

# Передовые технологии экономии ресурсов и энергосбережения для комплексной автоматизации электроприводов промышленных агрегатов нефтегазового комплекса

**С.А. Лазарев**

к.т.н., заведующий кафедрой<sup>1</sup>,  
ведущий специалист<sup>2</sup>  
lazarev-s@ekra.ru

<sup>1</sup>САУЭП Чувашский госуниверситет,  
Чебоксары, Россия

<sup>2</sup>отдел электропривода НПП «Экра»,  
Чебоксары, Россия

**Рассмотрены аспекты применения частотно регулируемого электропривода для решения задач автоматизации технологического процесса и энергосбережения. Приведены осциллограммы автоматического переключения питания электродвигателя от преобразователя частоты к питанию от сети и обратно.**

## Материалы и методы

Опыт внедрений. Обработка результатов экспериментальных исследований.

## Ключевые слова

транспорт нефти, электрический привод, преобразователь частоты, автоматизированная система управления технологическим процессом, электромагнитная совместимость

Рациональное и эффективное использование энергии — важная задача, которая с особой остротой ставит проблему преобразования электроэнергии.

Из рассмотрения структуры потребления электроэнергии в России следует, что 60% тратится на преобразование электрической энергии в механическую энергию посредством электродвигателей (это электроприводы насосов, компрессоров, вентиляторов, транспорта, станочного оборудования и т.д.), 14% — на освещение, 13% — прочие затраты и 13% — потери в линиях электропередач и трансформаторах. Вот почему сокращение потерь электроэнергии особенно в мощных высоковольтных электроприводах является первоочередной задачей энергосбережения. Не менее важна задача ресурсосбережения особенно применительно к высоковольтным двигателям, где большие пусковые токи при прямом пуске электродвигателя приводят к повреждению изоляции и преждевременному отказу.

Применение системы плавного пуска и преобразователя частоты в мощном высоковольтном электроприводе полностью решает проблему пуска электропривода, обеспечивает экономию ресурса электродвигателя и приводимого им механизма, устраняет

негативное влияние процесса пуска на питающую электропривод сеть. Кроме того, применение частотно регулируемого электропривода обеспечивает автоматическое регулирование скорости вращения электродвигателя в функции технологического параметра, что не только улучшает качество выпускаемого продукта, но и способствует разработке и внедрению в производство инновационных технологий.

Однако эффективное применение таких систем электропривода немыслимо без комплексного решения задачи построения АСУ ТП объекта, обеспечивающей каскадный запуск нескольких насосных агрегатов от одного преобразователя с последующим переходом к питанию от сети. В случае применения преобразователя частоты и для управления скоростью, а, следовательно, режимом работы насосного агрегата — регулирования напора или производительности по условиям технологии.

Так, например, применение частотно регулируемого электропривода и АСУ ТП на его основе в технологии транспорта нефти позволяет:

- уменьшить расходы электроэнергии до 30%;
- снизить расхода ресурсов на 2–3% за счёт

