

В настоящее время повсеместно происходит внедрение частотно-регулируемого электропривода, который позволяет гибко управлять параметрами работы технологического оборудования, проводить комплексную автоматизацию промышленных объектов, экономить электроэнергию и исключать негативные последствия переходных процессов в электрических и технологических сетях.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ НА ОБЪЕКТАХ ОАО «СУРГУТНЕФТЕГАЗ»

Е.М. КОСТОЛОМОВ | ОАО «НТЦ «Энергосбережение» | г. Тюмень
С.В. ШИБАНОВ | ООО НТЦ «Приводная техника» | г. Челябинск

Многими отечественными и зарубежными организациями уже накоплен значительный опыт по проектированию и внедрению частотно-регулируемых электроприводов на промышленных объектах, в том числе в нефтяном хозяйстве. При этом на этапе проектирования и наладки значительное внимание уделяется совместимости электрооборудования.

Несмотря на требования использования определенных схемных решений, а также асинхронных электродвигателей, кабелей, трансформаторов и другого оборудования, специально сконструированного для применения в частотно-регулируемом электроприводе, до сих пор проектными организациями

закладывается и на объектах применяется стандартное энергетическое оборудование. При этом отмечаются факты, когда электрооборудование, исправно служившее годы, при установке преобразователей частоты (ПЧ) выходит из строя за считанные месяцы.

18 декабря 2008 года по инициативе Управления энергетики ОАО «Сургутнефтегаз» в конференц-зале института «СургутНИПИнефть» прошла научно-техническая конференция «Пути повышения энергоэффективности в нефтедобыче». В рамках конференции было уделено значительное внимание частотно-регулируемому электроприводе и проблемам, возникающим при его использовании.

Результатом работы конференции стал итоговый документ, утвержденный главным инженером, первым заместителем генерального директора ОАО «Сургутнефтегаз» Булановым А.Н.

В числе решений, принятых в итоговом документе, отметим следующие:

- провести энергообследование правильности применения существующих частотных преобразователей для питания электродвигателей насосных агрегатов на объектах нефтедобычи ОАО «Сургутнефтегаз»;

- по результатам обследования в целях сокращения числа аварий и непредвиденных остановок технологического оборудования разработать по каждому объекту мероприятия по устранению выявленных нарушений, приводящих к выходу из строя электродвигателей, преобразователей частоты и кабелей, что значительно снизит потери финансовых ресурсов, затрачиваемых на ремонты, и повысит энергоэффективность в нефтедобыче.

В качестве объектов для обследования были выбраны частотно-регулируемые электроприводы насосных агрегатов перекачки нефти на месторождениях, на которых в 2008 году произошел ряд аварий и отказов в работе электрооборудования насосных агрегатов по перекачке нефти по следующим причинам:

- разрушение подшипников, включая механические повреждения сепаратора подшипников;
- чрезмерный нагрев силового кабеля, подводящего питание к электродвигателю;
- термическое повреждение изоляции силового кабеля и выводов обмоток ▶

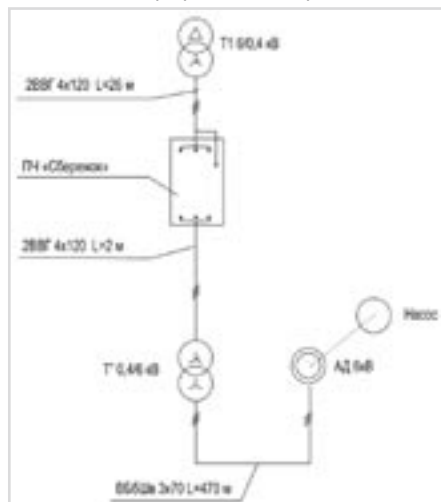


Рис. 1 Однолинейная двухтрансформаторная схема подключения электропривода насосного агрегата

