

УДК 621.31 (0.75.8); 681.3

ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ УСТАНОВКЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ НА НПС¹

Шабанов В.А. ^{*1}, Алексеев В.Ю. ^{*2}

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
*e-mail: ^{*1} ShabanovVA1@yandex.ru, ^{*2} vik120212@gmail.com*

Аннотация. В статье выполнен анализ устройств релейной защиты высоковольтных электродвигателей при установке частотно-регулируемого электропривода магистральных насосов на нефтеперекачивающих станциях. Рассмотрены схемы подключения преобразователей частоты к распределительным устройствам 6 (10) кВ. Показано, что при установке преобразователей частоты изменяются свойства и функции релейной защиты электродвигателей. Предложены схемы расположения устройств релейной защиты.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, релейная защита, электродвигатель, магистральный насос, нефтеперекачивающая станция

Частотно-регулируемые электроприводы в последние годы все шире начинают применяться на объектах трубопроводного транспорта нефти [1, 2]. Активное распространение частотно-регулируемых электроприводов обусловлено в первую очередь существенным снижением расхода электроэнергии и возможностью плавно изменять параметры технологических режимов перекачки [3, 4, 5]. Однако установка высоковольтных преобразователей частоты (ПЧ) на нефтеперекачивающих станциях (НПС) потребует пересмотра и разработки новых схем и устройств релейной защиты и автоматики в распределительных устройствах НПС. Связано это с тем, что установка ПЧ изменяет условия работы высоковольтных электродвигателей (ЭД) не только в нормальных режимах, но и при коротких замыканиях, а также при потере питания от одного из внешних источников электропитания. В статье рассматриваются схемы подключения высоковольтных ПЧ, а также изменение функций релейной защиты высоковольтных ЭД при установке частотного привода магистральных насосов на НПС.

Высоковольтное электрооборудование на НПС располагается в здании закрытого распределительного устройства (ЗРУ) напряжением 6 или 10 кВ [6]. Магистральные насосы располагаются в здании насосной, а электродвигатели либо в здании насосной при взрывозащищенном исполнении, либо в – электростанции, который отделен от насосной взрывонепроницаемой перегородкой. Высоковольтные ЭД получают питание по кабельным линиям КЛ (рис. 1а). В ЗРУ в ячейке двига-

¹ При подготовке статьи использованы результаты исследований, выполненных при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по комплексному проекту «Разработка и организация серийного производства мощных высоковольтных частотно-регулируемых приводов (ВЧРП)» (договор №13.G25.31.0060).

теля устанавливаются выключатель Q1, трансформаторы тока 1ТТ и 2ТТ и устройства релейной защиты ЭД.

Высоковольтные преобразователи частоты на территории НПС размещаются в отдельном блоке (блок ВПЧ), который располагается вблизи помещения технологического ЗРУ. При этом от шин технологического ЗРУ к блоку ВПЧ прокладывается кабельная линия КЛ1 (рис. 1б), а от блока ВПЧ к электродвигателю кабельная линия КЛ2.