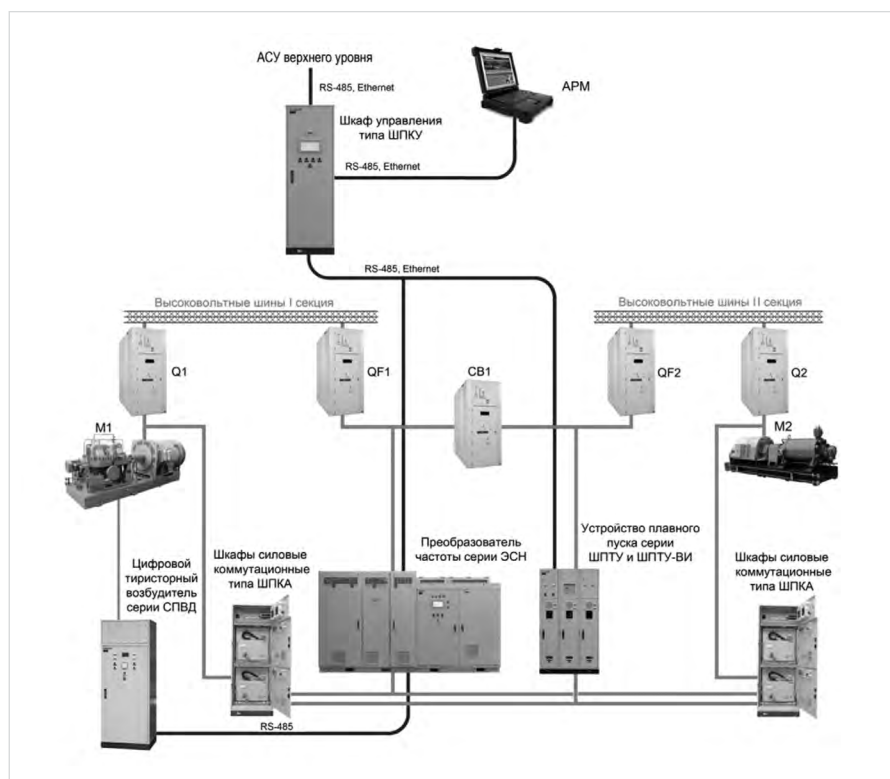


Рис. 1 — Схема АСУ ТП электропривода насосных агрегатов

стабилизации давления в трубопроводе и уменьшить утечки;

- уменьшить строительные объемы зданий и сооружений при вводе новых мощностей и оптимизации энергосистемы потребителя за счёт снижения пиковой мощности;
- уменьшить износ электротехнического и гидромеханического оборудования;
- снизить вероятности возникновения аварий, вызванных гидроударами благодаря плавному изменению режимов работы насосных агрегатов;
- автоматизировать процесс регулирования технологического параметра (производительности насосного агрегата либо напора жидкости в трубопроводе).

В состав систем АСУ ТП объекта (рис. 1) входит оборудование:

- преобразователь частоты ЭСН;
- устройство плавного пуска электродвигателя с фазовым управлением ШПТУ-Д или на основе инвертора тока ШПТУ-ВИ;
- цифровой тиристорный возбудитель СПВД;
- шкафы с коммутационной аппаратурой ШПКА, имеющими в шкафу два или один высоковольтных вакуумных выключателя или контактора выкатного исполнения со шторочными механизмами;
- шкафы управления ШПКУ разной модификации в зависимости от вида системы, в состав которых могут входить контроллер, панельный компьютер, релейная аппаратура;
- программно-технический комплекс — АРМ оператора.

Все устройства, имеют стандартные протоколы промышленных сетей, хорошо интегрируются в АСУ ТП объекта и могут интегрироваться в АСУ верхнего уровня.

Дополнительно в состав систем может входить другое оборудование разных производителей: ячейки типа КРУ, КСО, реакторы, блочно-модульные здания.

Схема АСУ ТП двух насосных агрегатов (рис. 1) с синхронным (М1) и асинхронным (М2) электродвигателями. Питание электроприводов осуществляется от двух секций с возможностью резервирования посредством секционного выключателя СВ1. Оба электродвигателя могут быть переведены на питание от сети посредством силовых коммутационных шкафов ШПКА. Управление возбуждением синхронного электродвигателя осуществляется посредством цифрового тиристорного возбудителя СПВД. Пуск электроприводов осуществляется от устройства плавного пуска ШПТУ-Д (ШПТУ-ВИ) или от преобразователя частоты ЭСН. Все упомянутые устройства объединены в единую систему управления объектом посредством

шкафа управления ШУ (ШПКУ) и управляются от АРМ оператора. Имеется связь АСУ верхнего уровня по любому стандартному протоколу, согласованному с заказчиком.

