

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. Persson, "Transient Effects in Application of PWM Inverters to Induction Motors," IEEE IAS Transactions, vol.28. No. 5, Sept./Oct. 1992.
  2. Transient Effects of PWM Drives on Induction Motors, Christopher J. Melhorn, Le Tang, Electrotek Concepts, Inc., Knoxville, Tennessee 37932.
  3. R. Kerkman, D. Leggate, G. Skibinski. "Interaction of Drive Modulation & Cable Parameters on AC Motor Transients," IEEE IAS Conference Proceedings, 1996.
  4. Melfi, M., Sung, A.M.J., Bell, S., Skibinski, G.L. Effect of Surge Voltage Risetime on the Insulation of Low Voltage Machines Fed by PWM Converters // Industry Applications, IEEE Transactions on, Jul/Aug 1998, pages (766–775).
- ГОСТ 27427-87 – Материалы электроизоляционные. Методы относительного определения сопротивления пробойю поверхностными разрядами.

## ПРОБЛЕМА НАДЕЖНОСТИ НЕФТЕПОГРУЖНЫХ КАБЕЛЕЙ ПРИ ПИТАНИИ УЭНЦ ОТ ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

*А.Г. Гарганеев\*, А.П. Леонов\*, Ю.М. Щербакова\*, А.А. Нор\*\**

\* – Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, Томск

\*\* – ПАО «НИКИ», Россия, Томск

В последние годы все большее число установок электроцентробежных насосов (УЭНЦ) добычи нефти управляется с помощью преобразователей частоты. Преимущества внедрения частотного управления сопровождается рядом недостатков, важнейшим из которых – резкое снижение срока службы питающих кабелей. Это связано с возросшими электрическими нагрузками на изоляцию кабеля, обусловленные работой частотного преобразователя на базе ШИМ. Отмечено, что в ряде случаев это может служить причиной пробоя изоляции кабеля [1]. В отечественной технической литературе недостаточно информации об опыте применения нефтепогружных кабелей в составе ЧРП, а также о характере и величинах напряжений, возникающих при работе ШИМ.

Нефтепогружной кабель (НПК), питающий УЭНЦ следует рассматривать как однородную длинную линию с распределенными параметрами, влияющими на распространение электрического сигнала [2]. Согласно общепринятой схеме электропитание УЭЦН осуществляется с помощью кабельных линий, состоящих из основного питающего кабеля и герметически соединенного с ним с помощью муфты высокотемпературного кабеля-удлинителя. Основной кабель, в свою очередь, может состоять из нескольких отрезков кабелей различных конструкций и теплостойкости, также герметично соединенных между собой. Для расчета величин перенапряжений в кабельной линии необходимо определить волновые параметры, влияющие на

распространение электрической энергии вдоль линии:  $L$  - погонная индуктивность кабельной линии (Гн/км),  $C$  - погонная емкость кабельной линии (Кл), (Ф/км), волновое сопротивление  $Z_B$  (эквивалентная схема замещения элементарного участка показана на рис.1).

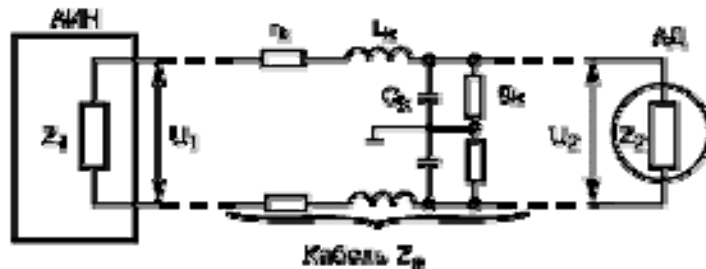


Рис. 1. Цепь соединения автономного инвертора напряжения АИИ с асинхронным двигателем (АД) (эквивалентная схема элементарного участка кабеля)

Волновое сопротивление  $Z_B$  кабеля при этом определяется последовательной индуктивностью  $L$  и параллельной емкостью  $C$  участка линии:

$$Z_B = \sqrt{L/C} . \quad (1)$$

Значения параметров  $L$  и  $C$  зависят от типа, конструкции и сечения кабеля. УЭНЦ соединяется с преобразователем частоты силовым кабелем, состоящим из трех круглых медных жил. В этом случае индуктивность и емкость каждой изолированной жилы рассчитывается как для одножильного кабеля:

Поставленная задача моделирования электрических напряжений в кабельной линии УЭНЦ решалась в графической среде имитационного моделирования MATLAB Simulink (рис. 2–3).