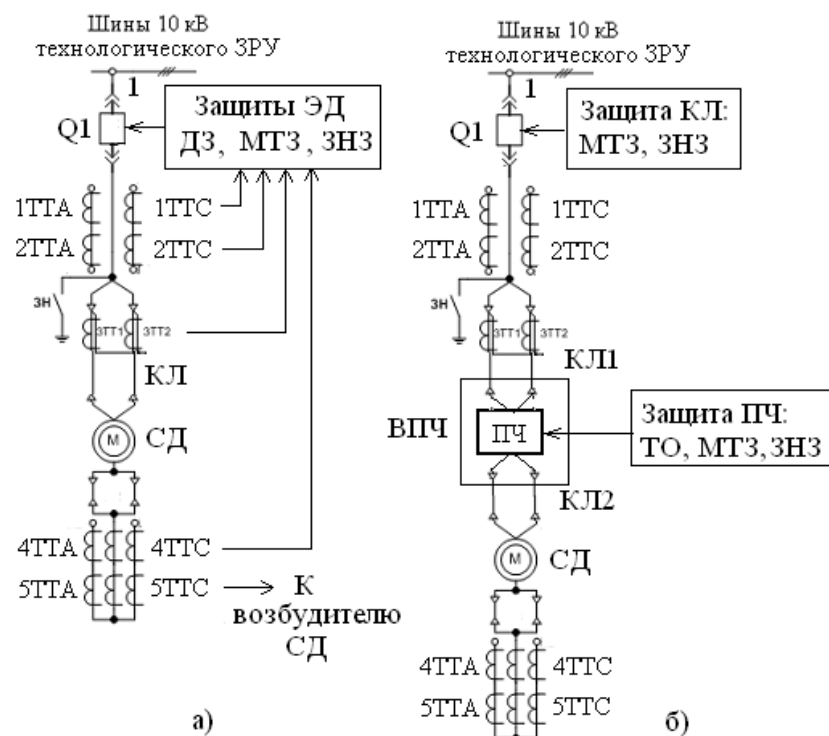


Рис. 1. Схемы расположения релейной защиты синхронного двигателя СД:
а) без использования ПЧ; б) при блочном подключении ПЧ

В результате при установке ПЧ вместо одной кабельной линии КЛ на рис. 1а потребуется прокладка либо двух кабельных линий КЛ1 и КЛ2 на рис. 1б, либо трех кабельных линий КЛ, КЛ1 и КЛ2 при подключении высоковольтного ПЧ к отдельной ячейке технологического ЗРУ (рис. 2).

На рис. 1б между выключателем Q1 и ПЧ, а также между ПЧ и СД отсутствуют какие-либо дополнительные коммутационные аппараты, позволяющие изменять схему подключения ПЧ и двигателя. Это «жесткая» или «блочная» схема подключения, при которой изменение режима питания двигателя невозможно. При этом ПЧ и двигатель образуют единый блок с последовательно включенными высоковольтным ПЧ, СД и двумя кабельными линиями: КЛ1 и КЛ2.

При отсутствии ПЧ в ячейке №1 устанавливаются дифференциальная токовая защита (ДЗ), максимальная токовая защита (защита от перегрузки МТЗ) и

защита от замыканий на землю (ЗНЗ) (рис. 1а). Причем в зону действия ДЗ, МТЗ и ЗНЗ входит также кабельная линия КЛ. При мощности электродвигателя 5 000 кВт и выше, а также при меньшей мощности, если токовая отсечка не обеспечивает достаточной чувствительности, основной защитой электродвигателей является дифференциальная защита [7]. На рис. 1а ДЗ включена на разность вторичных токов трансформаторов 1ТТ и 4ТТ. Она защищает кабельную линию КЛ и всю обмотку статора СД от всех видов междуфазных коротких замыканий.

