтный преобразователь частоты – синхронный двигатель является использование в качестве системы электропривода шахтной (рудничной) подъемной машины.

Основоположниками теоретических исследований в области теории электропривода и управления подъемными установками являются труды профессоров В.С. Тулина и В.Б. Уманского. Развитие данных теорий продолжили такие ученые как В.М. Чермалых, М.В. Мартынов, Н.Г. Переслегин, А.Д. Динкель, В.Е. Католиков и другие.

Все электропривода шахтных (рудничных) подъемных установок можно подразделить по типу используемых в

них электродвигателей. Кроме того, существуют определенные тенденции и традиции в области применения того или иного типа привода в условиях шахтных подъемных установок, и в условиях рудничных подъемных установок. Так, в качестве электропривода шахтных подъемных установок, порядка 93 % нашел свое применение асинхронный электропривод, в качестве электропривода рудничной подъемной установки нашел свое применение электропривод на основе двигателя постоянного тока. Кроме того, системы электропривода подъемных установок можно подразделить на однодвигательные и двухдвигательные.

Использование синхронного двигателя с питанием от преобразователя частоты, позволяет значительно улучшить энергетические показатели подъемных установок за счет высокого КПД, опережающего коэффициента мощности, отсутствие добавочных сопротивлений. Кроме того, значительно улучшается точность тахограммы движения, и имеется реальная возможность для избавления от передаточных звеньев, которым является редуктор. Следует отметить, что асинхронный электропривод имеет ограниченный диапазон промышленной мощности порядка 1250 кВт, что является также недостатком данного вида электропривода. Двигатель постоянного тока также обладает некоторыми недостатками, так сложность ремонтных работ данного двигателя, наличие коллекторно-щеточного узла, что значительно снижает надежность данного двигателя.

Рассмотрев достоинства и недостатки всех основных систем электроприводов шахтных (рудничных) подъемных установок, следует заявить, что наиболее перспективно использование высоковольтного синхронного электродвигате-

ля с питанием от статического преобразователя частоты.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лазарев Г.Б.* Высоковольтные преобразователи для частотно-регулируемого электропривода // *Новости электротехники.* - 2006. - № 2
2. *Иванов А.Г., Шеляховский М.А., Фомин Ю.А.* Современные решения Siemens в области мощных высоковольтных электроприводов // *Регулируемый электропривод. Опыт и перспективы применения.* Сборник докладов научно-практического семинара 2006г., - М.: Издательство МЭИ, 2006.
3. *Головин В.В. Карандаев А.С.* Промышленное внедрение и опыт эксплуатации современных электроприводов в ОАО "ММК" // *Регулируемый электропривод. Опыт и перспективы применения.* Сборник докладов научно-практического семинара 2006г., - М.: Издательство МЭИ, 2006.
4. *Высоковольтный привод переменного тока PowerFlex 7000* // *Техническое руководство - Canada: 2003.*

#### Коротко об авторах

*Решетняк Сергей Николаевич* – старший преподаватель кафедры «Электрификация и энергоэффективность горных предприятий» Московского государственного горного университета



---

#### ДИССЕРТАЦИИ

##### ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

<i>Автор</i>	<i>Название работы</i>	<i>Специальность</i>	<i>Ученая степень</i>
<b>УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ</b>			
ЛЯПЦЕВ Геннадий Александрович	Совершенствование экономического обоснования кондиций в условиях формирования устойчивой минерально-сырьевой базы	08.00.05	к.э.н.