

Применение инверторов тока в высоковольтном электроприводе

С.А. Лазарев

канд. техн. наук, заведующий кафедрой САУЭП¹,
ведущий специалист отдела электропривода²
lazarev-s@ekra.ru

¹Чувашский государственный университет,
Чебоксары, Россия

²НПП «ЭКРА», Чебоксары, Россия

Рассмотрены аспекты применения частотно-регулируемого электропривода для решения задач энергосбережения, увеличения ресурса электропривода. Приведен сравнительный анализ преобразователей частоты с инвертором тока и электроприводов на их основе.

Материалы и методы

Опыт внедрений. Обработка результатов экспериментальных исследований.

Ключевые слова

электрический привод, преобразователь частоты, автономный инвертор тока, электромагнитная совместимость

Рациональное и эффективное использование энергии — важная задача, которая с особой остротой ставит проблему преобразования электроэнергии. Одним из ведущих потребителей электроэнергии сегодня является электропривод. Внедрение современных систем регулируемого электропривода позволяет не только экономить электроэнергию и увеличить ресурс электрооборудования, но и внедрить инновационные технологии, позволяющие существенно улучшить качества выпускаемого продукта.

Наибольшее распространение получили электроприводы с двухзвенным преобразованием энергии, когда электроэнергия промышленной частоты и напряжения преобразуется в энергию требуемой для регулирования скорости электропривода частоты и соответствующего напряжения. Такие устройства получили название преобразователей частоты со звеном постоянного тока. В них преобразование энергии осуществляется в два этапа. На первом этапе осуществляется преобразование переменного тока в постоянный путем его выпрямления. На втором этапе, с помощью инвертора, постоянный ток преобразуется в переменный требуемой для питания электродвигателя частоты и напряжения.

Одним из важнейших аспектов выбора топологии построения силовой схемы регулируемого электропривода, является учет электромагнитной совместимости преобразователя с электродвигателем и с питающей электропривод сетью. Такое влияние прежде всего оценивается процентным содержанием высших гармоник в кривых тока и напряжения.

Если инвертор получает питание от источника с большим внутренним сопротивлением — источника тока, например, выпрямителя с индуктивным фильтром, то при переключении «ключей» на выходе инвертора может быть сформирован переменный ток в виде последовательности разнополярных прямоугольных импульсов тока. Первая гармоника такой последовательности должна соответствовать требуемому значению выходного тока. В этом случае для нагрузки инвертор является источником с большим внутренним сопротивлением, т. е. источником тока. Такой инвертор получил название автономного инвертора тока.

Существенным преимуществом такой топологии построения преобразователя для регулируемого электропривода является наличие рекуперации энергии с вала электродвигателя в питающую электропривод сеть.

Коммутация ключей инвертора тока может быть естественной, когда напряжение анод — катод тиристора становится отрицательным и ток через тиристор падает до нуля и принудительной, требующей применения полностью управляемых ключей. В первом случае инвертор коммутруется противо-ЭДС синхронной машины (рис. 1). Такой инвертор получил название инвертора ведомого синхронной машиной.

Достоинством такого схемотехнического решения является использование, как в управляемом выпрямителе, так и в инверторе, тиристоров с простой системой фазового управления. При этом регулирование тока инвертора осуществляется с помощью управляемого выпрямителя выполненного на тиристорах с фазовым управлением. Однако управляемый выпрямитель отрицательно влияет на питающую сеть переменного тока. Во-первых, он потребляет из сети несинусоидальный ток. Во-вторых, он сдвигает фазу потребляемого тока относительно питающего (сетевое) напряжения. Низкий «сетевой» коэффициент мощности обусловлен свойствами управляемого выпрямителя с естественной коммутацией тиристоров и их импульсно-фазовым управлением. При этом коэффициент мощности уменьшается по мере увеличения диапазона регулирования нагрузки и скорости привода. В итоге растут реактивный и результирующий токи потребляемые преобразователем частоты из питающей сети, что ведет к необходимости увеличения сечения проводников кабельных линий питающих электропривод. Другим недостатком такой схемы является плохая форма выходного тока инвертора, а следовательно, повышенный нагрев и недоиспользование электродвигателя.