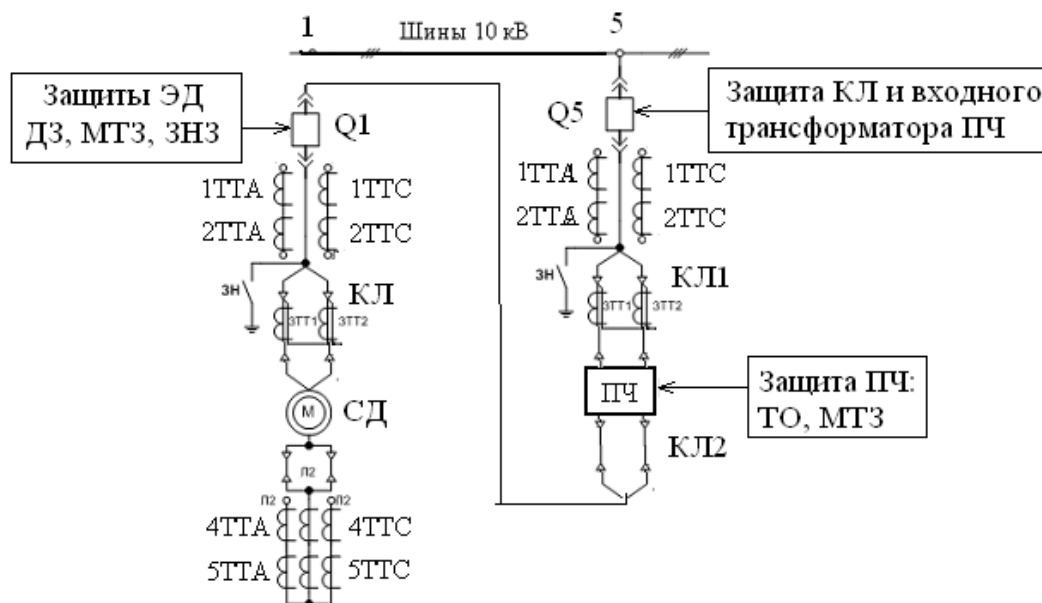


Рис. 2. Расположение трансформаторов тока и защит при подключении ПЧ к дополнительной ячейке

При подключении ПЧ между двигателем и шинами ЗРУ-6 (10) кВ (рис. 1б) двигатель оказывается отделенным от «своей» ячейки и «своего» выключателя. При такой схеме подключения МТЗ, ЗНЗ и ДЗ, установленные в ячейке №1 на рис. 1а и предназначенные для защиты ЭД, теряют или изменяют свои функции. Защита от перегрузки, МТЗ, изменяет свои функции, и уже не будет защитой двигателя, так как ток через трансформаторы тока 2ТТ, к которым подключена МТЗ, не будет равен току в обмотках статора двигателя. Защита от замыканий на землю ЗНЗ, установленная в ячейке №1, также не будет защищать электродвигатель, так как ПЧ разрывает контур протекания токов нулевой последовательности и при замыкании на землю в обмотке статора СД ток в трансформаторах нулевой последовательности 3ТТ, к которым подключена ЗНЗ, протекать не будет. Дифференциальная защита ДЗ становится неработоспособной, так как при наличии ПЧ через трансформаторы тока 1ТТ со стороны питания и трансформаторы тока 4ТТ со стороны нейтрали СД будут протекать токи разных частот. Это исключает при-

менение дифференциальной защиты, и она на рис. 1б отсутствует. При этом электродвигатель теряет свою основную защиту.

Таким образом, применение дифференциальной защиты двигателя исключается, а защиты МТЗ и ЗНЗ в ячейке выключателя Q1 на рис. 1б изменяют зону действия и свое назначение. Они будут защищать кабельную линию КЛ1 и входной трансформатор высоковольтного ПЧ. Поэтому на выходе ПЧ (или в составе ПЧ) должна быть установлена дополнительная ЗНЗ, в зону действия которой должна входить обмотка статора электродвигателя. Функции основной защиты двигателя должны быть возложены на токовые защиты (токовые отсечки ТО и МТЗ), встроенные в ПЧ. Однако ТО и МТЗ не обладают абсолютной селективностью и не могут защищать всю обмотку статора [8]. При этом при проектировании частотно-регулируемого электропривода потребуется проверка способности токовых защит ПЧ обеспечивать полноценную защиту двигателя при перегрузках и коротких замыканиях.

При схеме подключения ПЧ, приведенной на рис. 2, в ячейке электродвигателя с выключателем Q1 можно оставить комплект защит электродвигателя, такой же, что и на рис. 1а, при условии, что он выполнен на электромеханической элементной базе. Микропроцессорные защиты при схеме подключения ПЧ, приведенной на рис. 2, могут измерять ток с большой погрешностью и действовать неправильно. Объясняется это тем, что в микропроцессорных устройствах релейной защиты мгновенные значения токов и напряжений обрабатываются по программе цифровой фильтрации относительно первой гармоники промышленной частоты и погрешности измерения тока микропроцессорных защит задаются для частоты входного сигнала в диапазоне $50 \pm 0,5$ Гц [9, 10]. При этом алгоритмы микропроцессорных защит (вычисление действующих значений, вычисление векторов по мгновенным значениям, алгоритм двух выборок) также реализованы для основной гармоники [11]. Если же частота входных сигналов выходит из диапазона $50 \pm 0,5$ Гц, то возникает дополнительная погрешность измерения тока, которая для диапазона 45 - 55 Гц, составляет до 2 % на каждый герц [9, 10], а для частоты ниже 45 Гц не нормируется. При этом защиты могут отказывать в действии или срабатывать ложно. Поэтому для возможности использования микропроцессорных защит ЭД, подключенного к ПЧ по схеме рис. 2, потребуется разработка алгоритмов, способных работать при частоте, отличающейся от 50 Гц.