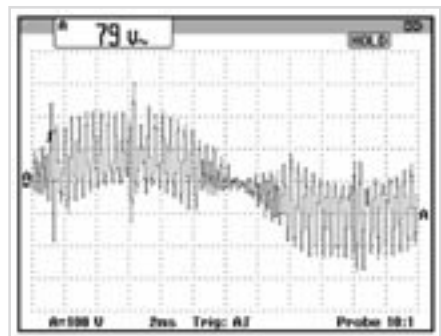


Рис. 2 Осциллограмма напряжения на выходе повышающего трансформатора при несущей частоте ШИМ 2,2 кГц

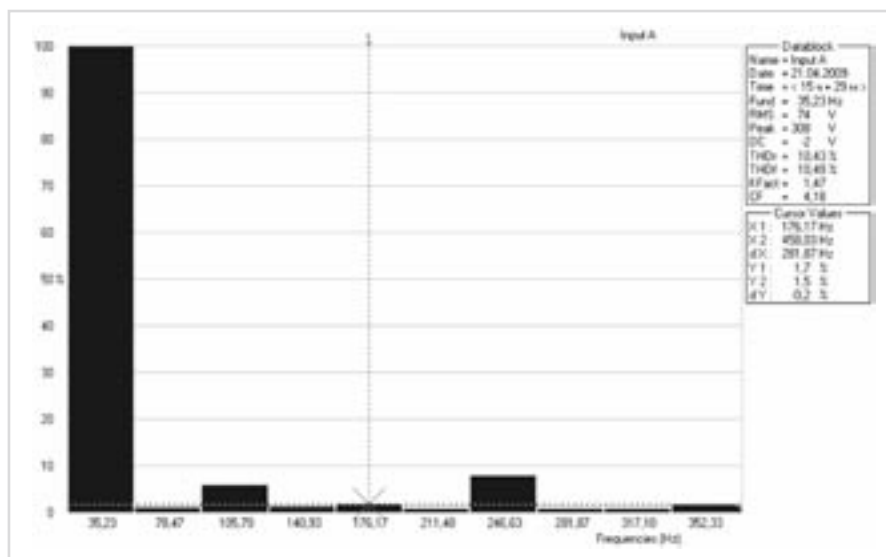


Рис. 3 Спектральный состав напряжения на выходе повышающего трансформатора при несущей частоте ШИМ 2,2 кГц

- электродвигателя в коробке выводов высоковольтного электродвигателя;
- межфазные короткие замыкания в кабельной линии 6кВ от повышающего трансформатора до электродвигателя в кабельной муфте 6кВ после повышающего трансформатора;
- межвитковые короткие замыкания обмотки статора электродвигателя 6 кВ;
- чрезмерный шум, издаваемый электродвигателем, повышающим трансформатором и кабельной линией 6 кВ;
- разрушение металла ротора электродвигателя 6 кВ.

Для выяснения обстоятельств случившегося нами в первую очередь была изучена проектная документация на объекты обследования. Электропривод насосных агрегатов во всех случаях выполнен на основе ПЧ «Сбережок», формирующих напряжение на выходе методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Однолинейная схема подключения электропривода одного из объектов обследования приведена на рис. 1 и в целом является типовой для всех объектов обследования, где применено схемное решение «низковольтный преобразователь частоты – повышающий трансформатор – асинхронный электродвигатель».

Длина силового кабеля от повышающего трансформатора до электродвигателя для различных насосных агрегатов составляет от 80 до 470 метров. В качестве двигателей используются стандартные взрывозащищенные асинхронные электродвигатели мощностью 250 кВт ВАД-450-SB2, ВАД-450-SB4 с синхронной частотой вращения 3000 об/мин и ВАО4-450-M2 – 1500 об/мин.

Анализ примененного в электроприводе схемного решения и обработка результатов замеров, полученных при обследовании, позволили сделать вывод, что основной причиной отказов и аварий в электродвигателе и кабельной линии 6кВ является негативное воздействие высокочастотной составляющей ШИМ в выходном напряжении преобразователя частоты, многократно усилившееся в результате применения повышающего трансформатора Т2 (на рис. 1).

