

А.В. Молодых, А.И. Старокожев

ПРОБЛЕМА «ДЛИННОГО КАБЕЛЯ» В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ И ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Рассмотрены проблемы электромагнитной совместимости, возникающие при эксплуатации частотно-регулируемого привода и подход к их решению.

Ключевые слова: электропривод, электромагнитная совместимость, частотное регулирование, широтно-импульсная модуляция, фильтр.

В настоящее время частотно-регулируемый асинхронный привод получил широкое распространение в различных отраслях промышленности, в том числе и горнодобывающей. Характерной особенностью систем распределения электроэнергии в данной отрасли является значительная длина питающих и распределительных электрических сетей, обусловленная расщеплением производственного оборудования по большой площади. В таких условиях длины кабелей, соединяющих источники электроэнергии (преобразователи частоты) с ее потребителями (двигателями переменного

тока, в большинстве случаев асинхронными) достигают нескольких сотен метров.

Подавляющее большинство современных преобразователей частоты (ПЧ), выпускаемых как зарубежными, так и отечественными производителями, структурно представляют собой автономный инвертор напряжения, на выходе которого формируется напряжение квазисинусоидальной формы методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Сложность процессов, протекающих в силовом канале частотно-регулируемого электропривода, диктует

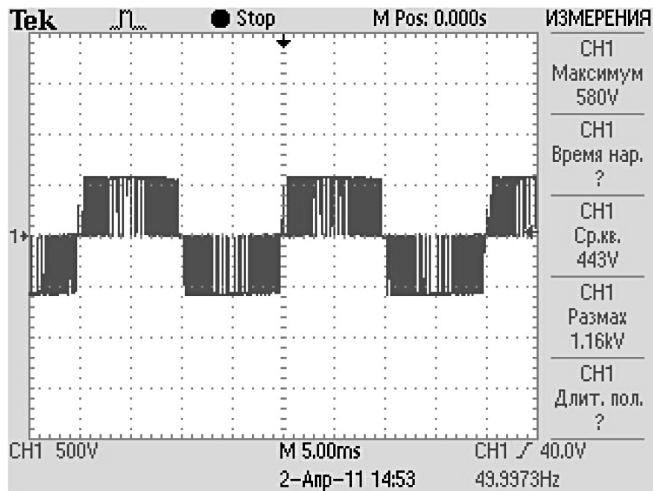


Рис. 1. Осциллограмма напряжения на выводах преобразователя частоты (частота ШИМ 16 кГц)

повышенные требования к его электромагнитной совместимости (ЭМС) с другим электрооборудованием, расположенным поблизости. В частности, одним из недостатков подобных систем, особенно при наличии кабелей значительной длины, соединяющих преобразователи частоты с двигателями, является то, что они являются достаточно мощными источниками электромагнитных помех, которые могут негативно влиять как на саму систему электропривода, так и на расположенное вблизи нее оборудование.

Для определения характера помех, возникающих в кабелях, а также факторов, влияющих на их возникновение и параметры, был проведен эксперимент, в ходе которого осциллографировались напряжения на выходных зажимах ПЧ, а также зажимах двигателя. Экспериментальная установка состояла из преобразователя частоты Toshiba и асинхронного двигателя МТФ 011-6У1, подключенного к преобразователю кабелем АВВГ-3х2,5 длиной 140 м.

На рис. 1 представлена осциллограмма напряжения на выходных зажимах ПЧ.

Видно, что выходное напряжение ПЧ представляет собой прямоугольные импульсы, следующие с высокой частотой (в данном опыте 16 кГц), при этом амплитуда импульсов превышает уровень амплитуды модулируемой синусоиды ($\sqrt{2} \cdot 380 \approx 537 \text{ В}$) не более, чем на 10%.

На рис. 2. представлена осциллограмма напряжения на выводах двигателя, подключенного к ПЧ кабелем длиной 140 м. Осциллограмма показывает наличие существенных по величине импульсов напряжения, амплитуда которых составляет 1060 В. Превышение амплитуды напряжения над ее нормальным значением при этом равно

$$\frac{1060}{\sqrt{2} \cdot 380} \approx 2,0$$

Воздействие перенапряжений двукратной величины оказывает негативное влияние на изоляцию как обмоток двигателя, так и кабеля, что приводит к ее преждевременному износу, который, в свою очередь, может привести к пробое изоляции и их выходу из строя.