Схема по рис. 1б предполагает постоянное питание электродвигателя от ПЧ. Однако в некоторых режимах перекачки нефти по трубопроводу магистральный насос должен работать с номинальной скоростью вращения. Если при этом электродвигатель магистрального насосного агрегата будет подключен к ПЧ, то это приведет к повышенному расходу электроэнергии за счет потерь мощности в ПЧ. Поэтому в схеме электроснабжения целесообразно предусмотреть возможность отключения электродвигателя от ПЧ и подключения обмотки статора двига-

теля непосредственно к шинам ЗРУ-6(10) кВ. Одна из таких схем приведена на рис. 3. Для возможности подключения электродвигателя Д1 непосредственно к шинам в обход ПЧ в ВПЧ могут быть установлены дополнительные коммутационные аппараты. На рис. 3 внутри каждого блока ВПЧ установлены три дополнительных разъединителя: два последовательно с преобразователем частоты (QS1.1 и QS1.2) и один – параллельно (QS1.3). Для отключения ПЧ от сети отключаются разъединители QS1.1 и QS1.2, и для подключения двигателя Д1 к сети включается обходной разъединитель QS1.3.

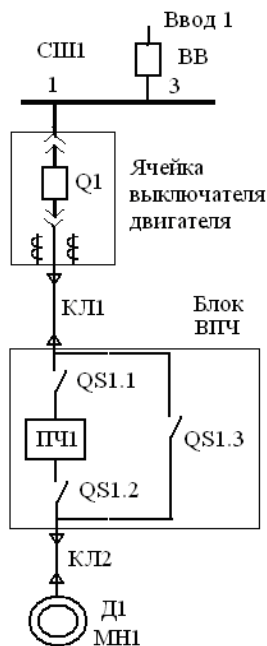


Рис. 3. Схема подключения ПЧ с обходным разъединителем

Схемы расположения средств релейной защиты при подключении высоковольтного ПЧ с обходным разъединителем приведены на рис. 4.

При выключенном разъединителе QS1.3 перечень и расположение защит должен быть таким же, что и на рис. 1б. При включенном разъединителе QS1.3 электродвигатель оказывается подключенным непосредственно к секции шин технологического ЗРУ. При этом перечень и расположение защит должен быть таким же, что и на рис. 1а.

Таким образом, при использовании обходного разъединителя в ячейке ЭД должно быть установлено два комплекта защит. Один из них в составе МТЗ и ЗНЗ для защиты КЛ и входного трансформатора ПЧ (рис. 4а) и второй в составе ДЗ, МТЗ, ЗНЗ – для защиты электродвигателя (рис. 4б). Необходимость иметь в ячейке с выключателем Q1 два комплекта защит усложняет проектирование и эксплуатацию частотно-регулируемого электропривода и требует проработки перечня защит, их свойств и возможности совмещения функций защит при включенном и отключенном обходном разъединителе.

