

# ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ В НЕФТЕДОБЫЧЕ

**В. М. Лукашов**

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

Научные руководители: С. Н. Кухаренко, Ю. В. Крышнев

Из источников периодической печати известно, что воздействие частотного спектра на обмотки двигателя и соединительные кабели приводит к нежелательным явлениям:

1. Возникновение перенапряжений в распределенных параметрах обмотки. Эти перенапряжения в два и более раз превышают приложенное напряжение.

2. Перенапряжения в машинах, питаемых от ШИМ-преобразователей, вызывают пробой изоляции.

3. Питание частотно-регулируемого привода по длинному кабелю снижает КПД системы «привод – двигатель» на 10 % и более процентов.

С целью изучения явлений, происходящих в кабеле и двигателе, был создан программно-аппаратный комплекс для измерения сопротивлений в диапазоне частот. Сотрудниками ГГТУ им. П. О. Сухого выполнено измерение частотных характеристик скважинного двигателя с кабелем, а также изоляции кабеля КПиБП.

Измерение входного сопротивления кабеля, с подключенным двигателем, производилось на скважине предприятия «Речица нефть» при воздействующем напряжении 30 В, что составляет 1,5 % от номинального.

Измерение проводилось следующим образом. Воздействующее синусоидальное напряжение через усилитель было подано на кабель. С помощью трансформатора тока производилось измерение тока в кабеле при подаче соответствующего напряжения. Был произведен ряд измерений в исследуемом диапазоне частот. Форма сигналов напряжения и тока регистрировалась электронным осциллографом в виде файла цифровых отсчетов. Данные были обработаны в ПК при помощи соответствующих программных приложений. Построены необходимые частотные характеристики и зависимости.

Результаты измерения полного сопротивления в диапазоне частот приведены на рис. 1.

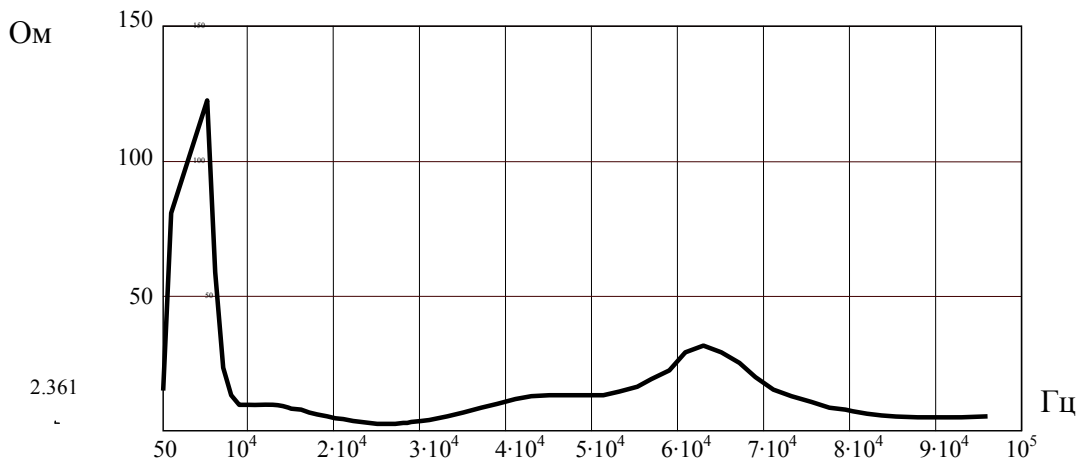


Рис. 1. Частотная характеристика сопротивления кабеля КПиБП с подключенным двигателем

Анализируя полученную характеристику, можно сделать ряд выводов:

1. Начальный участок частотной характеристики имеет подъем, характерный индуктивному сопротивлению двигателя.

2. На частоте 25 кГц частотная характеристика имеет резонанс с активным сопротивлением 2,36 Ом.

3. Кабель является своеобразным фильтром, который подавляет частоту пульсаций на частотах до 10 кГц и имеет собственные резонансы на более высоких частотах. Добротность системы «кабель–двигатель» достаточно высока.

С целью дальнейшего анализа процессов в системе подключения двигателя воспользовались разложением напряжения ШИМ в спектр. Это позволило определить токовую нагрузку жилы кабеля на частотах спектра. Так, на частоте резонанса 25 кГц ток в кабеле:

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

где  $i_{25}$ ,  $U_{25}$  – ток и напряжение на частоте 25 кГц; питающее напряжение  $U = 1500 \text{ В}$ ;  $U_N / U$  – коэффициент гармоник, соответствующий частоте 25 кГц;  $R_{25}$  – сопротивление кабеля на частоте 25 кГц.