Полученные результаты моделирования режимов работы НПК УЭНЦ позволяют отметить:

1. Резкое увеличение амплитуды напряжения в КЛ наблюдается при отсутствии синусоидального фильтра. Особенно высокие напряжения отмечены для режима «под нагрузкой» с включенным двигателем: от 5 до 8 кВ на различных участках КЛ (рис. 2) при питающем напряжении 3,3 кВ. Такой высокий уровень напряжения в КЛ в сочетании с высокочастотными составляющими импульсов питающего напряжения с ШИМ безусловно приведет к ускорению процессов электротеплового старения изоляции НПК.

2. При включении в цепь синус-фильтра происходит сглаживание ВЧ-помех, форма кривой напряжения на выходе с ПЧ близка к синусоиде (рис. 3).

В режиме холостого хода обеспечивается синусоидальность формы кривой напряжения на всех участках КЛ за счет преобразования выходного напряжения с ШИМ в напряжение синусоидальной формы.

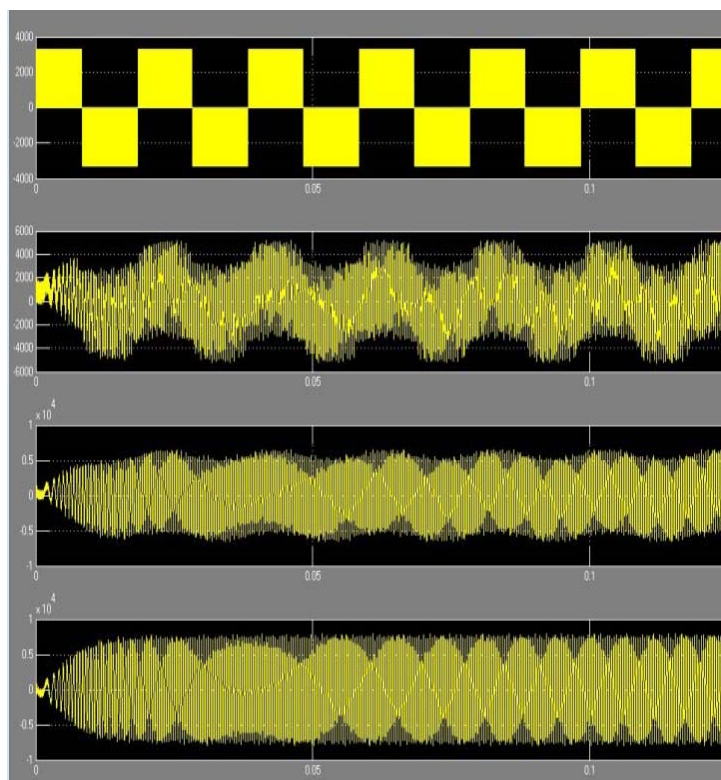


Рис. 2. Изменение амплитуды напряжения в кабельной линии от времени включения с двигателем без синусоидальных фильтров: 1 – на выходе с частного преобразователя; 2 – после первого участка КЛ (кабель КПБП); 3 – после второго участка КЛ (кабель КЕСБП); 4 – после третьего участка КЛ (кабель УБ)