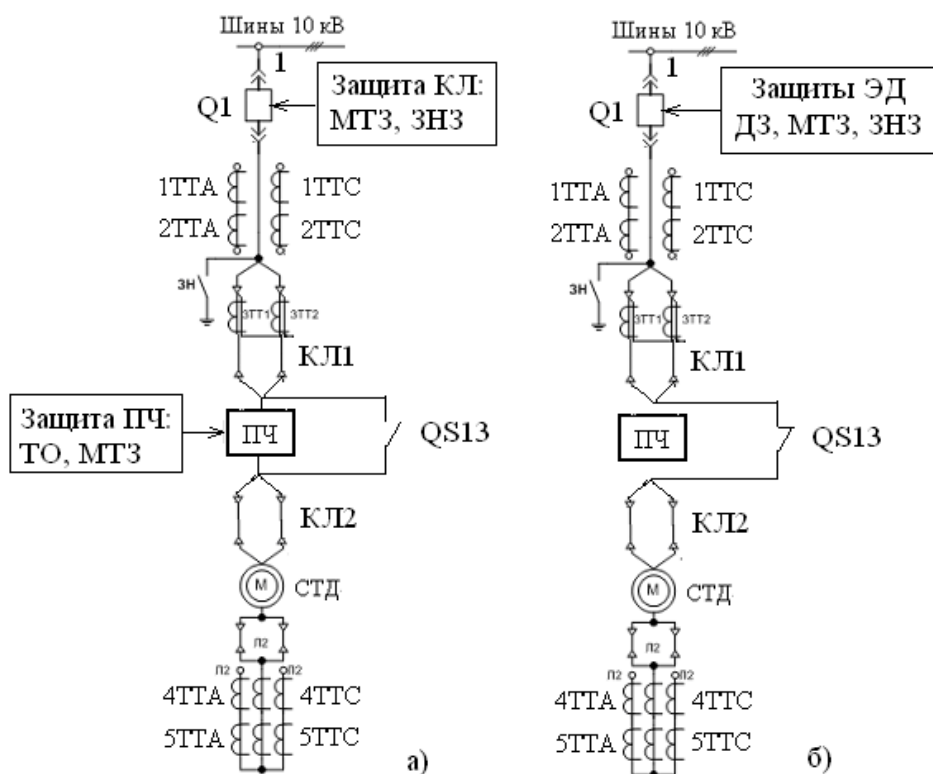


Рис. 4. Схемы расположения средств релейной защиты при подключении ПЧ с обходным разъединителем

Блок ВПЧ может выполняться с встроенным вводным комплектным распределительным устройством РУ ВПЧ (рис. 5). При этом внутри блока ВПЧ выполняется секция шин напряжением 6 (10) кВ.

Такое РУ ВПЧ содержит секцию шин напряжением 6 (10) кВ, вводную ячейку с вводным выключателем Q_B и трансформаторами тока, ячейку подключения ПЧ с выключателем $Q_{ПЧ}$ и трансформаторами тока, ячейку подключения трансформатора собственных нужд ТСН. В этом случае потребуется проработка состава и функций защит как во вводной ячейке ПЧ с выключателем Q_B , так и защит в ячейке выключателя $Q_{ПЧ}$ преобразователя частоты. Более того, потребуется согласование защит в ячейках с выключателями Q_5 , Q_1 , Q_B и $Q_{ПЧ}$.