Причиной возникновения рассмотренных импульсов является сложный переходный процесс, возникающий

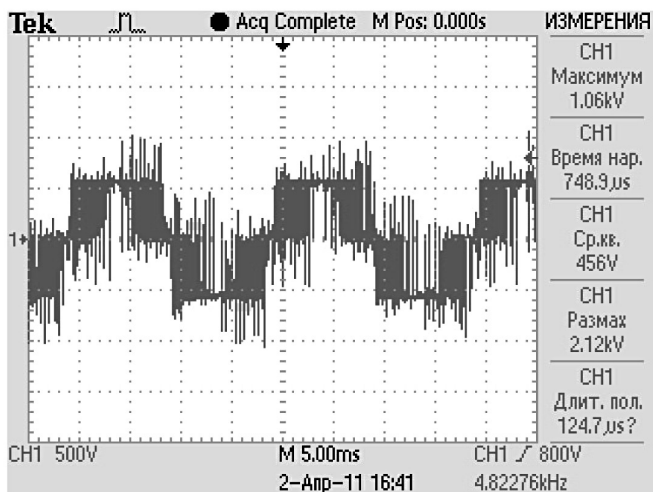


Рис. 2. Осциллограммы напряжения на зажимах двигателя (частота ШИМ 16 кГц, длина кабеля 140 м)

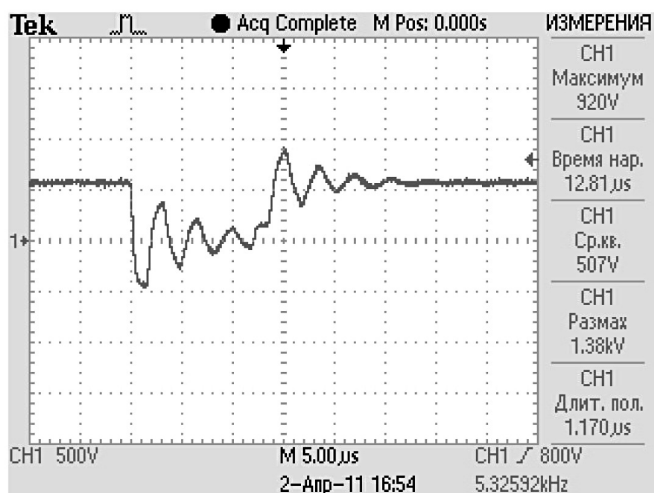


Рис. 3. Осциллограмма напряжения на зажимах двигателя (частота ШИМ 16 кГц, длина кабеля 140 м; увеличен масштаб по оси времени)

из-за наличия индуктивности и емкости кабеля, распределенных по его длине, который возбуждается импульсами напряжения различной полярности с фронтами короткой длительности (от долей до единиц микросекунд). На рис. 3 приведена осциллограмма напряжения на зажимах двигателя, снятая в увеличенном масштабе по временной оси, из которой видно, что частота колебаний напряжения составляет около 300 кГц.

Наличие высокочастотных составляющих в спектре питающего напряжения приводит к возникновению добавочных потерь в стали магнитопровода двигателя, что в свою очередь, приводит к его повышенному нагреву и необходимости снижения его полезной мощности. Кроме того, кабель (даже экранированный) представляет собой при наличии высокочастотных составляющих напряжения своего рода «антенну», излучающую в окружающее пространство электромагнитное поле значительной интенсивности, которое может негативно воздействовать как на информационный канал самого электропривода, так и на расположенное поблизости слаботочное оборудова-

ние систем промышленной автоматизации, вызывая ложные срабатывания или отказы датчиков, возникновение помех в информационных каналах и нарушения работы устройств управления.

Для приближения формы напряжения на выходе ПЧ к синусоидальной производителями (Siemens, Schaffner и другими) выпускаются различные фильтры, подключаемые к выходным клеммам ПЧ, среди которых наибольшее распространение получили дроссели и индуктивно-емкостные фильтры (синус-фильтры или фильтры du/dt) [1, 2].

Для оценки влияния фильтров различного типа на форму напряжения на зажимах двигателя были сняты осциллограммы напряжений при использовании дросселей (L-фильтров) и синус-фильтров (LC-фильтров).

На рис. 4 приведена осциллограмма напряжения на зажимах двигателя при использовании дросселя. Видно, что амплитуда пиков напряжения уменьшилась примерно в 1,4 раза, однако форма кривой далека от синусоидальной и содержит значительное количество высших гармоник.

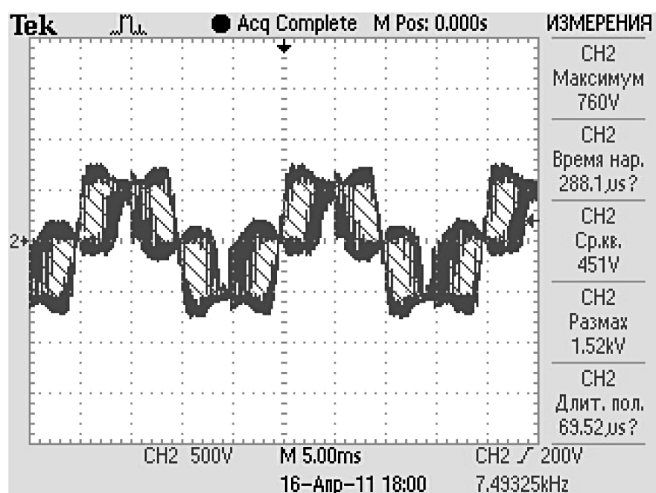


Рис. 4. Осциллограмма напряжения на зажимах двигателя (частота ШИМ 16 кГц, длина кабеля 140 м; к выходу ПЧ подключен дроссель)

Осциллограмма напряжения на зажимах двигателя, снятая при использовании синус-фильтра (рис. 5), показывает высокую степень подавления данным видом фильтров пиков напряжения, а также высших гармоник.

