

УДК 620.1.08

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИГНАЛА НА ИЗОЛЯЦИЮ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ

В. М. ЛУКАШОВ, С. Н. КУХАРЕНКО, Ю. В. КРЫШНЕВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

В Республике Беларусь на современном этапе активно проводится модернизация и автоматизация производств различных предприятий. Деятельность в данном направлении проводится с целью повышения качества продукции, увеличения производительности и уменьшения затрат производства. Тенденции развития и совершенствования производства затронули и нефтедобывающие предприятия. На ПО «Белоруснефть» было принято решение вводить в эксплуатацию на нефтедобывающих станциях частотно-регулируемые электроприводы. Частотно-регулируемый электропривод имеет функциональную возможность изменять частоту питающего напряжения в пределах от 40 до 60 Гц, что позволяет управлять работой центробежного насоса нефтедобывающей станции. Но существует ряд негативных факторов, связанных с работой электропривода [3]:

- возникновение перенапряжений в распределенных параметрах обмотки электродвигателя, в 2 и более раз превышающих приложенное напряжение;
- пробой изоляции силовых кабелей, питающих погружные установки центробежных насосов;
- питание частотно-регулируемого электропривода по длинному кабелю снижает коэффициент полезного действия (КПД) системы «привод – двигатель» на 10 % и более.

Предполагаемая причина возникновения этого ряда негативных факторов – влияние высокочастотных составляющих напряжения, формируемого преобразователем частоты. Такие явления ведут к снижению надежности работы установки и возникновению аварийных ситуаций. Минимизация воздействия подобных факторов – одна из самых актуальных проблем в современной электротехнике. Поиск причин возникновения негативных явлений и предложение рациональных решений являются основной задачей по устранению существующей проблемы.

В данной статье приведены результаты экспериментов и исследований, проведенных с целью измерения частотных характеристик сопротивления силового кабеля, питающего погружную установку центробежного насоса, его изоляции, передаточной характеристики силового фильтра. По полученным данным измерений предложены рациональные пути решения поставленной задачи.

Исследование частотной характеристики входного сопротивления цепи силового кабеля КПБП (кабель погружной, бронированный, плоский) с подключенным центробежным насосом

С целью исследования негативных факторов, влияющих на работу установки, был создан программно-аппаратный комплекс для измерения сопротивлений силового кабеля с подключенным центробежным насосом в диапазоне частот. Произве-

дены измерения частотных характеристик входного сопротивления цепи силового кабеля КППБП с подключенным погружным двигателем.

Измерение входного сопротивления силового кабеля с подключенным двигателем производилось при воздействующем напряжении 30 В, что составляет 1,5 % от номинального. При проведении измерения воздействующее напряжение через усилитель было подано на вводы силового кабеля. Для регистрации формы и величины тока в исследуемой цепи был использован трансформатор тока. Произведен ряд измерений в исследуемом диапазоне частот. Форма сигналов напряжения и тока регистрировалась электронным осциллографом в виде файла цифровых отсчетов [1]. Экспериментальные данные были обработаны в ПЭВМ при помощи соответствующих программных приложений. После проведения ряда вычислений и применения алгоритмов обработки было осуществлено построение необходимых частотных характеристик и зависимостей.

Результаты измерения полного входного сопротивления цепи силового кабеля с подключенным центробежным насосом в диапазоне частот приведены на рис. 1.

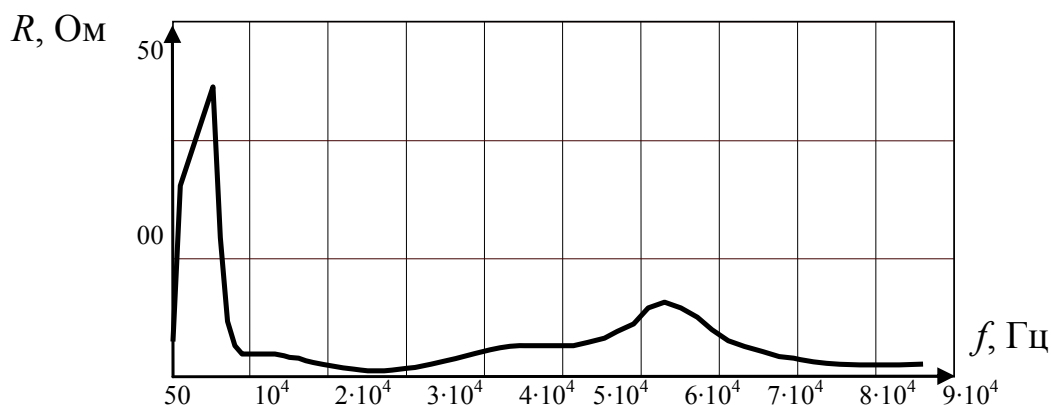


Рис. 1. Частотная характеристика входного сопротивления цепи силового кабеля КППБП с подключенным центробежным насосом