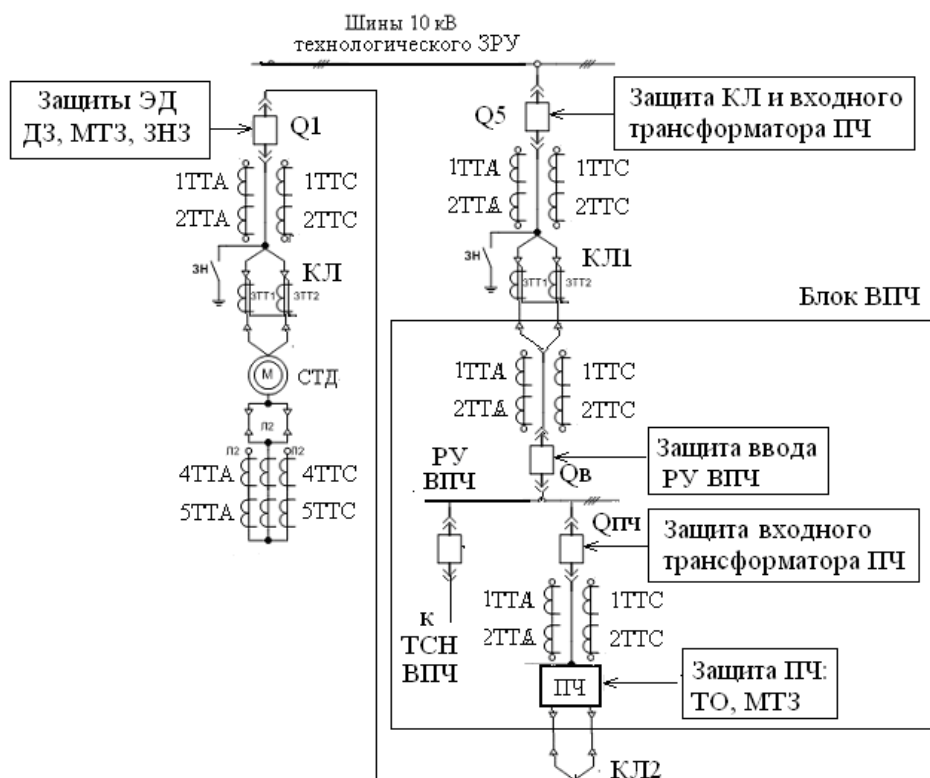


Рис. 5. Расположение трансформаторов тока и защит при выполнении блока ВПЧ с встроенным распределительным устройством РУ ВПЧ

Выводы

1. Проведенный анализ рассмотренных схем подключения высоковольтных ПЧ и устройств релейной защиты на НПС показывает, что не существует единственной схемы, которой можно отдать предпочтение во всех случаях. Каждая из схем имеет свои достоинства и недостатки. Наиболее простой является схема электроснабжения с установкой ПЧ на каждый насосный агрегат с подключением ПЧ к ячейке электродвигателя (рис. 1б). Однако, во-первых, в таких схемах двигатель теряет все свои защиты, установленные в ячейке ЗРУ. Защита ЭД при этом возлагается на защиты, встроенные в ПЧ, эффективность которых для ЭД исследована недостаточно. Во-вторых, ПЧ в такой схеме остается включенным даже в тех режимах перекачки, когда регулирование скорости вращения магистрального насоса не требуется. При этом будет иметь место повышенный расход электроэнергии, обусловленный потерями мощности в ПЧ.

2. Подключать ЭД без ПЧ позволяет схема ВПЧ с обходным разъединителем (рис. 3). Однако при этом необходимо будет иметь два комплекта релейной защиты ЭД. Это требует проработки возможности совмещения функций защит при включенном и отключенном обходном разъединителе.

3. Сохранить все защиты ЭД можно при подключении ПЧ к дополнительной ячейке (рис. 2 и 5). Однако при таких схемах могут не работать защиты электродвигателя, выполненные на микропроцессорной элементной базе. Поэтому актуальной задачей является разработка микропроцессорных релейных защит, способных действовать при частоте питающего напряжения, не равной 50 Гц.

Литература

1. Туманский А.П. Оптимизация режимов перекачки по магистральным трубопроводам с перекачивающими станциями, оборудованными частотно-регулируемым приводом // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2005. № 8. С. 11 - 14.
2. Сокол Е.И., Бару А.Ю., Шинднес Ю.Л., Лукпанов Ш.К. Опыт разработки и внедрения преобразователей частоты для регулируемого электропривода насосных агрегатов МН // Электротехника. 2004. №7. С. 52 - 57.
3. Гумеров А.Г., Гумеров Р.М., Акбердин А.С. Эксплуатация оборудования нефтеперекачивающих станций. М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2001. 475 с.
4. Шабанов В.А., Кабаргина О.В. Перспективы использования частотно-регулируемого электропривода магистральных насосов на НПС. Уфа: изд-во УГНТУ, 2010. 63 с.
5. Шабанов В.А., Кабаргина О.В. Достоинства и перспективы использования частотно-регулируемого электропривода магистральных насосов на НПС // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2011. Т. 2. С. 63 - 66.
6. Шабанов В.А., Алексеев В.Ю. Электроснабжение нефтеперекачивающих станций магистральных нефтепроводов: учебное пособие. Уфа: ООО «Монография», 2010. 272 с.
7. Правила устройства электроустановок, 7-е изд. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.
8. Корогодский В.И., Кужеков С.Л., Паперно Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1000 В. М.: Энергоатомиздат, 1987. 248 с.
9. Микропроцессорное устройство защиты электродвигателя Сириус-Д, Сириус-21-Д. Руководство по эксплуатации БПВА.656122.046 РЭ. URL: <http://rza.ru/techrew/sirius-d-2010.pdf> (дата обращения: 26.07.2012)
10. Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ. Техническое описание ДИВГ 648.228.001. ТО.
11. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат. 2007. 549 с.

