

И.И. Черненко, начальник отдела по работе с механизированным фондом;
Г.Н. Булчаев, главный специалист отдела по работе с механизированным фондом,
 e-mail: gnbulchaev@vankoroil.ru; **Н.Н. Кислов**, ведущий инженер отдела по работе с механизированным фондом; **Д.В. Забабурин**, начальник отдела электроэнергетики, ЗАО «Ванкорнефть»;
А.И. Солодкий, инженер по применению, «Бейкер Хьюз»

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С 24-ПУЛЬСНЫМ КОНВЕРТЕРОМ НА ВАНКОРСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

APPLICATION OF THE FREQUENCY CONVERTER SYSTEMS WITH 24-PULSE CONVERTER ON THE VANKORSKY FIELD

I.I. Chernenko, G.N. Bulchaev, N.N. Kislov, D.V. Zababurin, CJSC «Vankorneft»; A.I. Solodky, «Baker Hughes»

In the frameworks of this articles – «Application of the frequency converter systems with 24-pulse converter on the Vankorsky field» – the advantages of frequency converters systems using with 24-pulse converter before systems of frequency converters with a small number of pulses (6, 12) have been considered.

The estimation of various basic schemes and designs of frequency converters are introduced for the purpose of most significant effect revelation. In article both basic advantages and disadvantages of frequency converters systems application are considered during well exploitation with electrical submersible pumps. The description of 24-pulse frequency converter and the mechanism of negative factors influence decrease are adjusted.

Keywords: Variable Speed Drive (VSD), Electrical Submersible Pump (ESP), Scheme, Directional current (DC), frequency.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С 24-ПУЛЬСНЫМ КОНВЕРТЕРОМ НА ВАНКОРСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Частотно-регулируемый привод (ЧРП) (или иначе – привод с преобразователем частоты) позволяет изменять рабочие параметры ЭЦН, изменяя скорость вращения ротора электродвигателя. В частности, управляя скоростью работы электродвигателей, можно улучшать управление ЭЦН при работе с газом, контролировать депрессию в скважинах, перенастраивать систему при изменении условий работы, облегчать пуск, максимально использовать возможности внутрискважинного мониторинга, понижать температуру ПЭД. Приводы ЧРП используются также для управления скоростью вращения на-

соса и защиты насосной системы. Если возникает вероятность повреждения ЭЦН, приводы отключают систему. Если рабочие параметры выходят за пределы заданных значений, но при этом остаются в границах критического диапазона, ЧРП медленно производит пошаговые изменения и восстанавливает заданные значения параметров. Кроме того, ЧРП позволяет увеличить до 200% начальный крутящий момент, необходимый для облегчения пуска.

АНАЛИЗ

Погружные насосы весьма негибки при работе с фиксированной скоростью, когда их подача и напор ограничены определенными границами. Привод ЧРП смягчает эти ограничения: допуская изменение скорости насоса, можно регу-

лировать подачу и напор (в зависимости от конкретных условий применения) без модификации скважинного оборудования.

В состав системы частотного преобразователя входят:

- система управления GCS ElectrospeedCITibus (GCS – Graphic Control System – графическая система управления), включающая системную плату с шиной управления, плату питания, графический дисплей, модуль расширения;
- конвертор (преобразователь);
- звено постоянного тока;
- инвертор.

Условная схема подключения элементов ЧРП к сети представлена на рисунке 2.



Рис. 1. Привод с преобразователем частоты

Контроллер электродвигателя GCS обеспечивает защиту, мониторинг и управление ЭЦН. Использование современной цифровой электроники и технологии графического отображения информации выстраивает интуитивно понятный, дружелюбный интерфейс, обеспечивающий легкость понимания при монтаже, работе и диагностике оборудования. В сочетании с имеющимися датчиками контроллер GCS можно настроить на выполнение целого ряда программируемых приложений по управлению электродвигателями. GCS создает дополнительную гибкость при расширении системы и при учете особых требований эксплуатации. Для всех модулей семейства GCS используется одинаковый дисплей, что обеспечивает привычный интерфейс при работе с различными средствами управления и измерения.

Привод СЧП предусматривает возможность выбора между стандартными 6- или 12-пульсными преобразователями, топология которых отвечает требованиям стандарта IEEE-519-1992, что позволяет подавлять высшие гармоники тока на входе. 24-пульсный частотный преобразователь допускает также выбор между широтно-импульсной модуляцией с фильтрацией (ФШИМ – FPWM™) или 6-ступенчатой модуляцией выходного сигнала. Благодаря ФШИМ частотный преобразователь защищает электродвигатель, переключаясь на 6-ступенчатую модуляцию или выключая ЭЦН в случае выхода из строя фильтра. Привод ЧРП можно программировать на переменный крутящий момент, на постоянный

крутящий момент и на постоянное напряжение с расширенным диапазоном скоростей.

