

**XVIII International Conference
«Electromechanics, Electrotechnology,
Electromaterials and Components»
PROCEEDINGS OF ICEEE-2020**



**XVIII Международная Конференция
«Электромеханика, Электротехнологии,
Электротехнические Материалы
и Компоненты»**

ТРУДЫ МКЭЭ-2020

21 – 25 сентября 2020

УДК 621.3

ББК 31.2

Э - 455

Труды XVIII Международной Конференции «Электротехника, Электротехнологии, Электротехнические Материалы и Компоненты». М.: Знак, 2020.

В книге представлены материалы докладов XVII Международной Конференции «Электромеханика, Электротехнологии, Электротехнические Материалы и Компоненты» (МКЭЭЭ-2020, 21 – 25 сентября 2020 г.)

Книга содержит следующие разделы.

1. Электротехнические материалы и компоненты
 - 1.1. Наноматериалы и нанотехнологии.
 - 1.2. Магнитные материалы
 - 1.3. Электроизоляционные и кабельные материалы и изделия
2. Электромеханика
 - 2.1. Электрические машины
 - 2.2. Электрические приводы и системы
 - 2.3. Электрический транспорт
 - 2.4. Электрические и электронные аппараты
3. Электротехнологии
4. Теоретическая электротехника
5. Электропитание

Книга рассчитана на специалистов в области электроэнергетики и электротехники, инженеров и научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов ВУЗов.

netic Gear by Using 3-D Boundary Element Analysis // Material Science Forum. 2014. Vol.. 792.

4. Дергачёв П.А., Курбатов П.А., Молоканов О.Н. Магнитный мультиплексор с регулируемым передаточным отношением для ветровых и малых гидравлических электростанций // Электротехника. 2013. № 4.
5. Афанасьев А.А. Аналитические и численные методы решения задач электромеханики на основе комплексного магнитного потенциала. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2017. 430 с.
6. Афанасьев А.А. Электромагнитные моменты магнитного редуктора // Электричество. 2019. № 2. С. 54 – 59.
7. Важнов А.И. Переходные процессы в машинах переменного тока. Л.: Энергия, 1980. 256 с.
8. Иванов-Смоленский А.В. Электромагнитные силы и преобразование энергии в электрических машинах. М.: Высшая школа, 1989. 312 с.
9. Афанасьев А.А., Дмитренко А.М., Ефимов В.В. Магнитная проводимость модулятора магнитного редуктора // Электротехника. 2017 № 7. С. 11 – 14.
10. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 320 с.
11. Афанасьев А.А., Генин В.С., Исломов И.И., Калинин А.Г., Токмаков Д.А. Регулируемый магнитный редуктор // Электротехника. 2017. № 7. С. 55 – 59.
12. Афанасьев А.А., Генин В.С. Математическая модель регулируемого электромагнитного редуктора с трёхфазной обмоткой статора / Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике. Материалы XII Всерос. научно-технич. конф. ИТЭЭ' 2018. Чебоксары: Изд-во Чувашского ун-та, 2020. С. 9 – 11.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ МНОГОУРОВНЕВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

Крюков О.В.¹, Благодаров Д.А.², Сафонов Ю.М.²

¹ ООО «ТСН-электро»

²НИУ «МЭИ»

В настоящее время базовые технологии транспорта природного газа в мире и РФ связаны с развитием газотурбинного привода (ГТУ) газо-перекачивающих агрегатов (ГПА) [1–3], который далеко не исчерпал

возможностей повышения экономичности за счет дешевизны топливного газа по сравнению с электроэнергией. Уровень КПД газотурбинных двигателей простого цикла мощностью 2 – 50 МВт составляет 32 – 42 %, а центробежных компрессоров – до 85 – 88 % [4 – 6]. Однако сегодня наиболее перспективным типом привода ГПА по экологическим показателям и инновационным возможностям является автоматизированный электропривод (АЭП) с КПД более 92 % [7 – 9].

Основное направление разработки новых электроприводных ГПА (ЭГПА) обусловлено созданием высокооборотных регулируемых АЭП мощностью до 50 МВт с высоковольтными преобразователями частоты (ВВПЧ) на базе интеллектуальных систем управления и мониторинга [10 – 12]. Применение подобных ЭГПА уже апробировано на ряде линейных компрессорных станций (КС) и в особенности на магистральном газопроводе «Парабель–Кузбасс» [13 – 15]. Кроме того, применение высокооборотных герметичных безмасляных ЭГПА в рамках концепции безлюдных технологий перспективно на подводных КС трансконтинентальных газопроводов и добывающих подводных комплексах при освоении месторождений природного газа в шельфовой зоне Арктики и акватории Тихого океана.