Система частотного регулирования скорости вращения насосного агрегата СЧР (рис. 2) имеет встроенный ПИД-регулятор, на вход которого подается заданное значение технологического параметра и сигнал обратной связи по технологическому параметру полученный с технологического датчика. В результате работы ПИД-регулятора система управления автоматически формирует требуемое задание скорости вращения агрегата для поддержания заданного значения технологического параметра. Показания технологического датчика (обратная связь по технологическому параметру) могут поступать как в АСУ с последующей передачей в СЧР, так и напрямую на аналоговый вход системы управления электропривода.

Преобразователи частоты серии ЭСН разработаны с учетом специфики эксплуатации в нашей стране. Преобразователи являются идеальным решением для управления скоростью вращения асинхронных и синхронных электродвигателей на напряжения до 10 кВ и мощностью до 5МВт. Регулирование скорости позволяет экономить электроэнергию, улучшать технологические процессы, а высокий КПД преобразователя во всем диапазоне скоростей и отсутствие отрицательного влияния гармоник на сеть и двигатель позволяют успешно решить эту задачу.

Преимущества преобразователей серии ЭСН и электроприводов на их основе:

- Практически чистая синусоида напряжения на выходе преобразователя позволяет:
  - не использовать выходной фильтр;
  - не иметь ограничений по длине кабеля (до 25 км);
  - полностью использовать электродвигатель на 100% его мощности;
  - работать с серийными асинхронными и синхронными двигателями любого исполнения.
- Коэффициент мощности, близкий к единице, позволяет не использовать устройства компенсации реактивной мощности и снижает потери в питающей линии электропередачи.
- Высокий КПД (не менее 97%).
- Входной согласующий трансформатор с медными обмотками в комплекте поставки обеспечивает гальваническую развязку с питающей сетью.
- Встроенная функция синхронного байпаса обеспечит каскадный пуск электродвигателей для многодвигательных приложений.

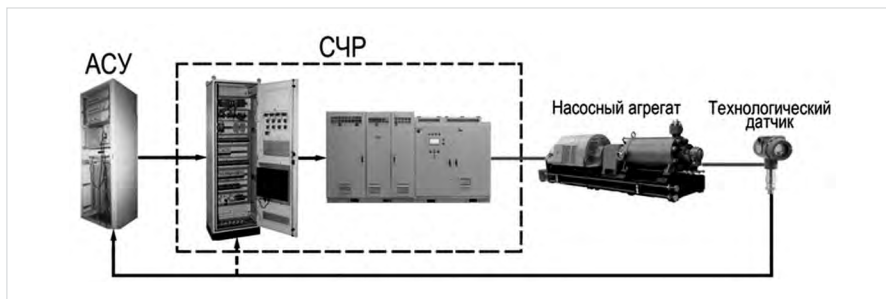


Рис. 2 — Схема частотного регулирования скорости вращения насосного агрегата с поддержанием технологического параметра по заданию АСУ ТП объекта

- Функция подхвата вращающегося электродвигателя при кратковременных провалах напряжения.
- Применение динамического торможения для останова электропривода с большим моментом инерции (опционально).
- Микропроцессорная система контроля и управления обеспечивает надежную и безопасную работу преобразователя и электропривода, осуществляя мониторинг режима сети, питающий преобразователь, режима работы преобразователя и электропривода с записью состояний в электронный журнал. Кроме того, такая система обеспечивает конфигурирование, диагностику и управление от сенсорной панели или АРМ оператора.
- Наличие функций автоматической настройки и диагностики электропривода сокращает время запуска и обеспечивает надежную эксплуатацию.
- Широкий набор защит обеспечивает максимальную защиту и увеличивает ресурс работы приводного электродвигателя.
- Повышенную надежность работы обеспечивают биполярные транзисторы с изолированным затвором — IGBT и установленные в звене постоянного тока плёночные конденсаторы, рассчитанные на большой срок службы.