VARIATION OF PROTECTIVE RELAYING FUNCTION IN CASE FREQUENCY CONVERTERS ARE USED

V.A. Shabanov ^{*1}, V.Yu. Alekseev ^{*2}

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
*e-mail: ^{*1}ShabanovVA1@yandex.ru, ^{*2}vik120212@gmail.com*

Abstract. *In article relay protection of electric motors are considered in case frequency-adjustable electric drives of the main pumps of oil pumping stations are used. Connection networks of frequency converter to distribution system 6 (10) kV are discussed. Variation properties of electric motors relay protection are shown.*

Keywords: *frequency-adjustable electric drive, protective relaying, electric motor, main pump, oil pumping station*

References

1. Tumanskii A.P. Optimizatsiya rezhimov perekachki po magistral'nym truboprovodam s perekachivayushchimi stantsiyami, oborudovannymi chastotno-reguliruemym privodom (Optimization of pumping through pipelines with pumping stations equipped with variable frequency drive), *Transport i khranenie nefteproduktov*, 2005, Issue 8, pp. 11-14.
2. Sokol E.I., Baru A.Yu., Shindnes Yu.L., Lukpanov Sh.K. Opyt razrabotki i vnedreniya preobrazovatelei chastoty dlya reguliruemogo elektroprivoda nasosnykh agregatov MN (Experience of design and implementation of frequency converters for variable speed electric drive of oil pipeline main pumps), *Elektrotehnika*, 2004, Issue 7, pp. 52 - 57.
3. Gumerov A.G., Gumerov R.M., Akberdin A.S. Ekspluatatsiya oborudovaniya nefteperekachivayushchikh stantsii (Operation of oil pumping station equipment). Moscow, Nedra-Biznestsentr, 2001. 475 p.
4. Shabanov V.A., Kabargina O.V. Perspektivy ispol'zovaniya chastotno-reguliruemogo elektroprivoda magistral'nykh nasosov na NPS (Prospects for using variable-frequency electric drives of main pumps at oil pumping stations). Ufa: UGNTU, 2010. 63 p.
5. Shabanov V.A., Kabargina O.V. Dostoinstva i perspektivy ispol'zovaniya chastotno-reguliruemogo elektroprivoda magistral'nykh nasosov na NPS (Advantages and prospects of using variable-frequency electric drive of the main pumps at OPS), *Upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse*, 2011, Volume, pp. 63 - 66.
6. Shabanov V.A., Alekseev V.Yu. Elektrosnabzhenie nefteperekachivayushchikh stantsii magistral'nykh nefteprovodov: ucheb. posobie (Power supply oil pumping stations of trunk pipelines. Textbook). Ufa, Monografiya, 2010. 272 p.
7. Pravila ustroystva elektroustanovok (Electrical installation code), 7 ed. Moscow, ENAS, 2003.

8. Korogodskii V.I., Kuzhekov S.L., Paperno L.B. Releynaya zashchita elektrodvigatelya napryazheniem vyshe 1000 V (Relay protection of the motors above 1000 volts). Moscow, Energoatomizdat, 1987. 248 p.

9. Mikroprotssessornoe ustroystvo zashchity elektrodvigatelya Sirius-D, Sirius-21-D. Rukovodstvo po ekspluatatsii (Microprocessor motor protection device Sirius A and Sirius-21-D. Operating manual) BPVA.656122.046. RE.

URL: <http://rza.ru/techrew/sirius-d-2010.pdf>

10. Blok mikroprotssessornyi releinoi zashity BMRZ. Tekhnicheskoe opisanie (Microprocessor relay protection BMRZ. Technical details). DIVG 648.228.001. TO.

11. Shneerson E.M. Tsifrovaya releynaya zashchita (Digital protective relaying). Moscow, Energoatomizdat, 2007. 549 p.