В первую очередь было отмечено, что использование стандартного, асинхронного электродвигателя в двухтрансформаторной схеме не сопровождалось установкой синусного фильтра после преобразователя частоты. Установка данного типа фильтров в двухтрансформаторной схеме является обязательным условием у большинства зарубежных и российских производителей, в

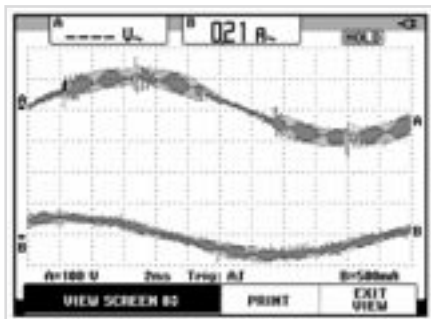


Рис. 4 Оциллограмма напряжения на выходе повышающего трансформатора при несущей частоте ШИМ 6,0 кГц

частности концерна АВВ, группы компаний Vacon, ООО НТЦ «Приводная техника».

На рис. 2 приведена осциллограмма напряжения на выходе повышающего трансформатора, на которой явно видно наличие высокочастотной составляющей ШИМ. Замер проведен при рабочей частоте 35 Гц и несущей частоте 2,2 кГц (текущие настройки электропривода объекта обследования). Величина пульсаций напряжения превышает 5%, являющихся максимальным значением остаточных пульсаций при использовании большинства синусных фильтров.

На рис. 3 приведен спектральный состав напряжения на выходе повышающего трансформатора. Спектральный состав выходного напряжения преобразователя частоты, таким образом, также нельзя считать удовлетворительным: коэффициент THD превышает 10%.

Повышение несущей частоты широтно-импульсной модуляции с 2,2 до 6 кГц производилось до обследования обслуживающим персоналом и к положительному эффекту не привело, несмотря на то что количественное содержание высокочастотной составляющей ШИМ в напряжении снизилось, а спектральный состав улучшился, как следует из рисунков 4 и 5. Связано это с тем, что основное деструктивное воздействие с ростом несущей частоты ШИМ усиливалось, возрастали потери в повышающем трансформаторе.

Причины аварий и отказов электрооборудования объектов обследования, исходя из сделанных выводов о влиянии высокочастотной составляющей ШИМ, таковы:

- Разрушение подшипников. На фото (рис. 6, 7) отчетливо виден характер повреждений.

Повреждения вызваны наличием паразитных емкостей между отдельными элементами асинхронных двигателей и протеканием через них высокочастотных токов

под влиянием составляющей несущей частоты ШИМ по замкнутому контуру, образованному подшипниками, валом и статором. Это приводит к ускоренному износу шариков и дорожек качения, т. е. к снижению надежности подшипников и преждевременному их выходу из строя [3].

- Чрезмерный нагрев силового кабеля, подводящего питание к электродвигателю.

Разогрев кабельной линии 6 кВ происходит из-за разогрева брони кабеля под действием несимметричных высокочастотных составляющих выходного тока. Чем больше частота тока, тем выше активное сопротивление стальной ленты брони из-за вытеснения токов высокой частоты на поверхность ленты.

- Термическое повреждение изоляции силового кабеля и выводов обмоток электродвигателя в коробке выводов (см. фото рис. 8).

В коробке выводов электродвигателя также из-за вытеснения высокочастотных емкостных токов на поверхность проводников происходит разогрев деталей контактного соединения проводников. По причине повышенных температур происходит ускоренное старение изоляции проводников кабеля и обмоток двигателя. Также фактором, повышающим вероятность повреждения, являются волновые перенапряжения в силовом кабеле после повышающего трансформатора.

- Межфазные короткие замыкания в кабельной линии 6кВ от повышающего трансформатора до электродвигателя; в кабельной муфте 6кВ после повышающего трансформатора; межвитковые короткие замыкания обмотки статора.