Опыт внедрения и эксплуатации преобразователей частоты ЭСН в составе АСУ ТП и проведенные испытания полностью подтвердили правильность выбора и реализации эффективных технических решений. Особенно многоуровневую топологию построения высоковольтного инвертора позволяющую получить хорошую совместимость преобразователя с питающей его сетью с одной стороны и с электродвигателем с другой стороны. Так, например, для электропривода мощностью 2,5 МВт с напряжением 10кВ и

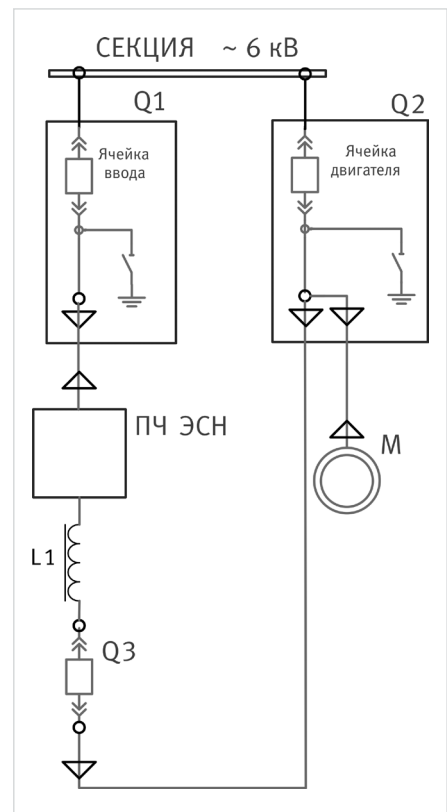


Рис. 3 — Схема шунтирования преобразователя частоты

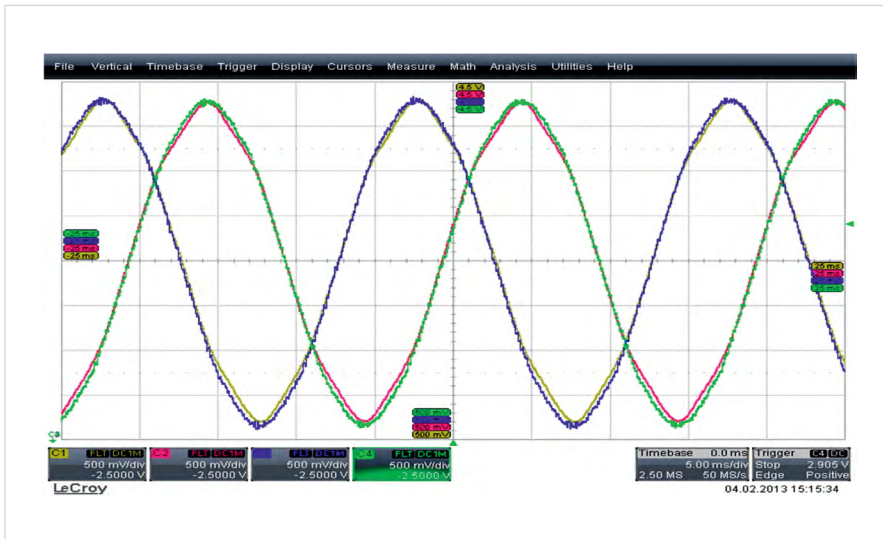


Рис. 4 — Синхронизация выходного напряжения преобразователя частоты с напряжением питающей электропривод сети. Напряжение сети — каналы осциллографа C1 и C2; напряжение на выходе преобразователя частоты — каналы C3 и C4