Исходя из сказанного, регулируемый электропривод с синхронной машиной и ведомым инвертором тока мало эффективен, но такое решение может быть успешно использовано для плавного пуска электропривода, когда время работы преобразователя на электродвигатель

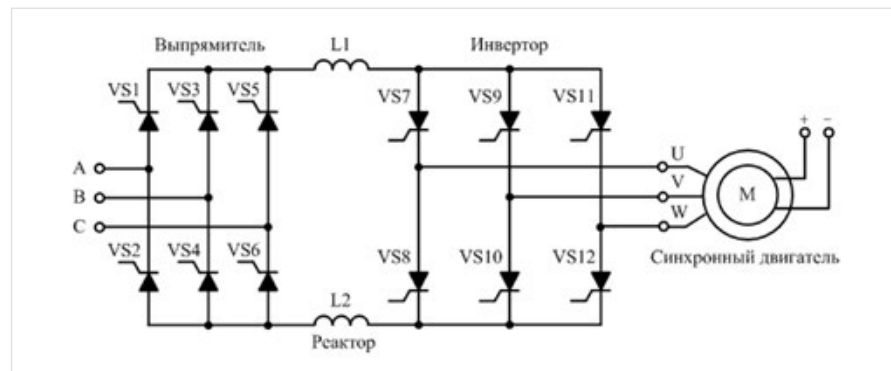


Рис. 1 — Схема электропривода с синхронным двигателем и ведомым инвертором тока

ограничено. При этом после завершения пуска преобразователь шунтируется, а двигатель переходит на питание от сети.

Для реализации высоковольтного электропривода по схеме рис. 1 плечи мостов выпрямителя (VS1-VS6) и инвертора (VS7-VS12) выполнены из последовательно включенных тиристоров. Для напряжения 6 кВ четыре тиристора с максимальным обратным напряжением 6500 В и шесть тиристоров при напряжении 10 кВ. По такой схеме построены преобразователи серии ШПТУ-ВИ, выпускаемые НПП «ЭКРА», предназначенные для плавного безударного пуска высоковольтных синхронных двигателей мощностью до 12,5 МВт.

На рис. 2 приведены осциллограммы изменения действующего значения тока и напряжения в процессе пуска синхронного двигателя, снятые со стандартных трансформаторов тока и напряжения, установленных во входной ячейке. Кратность пускового тока в этом случае составила 2,5 от номинала. Сравнительный анализ провалов напряжения в узле подключения при пуске рассматриваемого электропривода показал уменьшение провала напряжения до 7% против 23% при прямом пуске.

Одним из немногих производителей высоковольтных преобразователей частоты на полностью управляемых тиристорах является фирма Allen-Bradley, с начала 90-х годов производившая серию 1557 MV с воздушным и жидкостным охлаждением GTO тиристоров.

На рис. 3 приведена схема преобразователя частоты на основе инвертора тока на запираемых тиристорах VS7-VS12 с управляемым выпрямителем на входе. В такой схеме реализовано комбинированное управление током путем регулирования угла отпирания тиристоров (VS1-VS6) управляемого выпрямителя и ШИМ управляемых тиристоров VS7-VS12 инвертора. Применение в схеме инвертора запираемых тиристоров позволяет использовать такую топологию преобразователя, как с асинхронным, так и с синхронным электродвигателем, а применение ШИМ позволяет получить формы выходного тока и напряжения, близкие к синусоидальным.

Необходимость ограничений перенапряжений на тиристорах автономного инвертора тока при коммутации токов в обмотках электродвигателя требует установки на выходе инвертора мощных высоковольтных конденсаторов фильтра (C1-C3), которые поглощают высокочастотные гармоники. Для того, чтобы избежать резонансных перенапряжений в цепях инвертора и обмоток электродвигателя по мере изменения мощности привода, его рабочих токов и напряжений требуется коррекция значений емкостей конденсаторов. Поэтому подобные преобразователи на основе инверторов тока весьма чувствительны к изменению параметров электрических машин, что ограничивает их универсальность при питании электродвигателей различных типов и мощности.

Что касается влияния такого преобразователя на питающую сеть, то оно аналогично ранее рассмотренной схеме (рис.1) и обусловлено 6-ти пульсностью выпрямления, построенной на тиристорах

с фазовым принципом управления и соответствует уровню содержания высших гармоник THD 25–27%.

Аналогичную топологию силовой схемы имеет преобразователь PowerFlex 7000 фирмы Allen-Bradley, выполненный на запираемых тиристорах с интегрированным управлением — SGCT, отличающийся только схемой управляемого выпрямителя, имеющего 18-ти пульсную схему выпрямления с согласующим трансформатором (рис. 4). Применение 18-пульсной схемы выпрямления и согласующего трансформатора (Т) позволило уменьшить содержание высших гармоник во входном токе преобразователя до уровня 6,6%, а применение в схеме инвертора симметричных тиристоров с интегрированным управлением — SGCT, обеспечивающих более высокую частоту ШИМ — 440–1000 Гц по сравнению с 200–225 Гц для GTO-тиристоров, позволило приблизить форму инвертируемого тока к синусоидальной и добиться значения общего содержания высших гармоник (THD) 5–6%.

Существенным недостатком рассмотренных схем инвертора тока с многопульсным выпрямителем является наличие мощного согласующего многообмоточного трансформатора, увеличивающего весогабаритные показатели преобразователя.

