

## Выводы и предложения

1. Комплексная автоматизация КС должна предусматривать решение всех основных проблем станции, в частности, в обязательном порядке включать АСУ Э.

2. АСУ КС должна быть свободно развиваемой системой, предусматривающей простое расширение системы при появлении новых видов оборудования.

3. Желательно построение АСУ КС на единой программно-технической базе. В этом случае достигается оптимальный состав технических средств, свободная компоновка отдельных подсистем, в том числе подсистем реального времени, значительно облегчается техническое обслуживание АСУ.

4. Опыт работы фирмы "ЭЛНА" показывает, что ориентация на применение программных и технических средств отечественного производства приводит к значительному (примерно в 1,5 раза) снижению стоимости поставляемых систем при полном соответствии технических характеристик требованиям основных нормативных документов.

5. Комплексное решение проблем автоматизации КС возможно только на основе сотрудничества фирм-разработчиков отдельных элементов автоматизации. Фирма "ЭЛНА" готова к такому сотрудничеству.

## ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА АО АНСАЛЬДО-ВЭИ

*Добкин И.Д., Таратута И.П., Чуприков В.С.  
(АО Ансальдо-ВЭИ)*

Частотно-регулируемый электропривод является одним из современных средств повышения эффективности работы и увеличения сроков службы оборудования предприятий. Особенно боль-

шой эффект дает внедрение преобразователей частоты (ПЧ) для двигателей средней и большой мощности, установленных на насосных и компрессорных станциях предприятий и городских служб, нефте- и газоперекачивающих станций и т.п.

Последние достижения в области силовой электротехники и электроники позволяют сегодня реализовать ПЧ, обладающие возможностями, не достижимыми ранее. Появление новых быстродействующих силовых приборов - биполярных транзисторов с изолированной базой (Insulated Gate Bipolar Transistor - IGBT) и тиристоров, управляемых по затвору и интегрированных с драйвером (Integrated Gate-Commutated Thyristor - IGCT), обеспечило широкое внедрение принципов ШИМ-управления в ПЧ [1]. С учетом прогресса в области микроэлектроники (наличие широкого спектра мощных сигнальных процессоров и программируемых логических матриц) это дает возможность создавать ПЧ на напряжение до 6 кВ с практически неограниченными функциональными возможностями.

Не вдаваясь в принципы построения современных систем управления ПЧ, в данной работе рассмотрим разработанный в АО Ансальдо-ВЭИ преобразователь частоты типа ПЧ-АД-3/1000.

## Схема ПЧ

Для асинхронных двигателей принципиально невозможно использование инверторов с естественной коммутацией тиристоров, так как статорная обмотка двигателя не генерирует э.д.с., необходимую для обеспечения их запираания. До последнего времени инверторы напряжения строились на запираемых тиристорах. Недостатком их использования были большие динамические потери, необходимость в громоздких цепях выключения тока и низкая частота модуляции.

С появлением мощных IGBT и полностью управляемых тиристоров IGCT, этот недостаток был ликвидирован, и стало возможным реализовать инверторы напряжения по многоуровневой схеме с ШИМ-управлением с частотой модуляции до 1 кГц. Наибольшее распространение в мире получила схема трехуровневого инвертора, называемая NPC (neutral point clamp) [2], позволяющая при использовании приборов класса напряжения 4,5 кВ реализовыв-

вать преобразователи с уровнем выходного напряжения до 4 кВ без использования трансформаторов.

На рис. 1 приведена схема ПЧ, разработанного и изготовленного в АО Ансальдо-ВЭИ и предназначенного для непрерывного регулирования частоты вращения асинхронного двигателя на напряжение 3 кВ и мощность 1000 кВт.