Преобразователем называют устройство, отвечающее за преобразование электроэнергии. Например, преобразователь может изменять напряжение или силу тока, преобразовывать постоянный ток в переменный и наоборот или изменять частоту переменного тока. В ЧРП осуществляется преобразование постоянного тока в переменный с изменением напряжения и частоты. Например, входное напряжение 480 В с постоянной частотой 60 Гц может преобразовываться в регулируемое выходное напряжение 0-500 В с регулируемой частотой от 3 до 120 Гц.

Как правило, в состав ЧРП входят два преобразователя, а именно: входной выпрямитель и выходной инвертор. При этом преобразователем во многих случаях называют входной выпрямитель ЧРП. Выпрямитель соединен с инвертором через звено постоянного тока, входное напряжение поступает на выпрямитель ЧРП. Выпрямитель осуществляет преобразование переменного тока в постоянный. Постоянный ток на выходе выпрямителя является пульсирующим. Пульсация постоянного тока выпрямителя сглаживается схемой звена постоянного тока.

Звено постоянного тока ЧРП состоит из неуправляемых пассивных элементов, в число которых обычно входят элементы индуктивности, конденсаторы и сопротивления. В совокупности они образуют фильтр низких частот, обеспечивающий сглаживание пульсаций постоянного тока, поступающего с выхода выпрямителя. В зависимости от выбранной схемы ЧРП звено постоянного тока выполняет функции источника сглаженного постоянного тока или напряжения, питающего инвертор.

На практике схема звена постоянного тока ЧРП средней мощности содержит несколько элементов индуктивности, конденсаторов и (или) резисторов, обеспечивающих подачу на инвертор требуемого тока и напряжения. В некоторых случаях в состав звена постоянного тока входят только катушки индуктивности или только конденсаторы и резисторы, а в некоторых – и катушки индуктивности, и конденсаторы, и резисторы. Характеристики элементов звена постоянного тока и его принципиальная схема (наличие элементов индуктивности, емкости и сопротивления) влияют на величину искажений в питающей электросети и рабочие характеристики привода в целом.

Выходной инвертор является выходным блоком ЧРП. Инвертор преобразовывает постоянный ток, подаваемый с выхода звена постоянного тока в переменный ток с регулируемой частотой, питающий асинхронный двигатель. В принципе инверторы подразделяются на инверторы с постоянной и регулируемой частотой выходного напряжения. Некоторые инверторы позволяют регулировать как напряжение и ток, так и частоту, а некоторые – только частоту выходного напряжения. Инвертор может работать в режиме источника тока или источника напряжения. В режиме источника напряжения инвертор регулирует форму и амплитуду выходного напряжения, а форма переменного тока определяется характеристиками подключенной нагрузки. В режиме источника тока инвертор, наоборот, регулирует ток, а форма выходного напряжения определяется подключенной нагрузкой. Для питания обычно используются инверторы напряжения, в состав звена постоянного тока которых входит блок конденсаторов, являющийся источником напряжения для инвертора.

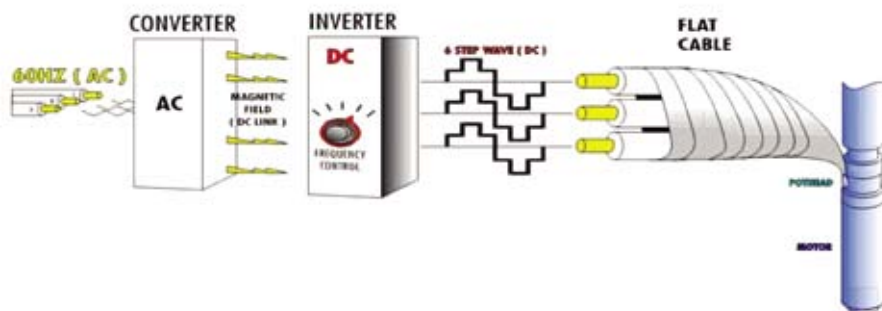


Рис. 2. Условная схема подключения элементов ЧР

Основное назначение ЧРП состоит в преобразовании трехфазного переменного тока с типовым напряжением на входе 480 В или 380 В в переменный трехфазный ток и напряжение требуемой частоты на выходе. Используя силовые полупроводники как твердотельные ключи, ЧРП сначала выпрямляет входное переменное напряжение и ток, а затем его инвертирует и восстанавливает на выходе трехфазный псевдосинусоидальный ток. При этом частота и напряжение тока на выходе могут регулироваться.