Анализируя полученные экспериментальные результаты, можно сделать вывод, что применение более дешевых дросселей может быть оправдано, когда необходимо только уменьшить

амплитуду импульсов напряжений на обмотках двигателя до нормально допустимых значений, и отсутствуют повышенные требования к подавлению индуцируемых помех. Напротив, при наличии вблизи системы ПЧ – кабель – асинхронный двигатель слаботоочного оборудования, на нормальную работу которого может оказывать негативное влияние наличие высших гармоник в спектре напряжения, следует отдавать

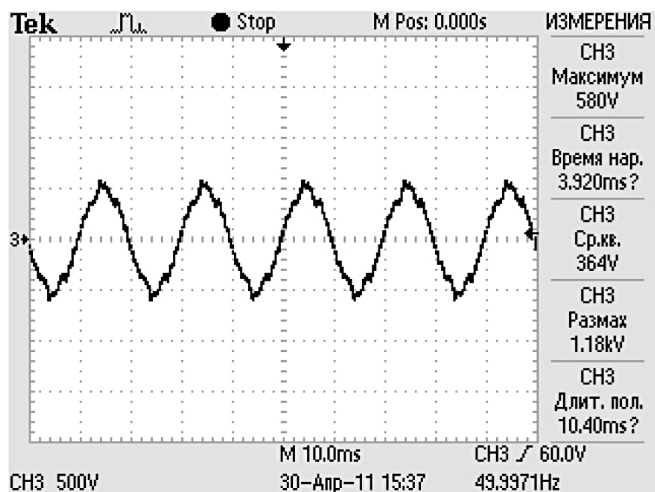


Рис. 5. Осциллограмма напряжения на зажимах двигателя (частота ШИМ 16 кГц, длина кабеля 140 м; к выходу ПЧ подключен синус-фильтр)

предпочтение синус-фильтрам, несмотря на их более высокую стоимость.

Следует отметить, что на данный момент отсутствует обоснованная методика выбора фильтров ЭМС, учитывающая весь комплекс факторов, влияющих на возникновение и параметры помех, таких как: длина кабеля, его тип и параметры, частота коммутации ключей инвертора, скорость отпирания и запираания его ключей и т.п. Практически единственным параметром, по которому производители фильтров ЭМС рекомендуют осуществлять их выбор, является номинальный ток двигателя.

В связи с этим задача разработки методики выбора типов фильтров ЭМС и их параметров является весьма актуальной. Данная задача должна

решаться с учетом таких влияющих факторов, как: длины кабеля, соединяющего двигатель с преобразователем частоты, его типа и условий прокладки, наличия (либо отсутствия) экрана; распределенного характера параметров кабельной линии; частоты ШИМ преобразователя и возможного диапазона ее изменения; крутизны фронта импульсов; наличия потерь мощности в кабеле, фильтре и двигателе и др.

Комплексный учет данных факторов позволит создать эффективный метод борьбы с нежелательными электромагнитными явлениями в силовом канале электропривода и повысить его электромагнитную совместимость с другим оборудованием по различным критериям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. MICROMASTER 420/430/440 Inverters 0.12 kW to 250 kW. Catalog DA 51.2 2007/2008. Siemens AG, 2007.

2. Basic in EMC / EMI and Power Quality. Introduction, Annotations, Applications. Schaffner, 2013. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Молодых Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: young_al@mail.ru,

Старокожев Александр Иванович – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: mail@aekc.ru,

Старооскольский технологический институт (филиал) НИТУ «МИСиС».

UDC 621.31:621.372.542

«LONG CABLE» PROBLEM IN VARIABLE FREQUENCY ELECTRIC DRIVES AND POSSIBLE WAYS TO SOLVE IT

Molodykh A.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: young_al@mail.ru,

Starokozhev A.I.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: mail@aekc.ru,

¹ Stary Oskol Technological Institute, National University of Science and Technology «MISIS» branch, 309530, Stary Oskol, Russia

The problem of electromagnetic compatibility of variable frequency drive is considered and the method to solve it is offered.

Key words: electric drive, electromagnetic compatibility, frequency regulation, pulse-width modulation, filter.

REFERENCES

1. MICROMASTER 420/430/440 Inverters 0.12 kW to 250 kW. Catalog DA 51.2 2007/2008. Siemens AG, 2007.

2. Basic in EMC / EMI and Power Quality. Introduction, Annotations, Applications. Schaffner, 2013.