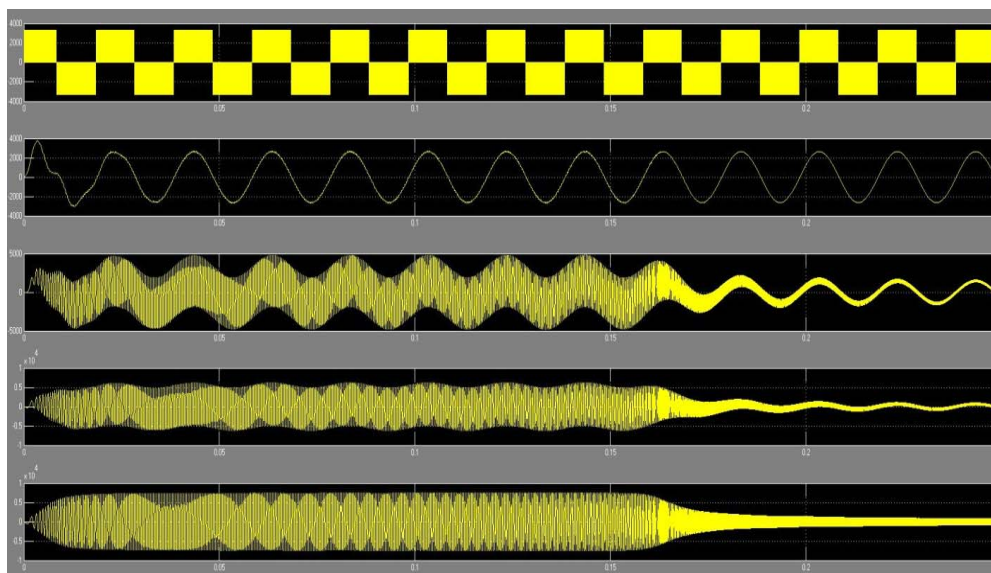


Рис. 3. Изменение амплитуды напряжения в кабельной линии от времени включения с синусоидальным фильтром: 1 – после частного преобразователя; 2 – после  $RLC$  фильтра; 3 – после первого участка КЛ (КПБП); 4 – после второго участка КЛ (КЕСБП); 5 – после третьего участка КЛ (кабель УБ)

## **Выводы**

1. Использование СФ приводит к значительному снижению амплитуды питающего напряжения при работе КЛ под нагрузкой (рис. 3). В этом случае электрические нагрузки на изоляцию НПК не превышают величины установленного фазного напряжения.

2. Обязательным условием обеспечения надежного безаварийного функционирования КЛ УЭНЦ является использование защитных синус-фильтров, выбранных в строгом соответствии с типом двигателя и преобразователя частоты, как того рекомендуют ведущие мировые производители преобразовательной техники.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Е.М. Костоломов, С.В. Шибанов Результаты работы высоковольтных частотно-регулируемых электроприводов насосных агрегатов перекачки нефти на объектах ОАО «Сургутнефтегаз» // Экспозиция «Нефть, газ», №5, 2009.
2. Белоруссов Н.И., Саакян А.Е., Яковлева А.И. Электрические кабели, провода и шнуры. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 536 с.

## **ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ИЗОЛЯЦИЮ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ОБМОТОК В СОСТАВЕ ЧРП**

*В.А. Болгова*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, Томск

Безотказная работа электрических машин в значительной степени определяется надежностью электрической изоляции их обмоток. В свою очередь, надежность изоляции электрической машины зависит от ее способности противостоять длительным воздействиям различных разрушающих факторов в процессе эксплуатации.

В процессе эксплуатации изоляция обмоток электрических машин подвержена влиянию множества воздействующих факторов, таких как температурные и механические воздействия, влага и поверхностные загрязнения, воздействие химически активных веществ, пыли, а также действие электрического поля.

Основным фактором, приводящим к износу изоляции низковольтных обмоток, считалось воздействие температуры [1, 2]. И в настоящее время у потребителей отсутствует четкое понимание значимости воздействия электрического поля.

На сегодняшний день проблема надежности обострилась в связи с интенсивностью режимов работы электрических машин, экстремальностью условий эксплуатации, повышением требований к качеству работы и, как