В дополнение к главному назначению частотного привода – обеспечить гибкость в работе насоса – его применение создает и другие преимущества для работы системы ЭЦН. В частности, частотный привод способствует увеличению срока службы скважинного оборудования, обеспечивает возможность мягкого пуска, помогает контролировать депрессию в скважинах, автоматически управляет скоростью насоса, обеспечивает подавление неустойчивых процессов в линии, устраняет необходимость в наземных дросселях, а также помогает предотвращать отказы электрооборудования. Все это возможно благодаря отсоединению нагрузки от привходящих переходных процессов (включений, выключений, грозовых разрядов), балансировке выходного напряжения с целью уменьшения нагрева двигателя, устранению влияния нестабильности частоты при питании от генератора, защите от провалов напряжения, минимизации пусковых нагрузок. Кроме этого, благодаря приводу с частотным преобразователем можно увеличить к.п.д. всей системы, устранить необходимость в дросселях, использовать генератор и глубинное оборудование меньших размеров, обеспечить функции интеллектуального управления в целях увеличения добычи.

Исходя из конкретных условий применения, подбирается оптимальное сочетание особенностей и преимуществ того или иного привода.

Обычно основной причиной применения систем частотно-регулируемого привода УЭЦН является возможность гибкого управления режимами добычи, но есть и еще несколько преимуществ.

С помощью СЧП создаются следующие возможности для УЭЦН:

- становится возможным увеличение числа оборотов для противодействия износу и поддержания максимальной добычи при увеличении срока службы УЭЦН;
- улучшается качество электроэнергии для электродвигателя благодаря изоляции скважинного оборудования от вредных флуктуаций мощности и балансировке всех трех фаз выходного напряжения;
- обеспечивается мягкий пуск системы, который уменьшает стартовое напряжение путем регулирования уровней тока при пуске;
- обеспечивается регулирование скорости электродвигателя в соответствии с изменением условий в скважине для поддержания максимальной добычи;
- увеличиваются возможности дистанционного управления благодаря интерфейсу со скважинными датчиками и системами передачи данных;
- благодаря регулированию скорости электродвигателя поддерживаются предельные рабочие уровни при высоком значении газового фактора, высокой вязкости или наличии песка.

Однако широкое применение таких приводов стало приводить к серьезному повышению уровня общих гармонических искажений в сетях электропитания, что могло вызвать сбои в работе электрических устройств, получающих питание от этих сетей. Снижение уровня гармонических искажений в сетях электропитания при работе систем СЧП достигается двумя принципиально отличающимися методами, а именно – применением на входе привода СЧП многопульсной системы конвертера для выпрямления питающего напряжения или установкой фильтров сетевых гармоник (активные фильтры, универсальные фильтры).

Традиционные технические средства и решения компенсации высших гармоник тока и напряжения имеют ряд существенных недостатков, делающих их применение в сетях нефтепромыслов нецелесообразным, а иногда и недопустимым. Пассивные фильтрокомпенсирующие устройства способны компенсировать одну или несколько высших гармоник, порядок которых определяется частотой настройки резонансных цепей. Установка сглаживающих реакторов, как и установка фильтрующих конденсаторов, может обусловить возникновение