После анализа полученной характеристики были сделаны следующие выводы:

- начальный участок частотной характеристики имеет подъем, характерный индуктивному сопротивлению двигателя;
- на частоте 25 кГц частотная характеристика имеет резонанс с активным сопротивлением 2,36 Ом;
- кабель является своеобразным фильтром, который подавляет частоту пульсаций на частотах ниже 10 кГц и имеет собственные резонансы на более высоких частотах (добротность системы «кабель – двигатель» достаточно высока).

Исследование спектра питающего напряжения

В процессе исследований было принято решение разложить питающее напряжение на спектральные составляющие [2] с целью определения токовой нагрузки жилы силового кабеля на частотах спектра. В итоге на частоте резонанса 25 кГц ток в кабеле равен:

$$i_{25} = \frac{UU_{25}/U}{R_{25}} = \frac{1500 \cdot 0,09}{2,36} = 57 \text{ А}, \quad (1)$$

где i_{25} , U_{25} – ток и напряжение на частоте 25 кГц; $U = 1500$ В – питающее напряжение; $U_{25}/U = 0,09$ – коэффициент гармоника, соответствующий частоте 25 кГц; $R_{25} = 2,36$ Ом – сопротивление кабеля на частоте 25 кГц.

Следовательно, значение тока в жиле силового кабеля на частоте 25 кГц имеет двукратное превышение рабочего тока кабеля, что вызывает его перегрев и повреждение изоляции.

Исследование частотной характеристики сопротивления изоляции силового кабеля КПБП

Вторым возможным фактором, вызывающим отказы кабеля и двигателя, является высокочастотный разогрев изоляции. Проведен эксперимент измерения частотных характеристик сопротивления изоляции для участка кабеля длиной 30 см при воздействующих напряжениях 300 и 900 В. Измерения не выявили различия в характере сопротивления с различными напряжениями. Результаты измерения представлены на рис. 2.

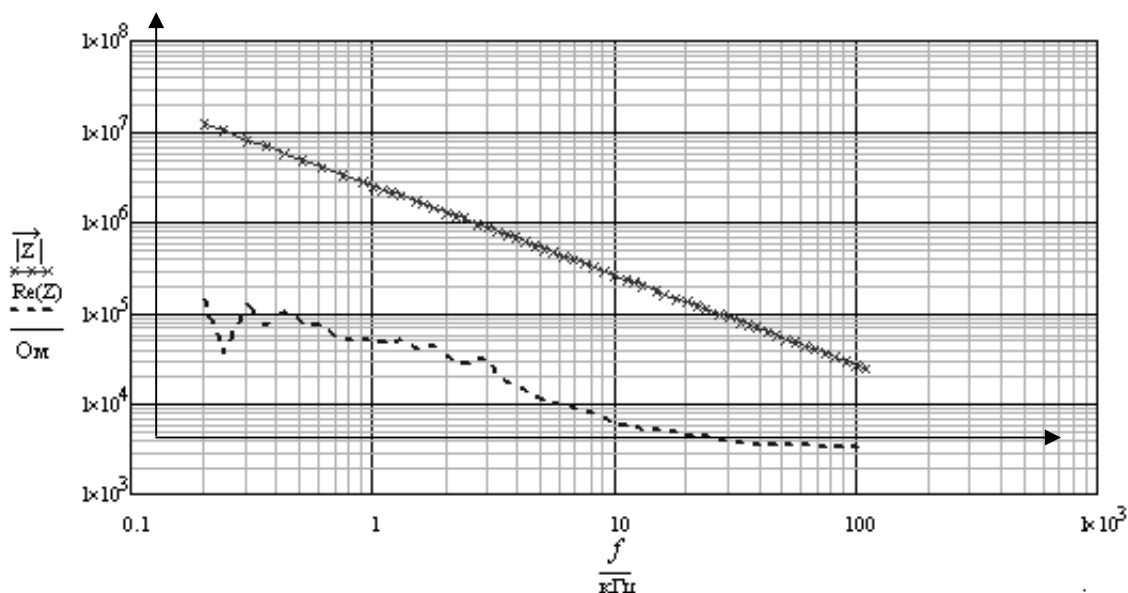


Рис. 2. Частотная зависимость сопротивления изоляции кабеля КПБП от частоты: $|Z|$ – модуль полного сопротивления; $Re(Z)$ – активная составляющая сопротивления для последовательной схемы замещения; f – частота