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

Вторым возможным фактором, вызывающим отказы кабеля и двигателя, является высокочастотный разогрев изоляции. Выполнено измерение частотных характеристик сопротивления изоляции кабеля 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.

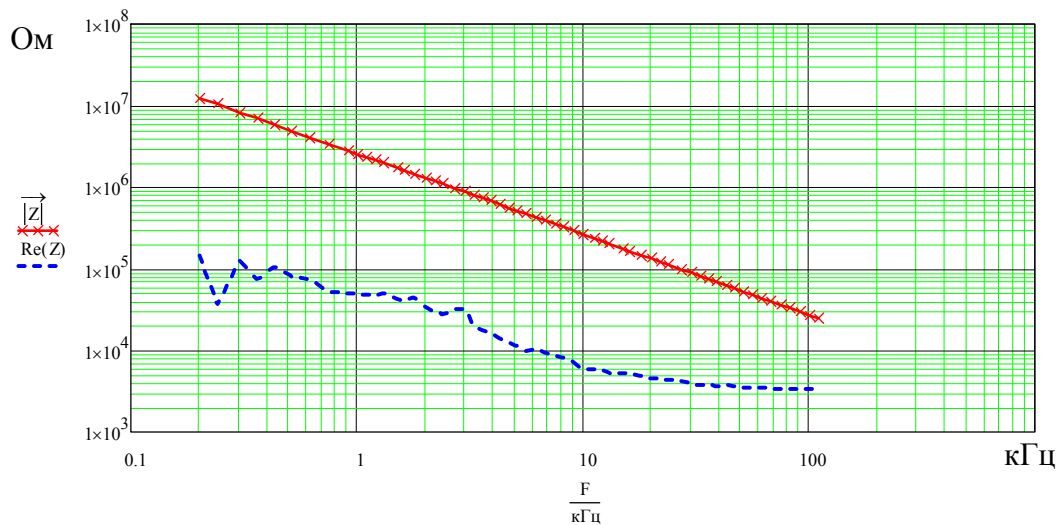


Рис. 2. Зависимость сопротивления изоляции кабеля КПиБП от частоты:  
 $|Z|$  – модуль полного сопротивления;  $Re(Z)$  – активная составляющая  
 сопротивления для последовательной схемы замещения

Модуль комплексного сопротивления изоляции кабеля имеет спад частотной характеристики 20 Дб/дек, что соответствует емкостному характеру сопротивления (это подтверждает правильность проводимого эксперимента). Активная составляющая, связанная с разогревом изоляции, последовательной схемы замещения 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 ШИМ, приводят к перегреву изоляции.

Выполнено измерение передаточной характеристики применяемого силового фильтра. Измерение проводилось с целью определения частот ослабления сигнала. Результаты измерения представлены на рис. 3.

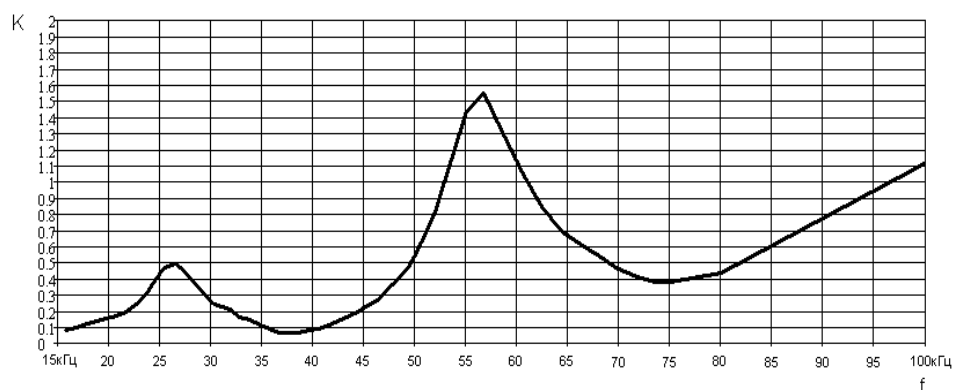


Рис. 3. Передаточная характеристика силового фильтра

По передаточной характеристике можно констатировать, что максимальное ослабление сигнала происходит на частотах 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 (см. выше) не подавляется силовым фильтром. Следо-

вательно, кабель не защищен от перегрузок, а фильтр не обеспечивает достаточное ослабление высокочастотных составляющих спектра сигнала, создаваемых преобразователем частоты, который служит для управления насосным двигателем.

### **Заключение**

По результатам проведенных предварительных измерений необходимо сделать ряд выводов:

1. Частотные свойства изоляции применяемого кабеля и кабельной линии имеют 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 возможна разработка технических решений, позволяющих ограничить высокочастотное воздействие, произвести модернизацию существующих либо изготовить вновь разработанные фильтры.