Дальнейшее уменьшение влияния преобразователя частотно-регулируемого электропривода с инвертором тока на питающую сеть возможно при использовании активного выпрямителя. При этом общее содержание высших гармоник (THD) будет снижено до уровня 4–5%.

При такой топологии силовой схемы (рис. 5) отпадает необходимость в применении согласующего трансформатора для питания выпрямителя, а активный выпрямитель подключен к сети через LC фильтр (L1-L3, C1-C3).

В активном выпрямителе (VS1-VS6) и в инверторе тока (VS7-VS12) используются запираемые тиристоры с интегрированным управлением — SGCT, позволяющие коммутировать силовой ток с частотой до 1000 Гц.

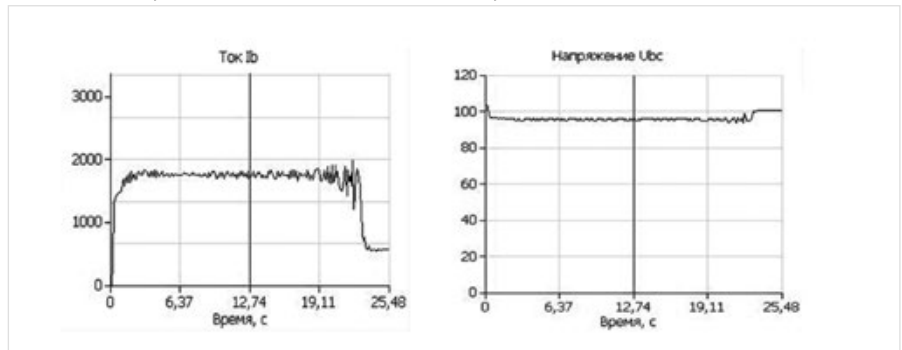


Рис. 2 — Осциллограммы пуска от ШПТУ-ВИ синхронного электродвигателя СТДП-12500кВт 10кВ с дожимным компрессором, работающим на закрытую задвижку

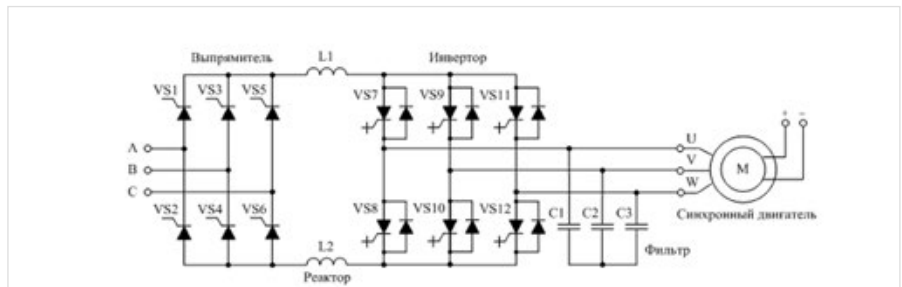


Рис. 3 — Схема электропривода с инвертором тока на запираемых тиристорах

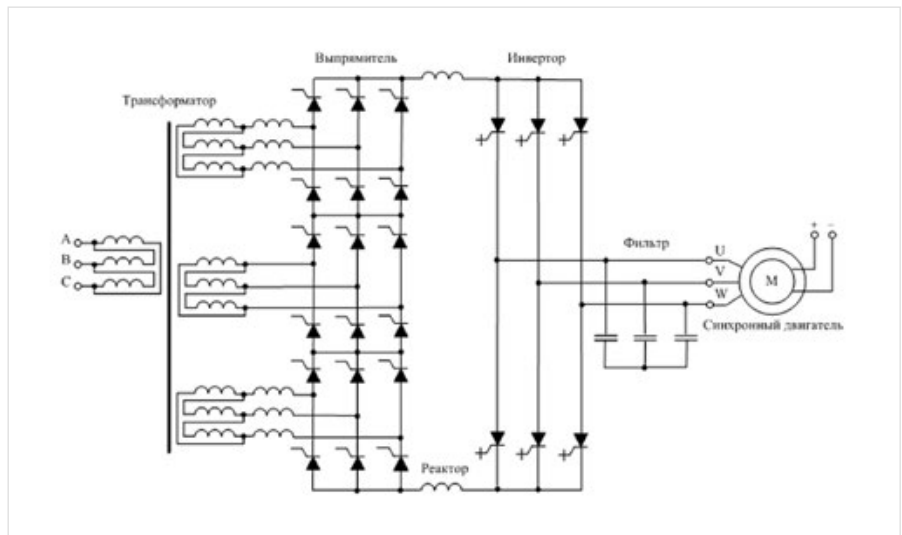


Рис. 4 — Схема электропривода с инвертором тока, питающим синхронный электродвигатель, и 18-пульсным выпрямителем

Максимальное напряжение таких тиристорных составляет 5600 В, поэтому для реализации электропривода с номинальным напряжением 6 и 10 кВ тиристоры включаются последовательно. Номинальные токи выпускаемых серийно фирмой АВВ запираемых тиристоров типа SGCТ позволяют реализовать шкалу мощностей электропривода до 5600 кВт.