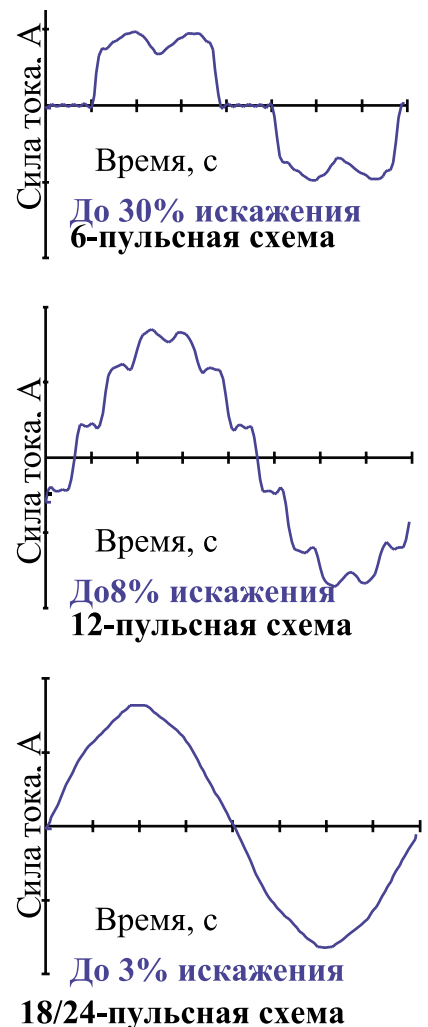


Рис.3. Пример снижения искажений с увеличением пульсности схемы

резонансных явлений на различных гармонических частотах. Ограничение мощности нелинейной нагрузки до уровня 15–20% от номинальной мощности трансформатора нашло применение на нефтепромыслах, но его реализация не всегда технически осуществима и экономически целесообразна.

ВЫВОДЫ

При эксплуатации систем частотного преобразователя компания ЗАО «Ванкорнефть» отдает предпочтение системе 24-пульсного конвертера как наиболее технически и экономически эффективному и надежному инструменту, позволяющему решать самые сложные задачи по оптимизации работы скважин. Преимуществом 6-ступенчатого типа выходного сигнала, используемого в СЧП с 24-пульсным конвертером, является отсутствие надобности в применении фильтров, которые абсолютно необходимы в случае использования

выходного сигнала типа ШИМ (PWM). Всплески, свойственные сигналу ШИМ, могут в несколько раз превосходить номинальные значения параметров электропитания, создавать резонансные явления и приводить к прогару питающего кабеля или статора ПЭД, что подтверждается примерами из практики. Использование фильтрующих устройств (FPWM) в системах СЧП, способных выдавать выходной сигнал типа ШИМ, является обязательным. На практике же нередко случается, когда фильтры, используемые для выходного сигнала типа ШИМ, выходят из строя, при этом СЧП используется далее без фильтра, что является абсолютно недопустимым.

Уровень гармоник, выдаваемых СЧП в сторону питающей сети, не зависит от типа формирования выходного сигнала привода в сторону ПЭД и определяется типом входного конвертора, который одинаков у всех производителей. В стандартной комплектации почти все производители и поставщики СЧП для систем УЭЦН предлагают 6-пульсный конвертор (не путать с 6-ступенчатой модуляцией выходного сигнала в сторону ПЭД).

На практике на различных месторождениях зачастую применяется 12-пульсная мостовая схема, состоящая из двух 6-пульсных конвертеров с фазовым сдвигом питающего напряжения на 30°. Как правило, 12-пульсный конвертер снижает уровень общих гармонических искажений примерно до величины в 8%, в то время как наиболее часто используемая 6-пульсная схема – лишь до 30%. Дальнейшее увеличение числа пульсов позволяет еще больше снизить искажения в питающей цепи. Например, 18-пульсный преобразователь довольно легко обеспечивает общие гармонические искажения не более 3%. На рисунке 3 приведена эффективность снижения гармонических искажений в зависимости от пульсности схемы. Схемы с 24-пульсным преобразованием или большей пульсностью оправдывают себя с экономической точки зрения при больших мощностях привода и нагрузки.

Оборудование механизированной добычи, применяемое на Ванкорском месторождении, характеризуется высокими мощностями привода и повышенными нагрузками. Именно в таких условиях схемы с 24 или даже большим количеством пульсов конвертера наиболее эффективны с экономической точки зрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЧРП является сложным электронным устройством. При условии правильного подбора и наладки ЧРП отличается рядом преимуществ по сравнению с приводами фиксированной частоты. При принятии решений об использовании ЧРП следует оценивать возможный положительный эффект с учетом показателей стоимости и сложности оборудования исходя из того, что оптимальный для заданных условий эксплуатации ЧРП должен отличаться как простотой, так и экономичностью. При оценке различных принципиальных схем и конструкций привода следует убедиться, что выбранное решение позволяет в максимальной степени реализовать преимущества ЧРП при минимальных негативных последствиях.

Ключевые слова: частотный преобразователь, погружной насос, схема, постоянный ток, частота.



EXPOKABEL



РЕКА
КАБЕЛЬ

**Высокотехнологичный кабель
для нужд энергетики,
атомной,
нефтегазовой
и химической
промышленности.**

ОАО "ЭКСПОКАБЕЛЬ":
(495) 505-66-92, sbt@expocable.ru www.expocable.ru
ЗАО "РЕКА КАБЕЛЬ":
(495) 543-72-45, info@rekakabel.ru www.rekakabel.ru