Данные аварии связаны с волновыми перенапряжениями в силовом кабеле после повышающего трансформатора (известными также как «проблема длинного кабеля»), усугубленными термическим, ►

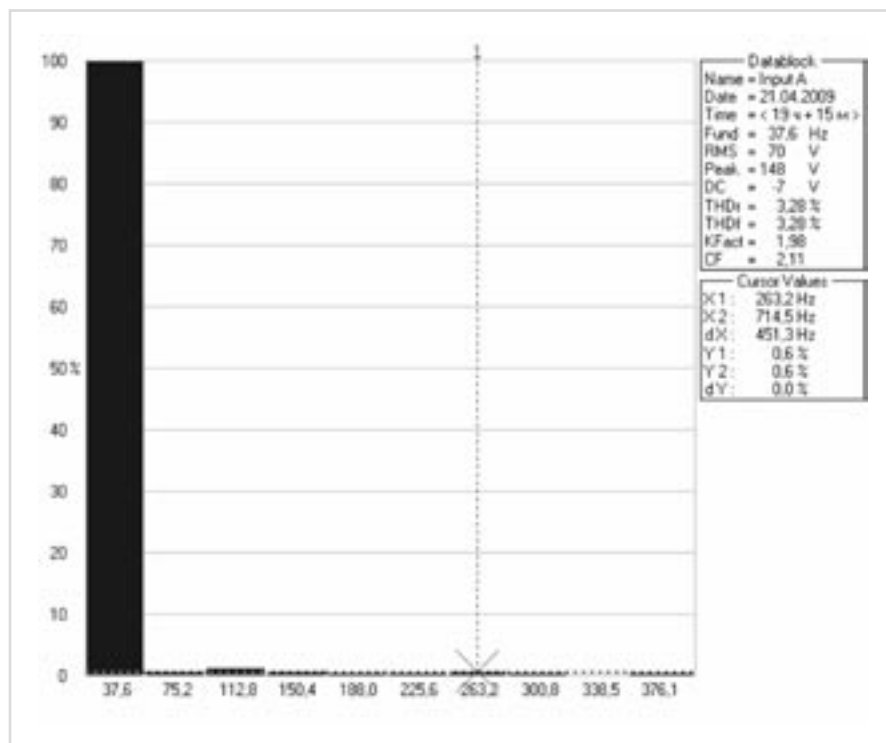


Рис. 5 Спектральный состав напряжения на выходе повышающего трансформатора при несущей частоте ШИМ 6,0 кГц

электростатическим и химическим повреждением изоляции с образованием каналов проводимости в длительном времени под воздействием паразитных емкостных токов высокой частоты.

- Чрезмерный шум, издаваемый электродвигателем, повышающим трансформатором и кабельной линией 6 кВ, а также разрушение материала ротора также происходят под воздействием высокочастотной составляющей ШИМ. Связано это с тем, что магнитопроводы и проводящие части перечисленного электрооборудования не рассчитаны на наличие в напряжении и токе высокочастотных составляющих ШИМ.

По результатам обследования частотно-регулируемого электропривода насосных агрегатов в целях недопущения аварий электрооборудования рекомендовано следующее:

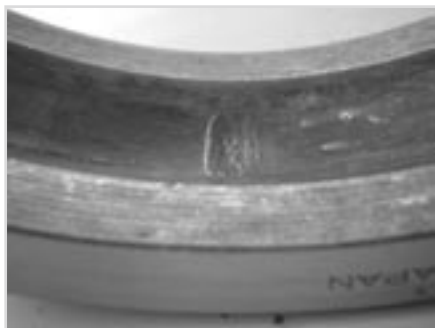


Рис. 6 Повреждения внешнего кольца подшипников



Рис. 7 Разрушение сепаратора подшипников



Рис. 8 Термическое повреждение изоляции силового кабеля и выводов обмоток электродвигателя в коробке выводов

- на выходе преобразователя частоты установить синусный фильтр, предназначенный для исключения высокочастотной составляющей ШИМ из выходного тока и напряжения ПЧ; для подключения синусного фильтра использовать специальный кабель с концентрическим проводником, снижающий уровень помех до допустимого в промышленной среде по стандартам EN 50081-2, EN 61800-3.
- Выполнить замену подшипников на электродвигателях с полевой стороны на изолированные.
- Выполнить уравнивание потенциалов электрооборудования по нормам электромагнитной совместимости.
- Использовать для разделки высоковольтного силового кабеля специальные муфты с трекинговой изоляцией потенциальным барьером по изоляции.
- При вводе электропривода в работу проводить пусконаладочные работы по утверждённым программам с предоставлением отчетов.
- Определять конфигурацию частотно-регулируемого электропривода проектом и необходимыми расчетами.