Таким образом, преобразователь частоты на основе инвертора тока и активного выпрямителя выполнен на запираемых тиристорах, является наиболее эффективным решением для электроприводов большой мощности в случае необходимости, по технологическим условиям работы приводимого механизма, обеспечения режима рекуперации энергии в питающую электропривод сеть.

К общим недостаткам преобразователя для электропривода с инвертором тока следует отнести:

1. Необходимость применения снабберных цепей, схемотехнических и алгоритмических решений, подбор тиристоров по времени включения и выключения для статического и динамического выравнивания напряжения между последовательно включенными тиристорами.
2. Ограниченная частота коммутации запи-

раемых тиристоров, увеличивающая содержание высших гармоник в обмотках электродвигателя.

3. Наличие коммутации тока, а не напряжения, вызывает в окружающей преобразователь частоты среде появление магнитных составляющих электромагнитных полей. Подавление влияния этих полей на проводники связи и микропроцессорные устройства управления всегда более затруднительно, чем подавление электрических полей, свойственных коммутации напряжения.

К наиболее существенному недостатку рассмотренных схемных решений следует отнести высокую стоимость запираемых тиристоров, а следовательно и преобразователей на их основе.

Исходя из сказанного, мощный высоковольтный регулируемый электропривод на основе инвертора тока может быть рекомендован для механизмов с рекуперацией энергии.

В тех случаях, когда при работе мощного синхронного двигателя по технологическим условиям не требуется регулирование скорости, электропривод с инвертором тока, ведомым синхронной машиной, выполненный на тиристорах с фазовым управлением, является хорошим

бюджетным решением для реализации плавного пуска синхронного двигателя с малыми пусковыми бросками тока (1,5–2,5 крат от номинала). Примером таких преобразователей с инвертором тока является серия ШПТУ-ВИ (рис. 6), выпускаемые НПП «ЭКРА».

Итоги

Внедрены системы частотно-регулируемого электропривода с синхронными двигателями в составе автоматизированных систем управления технологического оборудования ОАО АК «Транснефть».

Выводы

Применение частотно-регулируемого электропривода обеспечивает экономию электроэнергии и ресурса, внедрить новые инновационные технологии. Использование инвертора тока позволяет реализовать режим рекуперации энергии в питающую сеть.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

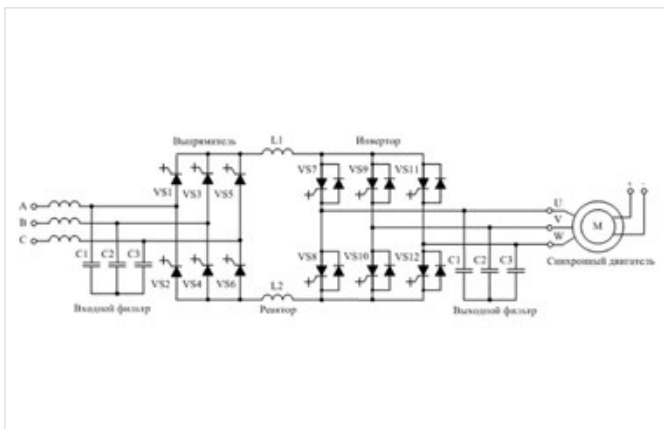


Рис. 5 — Схема электропривода с активным выпрямителем и инвертором тока



Рис. 6 — Внешний вид устройства плавного пуска на основе инвертора тока ШПТУ-ВИ со шкафами системы АСУ ТП и шунтирующего контактора

ENGLISH

ELECTRICAL ENGINEERING

The use of current inverters in the high voltage electric drive

UDC 621.6-5:621.314.2

Authors:

Sergey A. Lazarev — candidate of technical sciences, head of department SAUEP¹, leading expert of electrical drive department²

¹Chuvash State University, Cheboksary, Russian Federation

²EKRA Ltd., Cheboksary, Russian Federation

Abstract

Different factors of the use of a variable frequency drive aimed at resolving energy conservation issues and increasing drive resources are reviewed. Comparative analysis of the frequency converters with the current inverter and drives based on them has been conducted.

Materials and methods

Experience of implementation. Processing of the results of experimental studies.

Results

Introduce variable frequency drive with synchronous motors in automated control systems of technological equipment JSC "Transneft".

Conclusions

The use of variable frequency drive saves energy and resources and allows to introduce innovative new technologies. Using current inverter mode ensures energy recovery in the supply network.

Keywords

electric drive, frequency converter, current inverter, electromagnetic compatibility

References

1. GOST 13109-97. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Quality limits in public electrical systems.