Модуль комплексного сопротивления изоляции кабеля имеет спад частотной характеристики 20 дБ/дек, что соответствует емкостному характеру сопротивления (это подтверждает правильность проводимого эксперимента) [1]. Активная составляющая последовательной схемы замещения, связанная с разогревом изоляции, имеет спад сопротивления. Такая частотная характеристика свидетельствует о росте частотных потерь в изоляции на частотах выше 10 кГц. Частоты свыше 20 кГц, присутствующие в спектре напряжения широтно-импульсной модуляции (ШИМ) частотно-регулируемого привода, приводят к перегреву изоляции.

Исследование передаточной характеристики силового фильтра

Также был проведен эксперимент по измерению передаточной характеристики используемого на станции силового фильтра. Измерение проводилось с целью определения частот ослабления сигнала. Передаточная характеристика силового фильтра представлена на рис. 3.

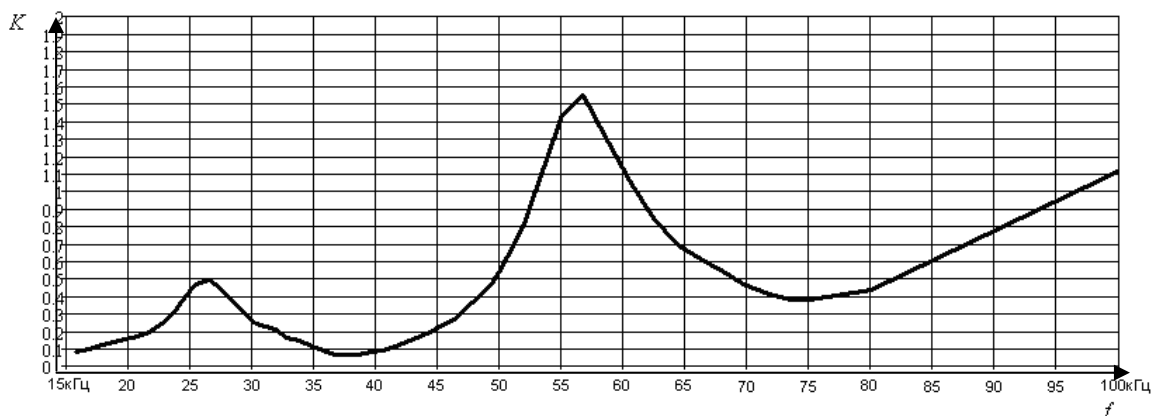


Рис. 3. Передаточная характеристика силового фильтра

Анализ данной характеристики дал следующие результаты:

- максимальное ослабление сигнала приходится на частоты от 35 до 40 кГц (коэффициент усиления равен 0,1);
- пики передаточной характеристики приходятся на частоты 26 кГц (коэффициент усиления равен 0,5) и 57 кГц (коэффициент усиления равен 1,55).

Резонанс кабеля на частоте 25 кГц (рис. 1) не компенсируется силовым фильтром. Следовательно, кабель не защищен от перегрузок, а силовой фильтр не обеспечивает достаточное ослабление высокочастотных составляющих спектра сигнала, создаваемых преобразователем частоты, который служит для управления насосным двигателем.

Заключение

По результатам проведенных предварительных измерений можно сделать следующие выводы:

1. Частотные свойства изоляции применяемого кабеля и кабельной линии обуславливают существенные потери на высокой частоте. Следовательно, можно утверждать, что причиной перегрева изоляции является высокочастотное воздействие спектра сигнала, создаваемого системой управления.
2. Силовой фильтр не обеспечивает достаточное подавление пагубной для кабельной линии высокочастотной составляющей.
3. На основе результатов измерения целесообразна разработка технических решений, позволяющих ограничить высокочастотное воздействие путем оптимизации существующих либо синтеза новых схем фильтров.

Литература

1. Ратхор, Т. С. Цифровые измерения. Методы и схемотехника / Т. С. Ратхор. – М. : Техносфера, 2004. – 376 с.
2. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение : пер. с англ. – М. : Вильямс, 2003. – 1104 с.
3. Яворский, В. Н. Проектирование нелинейных следящих систем с тиристорным управлением исполнительным двигателем / В. Н. Яворский, В. И. Макшанов, В. П. Ермолин. – Л. : Энергия. Ленингр. отд., 1978. – 208 с.

Получено 31.07.2014 г.