Для реализации последнего пункта рекомендаций ОАО «НТЦ «Энергосбережение» по заказу ОАО «Сургутнефтегаз» приступило к разработке «Методических указаний по проектированию электропривода насосных агрегатов мощностью до 1500 МВт».

В настоящее время уже разработаны рекомендации по выбору и применению выходных дросселей и фильтров преобразователей частоты с учетом рекомендаций и опыта зарубежных и отечественных компаний: концерна ABB, Control Techniques Drives Ltd, ООО «Кранрос», ООО НТЦ «Приводная техника» и других.

В частности отмечена необходимость применения синусных фильтров при следующих условиях:

- двигатели имеют недостаточный уровень изоляции для работы с преобразователями частоты;
- длина кабеля превышает допустимый уровень, в том числе общая длина кабеля при использовании нескольких параллельных электродвигателей;
- используются системы с повышающими трансформаторами на выходе преобразователя частоты, например в случае управления двигателями среднего напряжения;
- используются системы с понижающими трансформаторами на выходе преобразователя частоты;
- наличие конкретных производственных требований по уровню пиковых напряжений и времени нарастания напряжения на клеммах электродвигателя;
- требуется снижение шума электродвигателя;
- есть требования к обеспечению максимальной безопасности и надежности, например при эксплуатации во взрывоопасных условиях;
- используются погружные установки с длинными кабелями электродвигателей, например в нефтедобывающей промышленности.

Нами указано на то, что для электро-

приводов, выполненных по двухтрансформаторной схеме, желательно использовать ПЧ, которые оптимизированы для работы с синусными фильтрами и с которыми синусные фильтры могут поставляться в комплекте опционально. В частности такие ПЧ способны компенсировать падение напряжения на синусном фильтре, а в некоторых сериях динамически изменять значение несущей частоты ШИМ для формирования оптимального выходного напряжения.

При выборе синусных фильтров для ПЧ рекомендуется обращать внимание на следующие требования:

- функциональные возможности фильтра при его выборе; синусные фильтры характеризуются коэффициентом высокочастотных пульсаций остаточного напряжения ШИМ (не более 5%);
- фильтр должен выдерживать напряжение и длительно допустимый ток электропривода;
- сердечник дросселя синусного фильтра не должен насыщаться вплоть до максимального выходного тока электропривода;
- сердечник дросселя синусного фильтра должен быть сделан из материала, способного перемагничиваться на частоте, превышающей оптимальную для данного электропривода значение несущей частоты ШИМ;
- комплектующие синусного фильтра не должны перегреваться при работе электропривода в номинальном режиме;
- кабель между преобразователем частоты и фильтром, а также между двигателем и повышающим трансформатором должен быть меньше максимально допустимой длины, указанной изготовителем фильтра;
- фильтр должен быть рассчитан на работу в диапазоне выходных рабочих частот частотно-регулируемого электропривода.

Следование данным рекомендациям позволит повысить надежность, экономическую эффективность и прогнозируемость работы электрооборудования насосных агрегатов, оборудованных электроприводом на основе ПЧ по схеме с повышающим трансформатором. ■

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Л. Н. Макаров, С. В. Ястреба. Особенности работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в системе частотного регулирования. // Электротехника. – 2007. – №11. – с. 15 – 18.
2. Е. Ф. Чердынцев, Ю.Д. Рольгейзер. Пути повышения энергоэффективности в нефтедобыче. // Энергетика Тюменского региона. – 2009. - №1. – с. 77 – 80.
3. Н. Ф. Ильинский, В. В. Москаленко. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 208 с.
4. Преобразователи частоты «Моментум» MVL, MVS, MVP. – Челябинск: ООО НТЦ «Приводная техника», 2009. – 38 с.