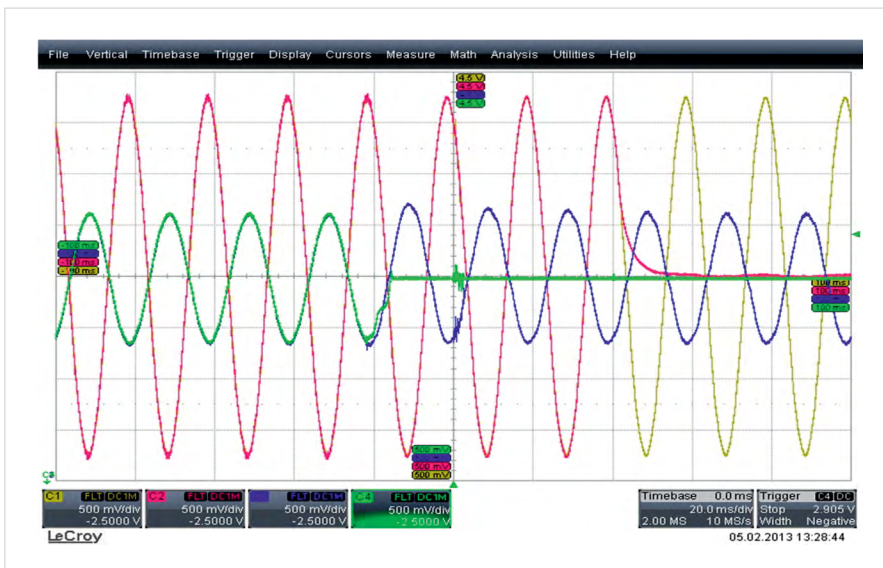


Рис. 5. Переход на питание электродвигателя от сети. Напряжение сети канал C1 осциллографа; напряжение преобразователя — канал C2; ток двигателя — канал C3; ток преобразователя — канал C4

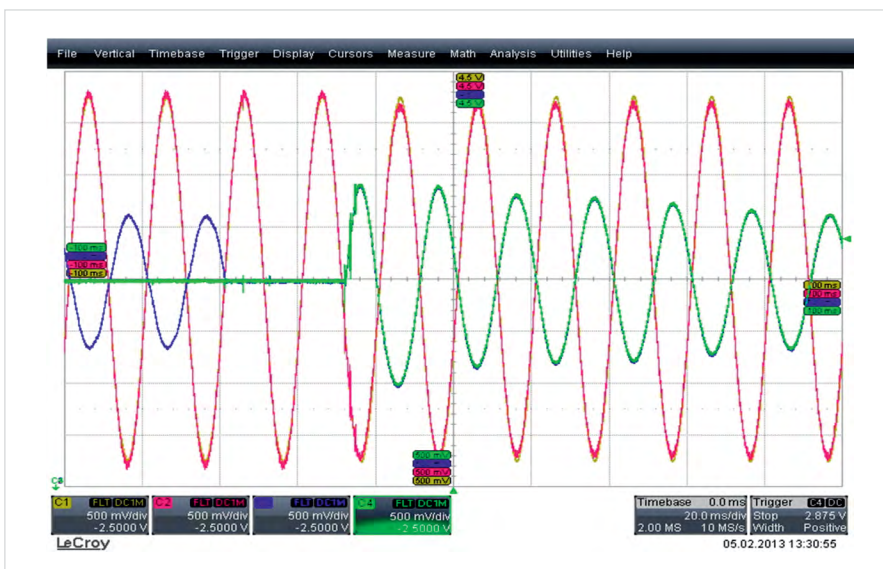


Рис. 6 — Переход на питание электродвигателя от преобразователя частоты (подхват). Напряжение сети канал C1 осциллографа; напряжение преобразователя — канал C2; ток двигателя — канал C3; ток преобразователя — канал C4

номинальной нагрузке уровень содержания высших гармоник в кривых напряжения на входе преобразователя составил 0,9% и входного тока — 3,5% при КПД преобразователя 97,2%.

Если по технологическим условиям работы насосного агрегата не требуется стабилизация давления в трубопроводе либо производительности агрегата, то по условиям энергосбережения частотно регулируемый электропривод ЭСН необходимо использовать в том режиме работы насосного агрегата, когда потери при использовании дроссельного регулирования не превышают потери в преобразователе. В том случае, когда потери при использовании дросселирования магистрали меньше потерь в преобразователе необходимо использовать переход на питание электродвигателя от сети. Аналогичная задача возникает при управлении несколькими насосными агрегатами от одного преобразователя частоты, когда с помощью одного преобразователя осуществляется каскадный пуск насосных агрегатов. Кроме того при таком управлении один из насосных агрегатов может оставаться в режиме регулирования технологического параметра.