Преимуществами ЭГПА при регулировании подачи от ВВПЧ являются:

- высокая энергоэффективность АЭП в большом диапазоне регулирования давления природного газа на выходе с КС;
- высокие показатели надежности: коэффициент готовности – 0,972 против 0,944 у ГТУ; коэффициент технического использования – 0,911 (0,846 у ГТУ), наработка на отказ 3919 ч (у ГТУ – 1299 ч.);
- несопоставимый уровень экологичности ЭГПА, поскольку ГТУ потребляет от 8 – 15 % объема транспортируемого газа, выбрасывая в атмосферу 140 тыс. т NO₂, 270 тыс. т CO₂ и 84,8 млн. т C₃O₂ в год с

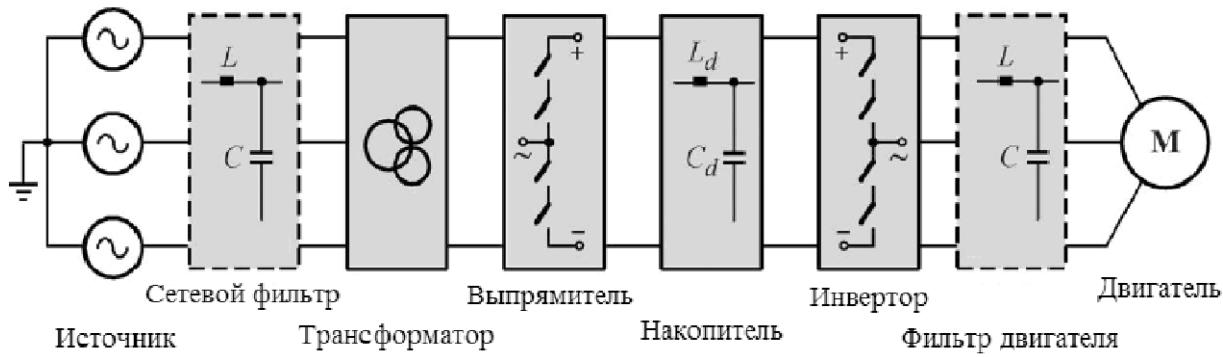


Рис. 1. Общая структура двухзвенного ВВПЧ для ЭГПА

компенсацией за выбросы в 1000 – 1250 раз больше, чем при ЭГПА.

Все это обуславливает необходимость снижения потерь, повышения точности управления, снижения выбросов вредных веществ при переходе от ГТУ к частотно-регулируемому высоковольтному АЭП ЭГПА. При этом преобразователи частоты должны выполняться по многоуровневым схемам из-за ограниченных значений напряжений быстродействующих полупроводниковых ключей. Сегодня используются полностью управляемые полупроводниковые силовые приборы типа GTO, IGBT, IGCT и другие в модульном исполнении, которые увеличили мощности до 80 МВт, функциональные возможности и технико-экономические показатели преобразователей.

Общая структура двухзвенного ВВПЧ приведена на рис. 1.

Наличие фильтров со стороны сети и двигателя определяется системными требованиями и параметрами ВВПЧ. Для питания 12-, 18- и 24-пульсных выпрямителей используются многообмоточные трансформаторы с фазовым сдвигом между напряжениями обмоток для уменьшения искажений в питающей сети. Выполнение AC/DC преобразователя в виде активного выпрямителя позволяет алгоритмически обеспечить электромагнитную совместимость АЭП с питающей сетью с требуемым коэффициентом мощности. Принятая топология ВВПЧ также обеспечивает совместимость его с ЭГПА.