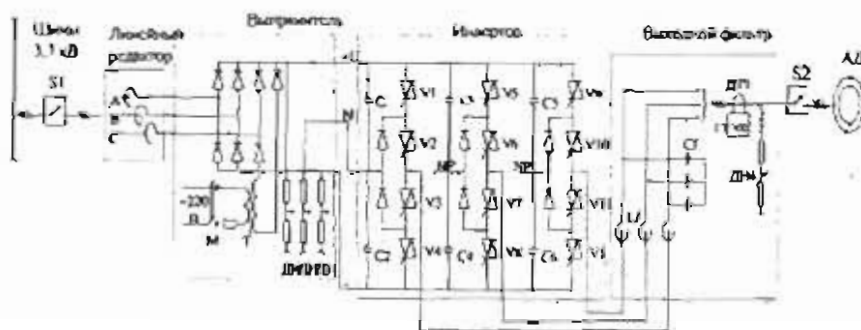


Рис. 1 Однолинейная электрическая схема ТПЧ-АД

ТПЧ включает в себя линейный реактор, трехфазный неуправляемый диодный выпрямитель, емкостной накопитель и автономный инвертор напряжения с широтно-импульсным управлением. Линейный реактор предназначен для ограничения тока короткого замыкания и снижения уровня перенапряжений на выпрямителе. Повышающий трансформатор Т с диодным выпрямителем во вторичной обмотке, подключенный к сети 220 В через магнитный пускатель МП и токоограничивающий резистор, обеспечивает плавный заряд емкостного накопителя С1..С6 до подачи высокого напряжения. Три фазы инвертора формируют на выходе преобразователя трехфазное напряжение с регулируемой частотой и амплитудой. Инвертор выполнен по NPC-схеме, обеспечивающей 3 уровня выходного напряжения в каждой фазе и, соответственно, 5 уровней линейного напряжения. Он реализован на 12 IGBT-приборах на напряжение 4500 В и ток 640 А и соответствующих им по току и напряжению быстродействующих диодах. Выходной LC-фильтр улучшает форму выходного напряжения ПЧ и снижает уровень  $dw/dt$  на обмотках двигателя. Кроме того, в ТПЧ размещаются

датчики тока и напряжения, необходимые для обеспечения работы системы управления ТПЧ. На рис. 2 приведены временные диаграммы (сверху вниз): выходного линейного напряжения инвертора, напряжения и тока нагрузки.

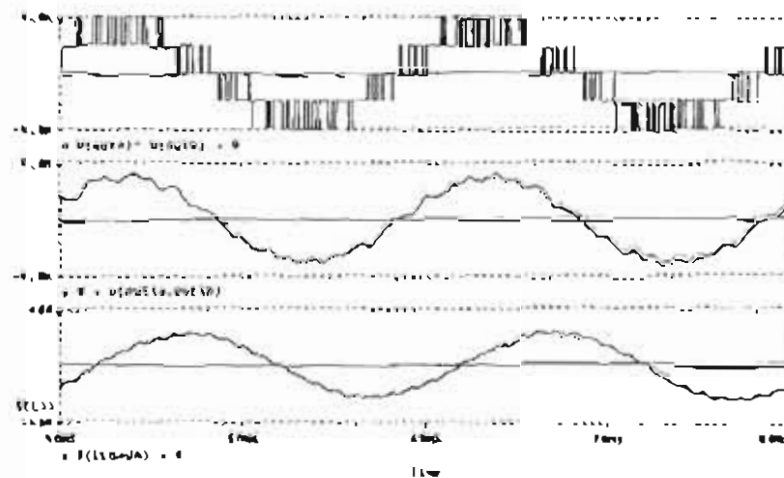


Рис. 2. Временные диаграммы работы ТПЧ

### Система управления

Система управления, реализованная на специализированном контроллере, осуществляет связь с пультом диспетчерского управления, обеспечивая пуск и регулирование скорости двигателя по командам диспетчера в соответствии с заданием, формирует импульсы управления IGBT, реализует ряд защит, а также обеспечивает сигнализацию состояния ТПЧ и индикацию выявленных неисправностей. Для формирования импульсов управления используется принцип векторной ШИМ, обеспечивающий максимальный уровень выходного напряжения и минимизирующий динамические потери в силовых приборах. Управление IGBT осуществляется посредством световых импульсов, передаваемых с потенциала земли по волоконно-оптическим световодам. Питание драйверов IGBT

осуществляется от специальных стабилизированных импульсных преобразователей питания, обеспечивающих гальваническую развязку вторичного напряжения на требуемый уровень изоляции.

### Конструкция

Выпрямитель выполнен в шкафном исполнении и содержит выпрямительный мост, реализованный на диодах с принудительным воздушным охлаждением, ограничители перенапряжения с предохранителями, цепь предварительного заряда накопителей, делители напряжения и разрядные резисторы.