Для решения такой задачи схема электропривода рис. 3 содержит высоковольтную ячейку Q2, предназначенную для прямого подключения электродвигателя (М) к питающей электропривод сети и выключатель Q3 отключающий выход преобразователя частоты (ПЧ ЭСН) от электродвигателя после перехода электродвигателя к питанию от сети. Кроме того, такая схема используется для перехода в режим регулирования насосного агрегата из режима питания электродвигателя от сети.

При переходе к питанию электродвигателя от сети, для исключения броска тока, перед включением шунтирующего выключателя (ячейка Q2) необходимо синхронизировать по фазе выходное напряжение преобразователя с напряжением питающей сети и выровнять их по амплитуде.

Процесс синхронизации завершается при совпадении по фазе выходного напряжения преобразователя с напряжением питающей сети (рис. 4).

При переходе к питанию электродвигателя от сети после синхронизации и выравнивания напряжений преобразователя и сети производится включение выключателя Q2 (рис. 3). При этом для исключения обратного броска тока между преобразователем и сетью на выходе преобразователя установлен реактор L1. Кроме того напряжение на выходе преобразователя для компенсации падения напряжения в реакторе устанавливается несколько больше напряжения питающей сети. После чего с небольшой выдержкой времени отключается Q3 и Q1. Процесс перехода к питанию электродвигателя от сети иллюстрирует осциллограмма, приведенная на рис. 5.

Для обратного перехода к питанию электродвигателя от преобразователя (функция подхват) после выравнивания фазы и величины напряжений выключается Q2 и включается Q3. Осциллограмма рис. 6 иллюстрирует данный процесс.

В случае кратковременного провала напряжения питающей сети более 15% электропривод с преобразователем ЭСН путем использования функции «подхват» позволяет

осуществить автоматический подхват вращающегося электродвигателя с последующим выходом на заданный режим работы, имевший место до провала напряжения. Применение такой функции позволяет существенно улучшить бесперебойную работу технологического оборудования, например, при питании частотно регулируемого электропривода от сети ограниченной мощности или при сложных метеоусловиях, когда в линиях электропередачи возникают кратковременные перемежающиеся короткие замыкания.

*Все перечисленные изделия*

*сертифицированы и успешно эксплуатируются на предприятиях нефтегазового комплекса России и ближнего зарубежья и в системе АК «Транснефть».*

#### Итоги

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

#### Выводы

Применение частотно-регулируемого электропривода насосного агрегата для автоматизации технологического процесса не только обеспечивает экономию электроэнергии, но и позволяет перейти на новые технологии ресурсосбережения.

#### Список используемой литературы

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

ENGLISH

ELECTRICAL ENGINEERING

## Advanced technology to conserve resources and energy efficiency for complex automation of electric industrial machinery oil and gas industry

UDC 621.3

#### Authors:

Sergey A. Lazarev – candidate tehn. sciences, head of department<sup>1</sup>; lazarev-s@ekra.ru

<sup>1</sup>SAUEP Chuvash State University, Cheboksary, Russian Federation

<sup>2</sup>front electric NPP "Ekra", Cheboksary, Russian Federation

#### Abstract

Aspects of frequency controlled drive use in automation of the energy saving technical process are reviewed. Oscillograms of automatic switch of the motor power supply from the inverter to the main supply and vice versa are shown.

#### Materials and methods

Implementation experience. Processing of the

experimental studies results.

#### Results

Variable frequency drives with asynchronous and synchronous motors have been introduced in the automated control systems of JSC "Transneft" technological equipment

#### Conclusions

The use of a frequency-controlled

electric pump unit for process automation not only saves energy, but also allows to shift to new resource saving technologies.

#### Keywords

transportation of oil, electric drive, frequency inverter, automated process control system, electromagnetic compatibility

#### References

1. GOST 13109-97. Electrical energy.

Compatibility of technical equipment. Quality standards of electrical energy in power

systems for general use.