Использование полностью управляемых приборов, коммутируемых с высокой частотой, позволяет обеспечить частоту выходного напряжения ВВПЧ выше 50 Гц, поэтому синхронная скорость машины может превышать 3000 об/мин. Это позволяет исключить из состава ЭГПА

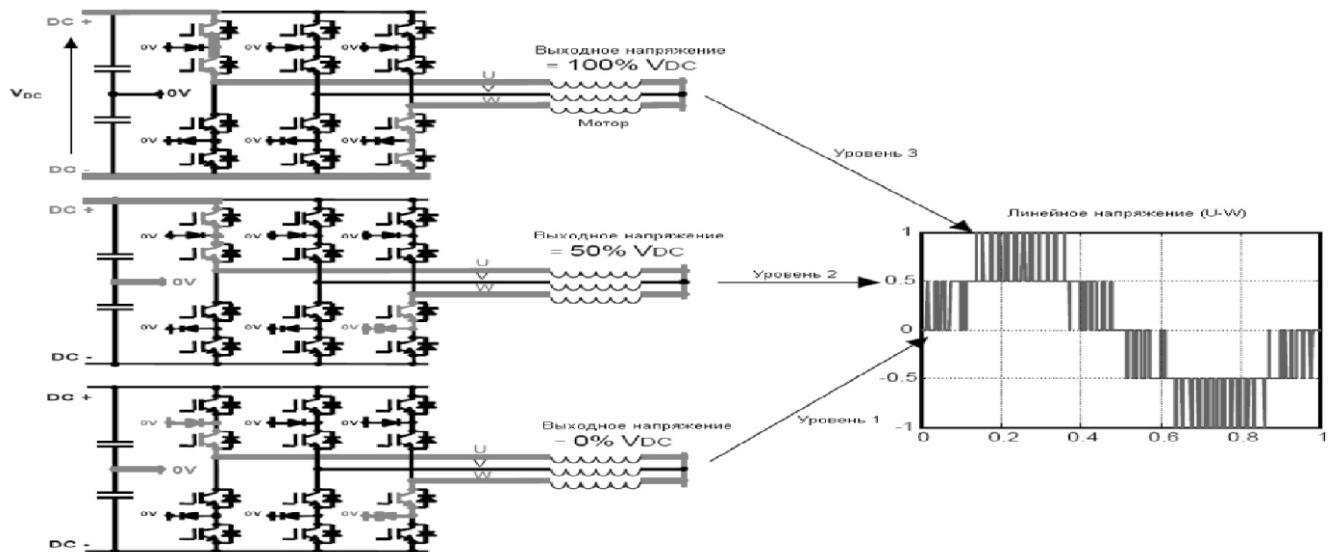


Рис. 2. Принципиальная схема многоуровневого ВВПЧ для ЭГПА

традиционный редуктор (мультипликатор), что существенно упрощает конструкцию ЭГПА, повышая его надежность и КПД.

На рис. 2 представлена принципиальная схема, поясняющая методологию формирования трехуровневого напряжения ВВПЧ на базе трехуровневого инвертора напряжения для обеспечения регулирования технологических параметров ЭГПА. Такая схема с фиксирующими диодами является одной из наиболее распространенных топологий многоуровневых автономных инверторов. Реализация нескольких уровней напряжения обеспечивается за счет подключения выходных клемм инвертора к различным точкам цепи, образованной последовательным соединением конденсаторов звена постоянного тока. По сравнению с двухуровневым инвертором, несмотря на увеличение ключей, напряжение на отдельных транзисторах вдвое меньше.

Выводы.

Применение высоковольтных многоуровневых преобразователей частоты в электроприводных газоперекачивающих агрегатах позволяет обеспечить реализацию задач энергоэффективности и энергосбережения в технологических агрегатах дальнего транспорта газа на компрессорных станциях и этим снизить энергоемкость и себестоимость природного газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воронков В.И., Крюков О.В., Рубцова И.Е.** Основные экологические направления и задачи энергосбережения при проектировании объектов ОАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2013. № 7 (693). С. 74 – 78.
2. **Киянов Н.В., Крюков О.В.** Решение задач промышленной экологии средствами электрооборудования и АСУТП // Автоматизация в промышленности. 2009. № 4. С. 29 – 34.
3. **Kryukov O.V., Blagodarov D.A., Safonov Y.M. al.** Intelligent control of electric machine drive systems / 2018 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2018. – Conference Proceedings. 10. 2018.
4. **Крюков О.В., Васенин А.Б.** Функциональные возможности энергетических установок при питании удаленных объектов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2014. № 2. С. 50 – 56.
5. **Крюков О.В.** Мониторинг условий эксплуатации электродвигателей газоперекачивающих агрегатов // Контроль. Диагностика. 2016. № 12. С. 50 – 58.
6. **Крюков О.В., Степанов С.Е.** Модернизация систем управления ЭГПА в условиях действующих компрессорных станций // Проблемы автоматизации