Шкаф инвертора состоит из трех одинаковых секций, в каждой из которых смонтировано оборудование одной фазы. В средней секции расположена также система управления ПЧ. В нижней части каждой секции установлен вентилятор принудительного воздушного охлаждения, над которым располагается вентиляционный короб.

К конструкции инвертора предъявляются особые требования в части обеспечения минимальной индуктивности силовых цепей. С этой целью шины постоянного напряжения выполнены в виде "сэндвича" с твердой изоляцией, проходящего через все три секции. Силовые элементы каждой фазы зажаты в два столба вместе с охладителями на водяных трубках, радиаторы которых фиксируются в изоляционном вентиляционном коробе. Использование охладителей с тепловыми трубками обеспечивает при принудительном воздушном охлаждении оптимальную температуру тиристорov. Измеренное значение превышения температуры корпуса приборов при номинальном токе и напряжении составило 30 °С относительно температуры окружающего воздуха. В качестве резистора демпфирующей RLD цепочки используются низкоиндуктивные полупроводниковые резисторы типа РК143 прижимной конструкции (разработка ВЭИ), зажаты в том же столбе. Низкоиндуктивные накопительные и демпфирующие конденсаторы размещаются по обе стороны вентиляционного короба.

Выходной фильтр также выполнен в шкафном исполнении с принудительным воздушным охлаждением реакторов. В верхней части шкафа над реакторами смонтированы конденсаторы фильтра.

измерительные делители напряжения и датчики выходного тока преобразователя.

### Технические данные ТПЧ-АД

Номинальное напряжение силовых шин питания	3,3 кВ частоты 50 Гц
Мощность электродвигателя, кВт	до 1000
Выходная частота, Гц	0...51
Выходное напряжение, кВ	0...3
Номинальный выходной ток, А	230
Содержание высших гармоник в выходном напряжении, %	не более 10
Тип силового тиристора	5SHX08F4502 (4500 В, 630 А)
Вид охлаждения	воздушное принудительное
Система управления	цифровая
Принцип управления	векторный ШИМ
Частота модуляции инвертора, Гц	1000

### Испытания ТПЧ-АД

Рассмотренный ТПЧ прошел следующие типы испытаний на стендах АО Ансальдо-ВЭИ:

испытания каждой фазы инвертора при коммутациях максимального тока для определения уровня коммутационных перенапряжений;

длительные тепловые испытания каждой фазы инвертора при работе на индуктивную нагрузку при номинальном токе и напряжении;

статические испытания изоляции ТПЧ одномоментным напряжением 10 кВ;

испытания на функционирование ТПЧ в сборе на активную и индуктивную нагрузки;

проверка работы каналов автоматики и защит;

испытания на функционирование ТПЧ в сборе на двигательную нагрузку (плавный пуск и регулирование частоты) при пониженном выходном напряжении (380 В);

испытания на функционирование ТПЧ в сборе на двигательную нагрузку (плавный пуск и регулирование частоты) при номинальном выходном напряжении (двигатель 600 В 630 кВт).

Все испытания прошли успешно. В настоящее время ТПЧ готовится к отправке на объект установки - насосная станция МУП "Водоканал" (г. Череповец).

### Возможность создания ТПЧ-АД для высокооборотного ГПА

Актуальной задачей для газоперекачивающих агрегатов (ГПА) отечественных магистральных газопроводов является создание регулируемого безредукторного электропривода мощностью 6-12 МВт с частотой вращения электродвигателя 8200 об/мин.

Опыт ведущих зарубежных фирм свидетельствует, что для получения оптимальных характеристик построения такого электропривода с использованием ШИМ-инверторов необходим асинхронный двигатель с двумя статорными обмотками, сдвинутыми на  $30^\circ$ , и демпферными обмотками, позволяющими работать от ТПЧ без дополнительного выходного фильтра. Напряжение обмоток статора двигателя выбирается в пределах 2400-4200 В в соответствии с номинальным напряжением инвертора. Питание ТПЧ осуществляется от понижающего трансформатора с двумя вторичными обмотками, также сдвинутыми на  $30^\circ$ . При этом решаются следующие вопросы:

обеспечивается электромагнитная совместимость электропривода с питающей сетью за счет гальванической развязки и низкого уровня высших гармоник в потребляемом из сети токе;

снижается уровень пульсаций момента ротора двигателя;

оптимизируется загрузка силовых ключевых приборов преобразователя по току и напряжению;

уменьшаются динамические потери в преобразователе за счет возможности использования более низкой частоты ШИМ, чем в случае двигателя с одной статорной обмоткой, при одинаковом уровне пульсаций момента.

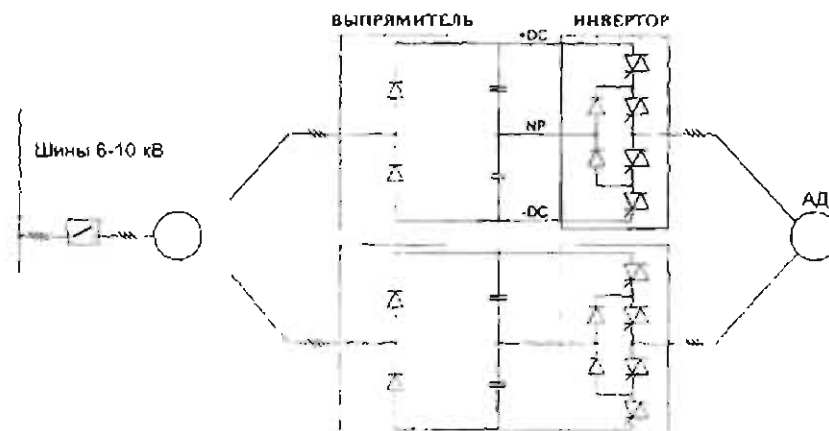


Рис. 3. Схема высокооборотного электропривода ГПА

Схема такого электропривода приведена на рис. 3. Он включает в себя трехобмоточный трансформатор, два одинаковых преобразователя, рассчитанных на половинную мощность двигателя и состоящие из выпрямителя и ШИМ-инвертора, и двухобмоточный асинхронный двигатель. Выпрямители могут быть как неуправляемые диодные, так и тиристорные. В особых случаях, при повышенных требованиях к качеству потребляемого из сети тока, выпрямитель выполняется на той же схеме, что и инвертор, однако цена преобразователя при этом существенно возрастает.

Рассмотрим возможность применения описанного выше ТПЧ-АД для электропривода с двигателем с номинальной скоростью 8200 об/мин. мощностью 6,3 Мвт. При использовании IGCT приборов на напряжение 4500 В в NPC-схеме можно обеспечить выходное напряжение инвертора равным 3800 В, номинальный выходной ток инвертора при этом составит 560 А. Максимальная частота выходного напряжения равна 137 Гц и для обеспечения приспосабливаемого уровня пульсаций момента ротора двухобмоточного двигателя частота ШИМ лежит в пределах 1000-1200 Гц. Следовательно, для модернизации ТПЧ-АД необходимо:

заменить силовые полупроводниковые приборы (диоды и IGCT) на приборы с большим номинальным током;

увеличить емкость емкостного накопителя;

воздушное охлаждение приборов заменить на более эффективное жидкостное.

При этом все основные технические решения как по силовой части, так и по системе управления, использованные в рассмотренном выше ТПЧ-АД, сохраняются и его модернизация может быть проведена в течение 1-1,5 лет при обеспечении необходимого финансирования.

### Выводы

1. Разработан и испытан преобразователь частоты для асинхронного двигателя на напряжение 3 кВ, 1000 кВт, 3000 об/мин... реализованный на базе трехуровневого инвертора напряжения с векторным ШИМ-управлением и использованием полностью управляемых тиристоров IGCT.

2. На его базе возможно создание частотно-регулируемого высокооборотного асинхронного электропривода для газоперекачивающих агрегатов.

### Список использованной литературы

3. Ковалев Ф.И., Флоренцев С.Н. Анализ и прогноз развития приборов силовой электроники на рубеже столетий. // Сборник докладов V симпозиума "Электротехника 2010 год", том.2. Московская обл., 19-22 октября 1999 г.

4. A.Zuckerberger и др. Design, simulation and realization of high power NPC converters equipped with IGCTs. // IEE-IAS, St. Louis, Oct.12-16, 1998.

5. Таратута И.П., Чуприков В.С. Схемотехнические и конструктивные решения преобразователей частоты для регулируемого электропривода. // "Электротехника", № 9, 2001 г.