

# Моделирование схем с высшими гармониками в среде MATLAB

В.С. Милых

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»  
Новосибирск, Россия

Энергоэффективность предприятий разных отраслей промышленности зависит от качественного электроснабжения. Действующие нормативно-правовые документы определяют требования к величине коэффициента искажения синусоидальной кривой напряжения и  $n$ -й гармонической составляющей напряжения.

Для исследования вопросов качества электроэнергии использовалось математическое моделирование в электронной среде Simulink системы MATLAB. Полученная модель позволяет оценить уровень высших гармонических составляющих (ВГС) и оптимальным образом подобрать системы компенсации ВГС. Использование полученной модели для проектирования позволит улучшить качество электроэнергии и, как следствие, повысить экономичность производственных процессов и срок службы некоторых видов оборудования.

*Ключевые слова:* высшие гармоники напряжения, качество электрической энергии, коэффициент искажения синусоидальности, фильтро-компенсирующее устройство.

## Modeling of scheme with higher harmonics in MATLAB

Vadim Milyh

Novosibirsk State Technical University  
Novosibirsk, Russian Federation

The energy efficiency of large industrial enterprises directly depends on the quality of power supply. Existing regulatory documents define the requirements for the value of the distortion coefficient of sinusoidal voltage waveform and value of coefficient of  $n^{\text{th}}$  harmonic.

Mathematical modeling in Simulink MATLAB was used to study the issues of power quality. The obtained model allows us to estimate the level of the higher harmonic components (HCV), and accordingly, the best way to choose the methods of compensation of HCV. The implementation of this method will help to improve the power quality.

*Keywords:* voltage higher harmonics, quality of electric energy, waveform distortion factor, filter-compensating device.

### I. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается повсеместное увеличение нелинейных нагрузок для сетей низкого и среднего напряжения. Рост мощности электроприемников с нелинейной характеристикой неизбежно приводит к повышению уровня высших гармоник (ВГ) в сети.

Во всем мире развиваются и совершенствуются методы контроля и управления показателями качества электроэнергии (ПКЭ). Нормативные документы в области регулирования и контроля ПКЭ постоянно обновляются [1].

Возрастающее количество приборов с нелинейной характеристикой связано с развитием производства современных силовых полупроводниковых элементов. Возможность их применения в различных преобразователях тока дало широкое распространение частотно-регулируемым двигателям. Частотно-регулируемые двигатели нашли применение во многих областях промышленности благодаря значительному снижению электропотребления и повышению энергоэффективности.

Исследование возможных уровней ВГ, возникающих при использовании частотных преобразователей (ЧП),

и их влияния на оборудование в существующих системах электроснабжения методами непосредственных замеров ПКЭ может быть осложнено множеством факторов. Разработка методик математического моделирования упростит анализ качества электроэнергии в различных инженерных системах.

Далее в работе на примере сети электроснабжения нефтедобывающей скважины разрабатывается математическая модель для изучения влияния ЧП на ПКЭ.

### II. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Истощение разрабатываемых нефтяных пластов требует применения новых энергоэффективных подходов и сокращения существующих потерь. Применение ЧП в системах нефтедобычи для электропривода установок электроцентробежных насосов позволяет улучшить энергетические показатели этих установок и добиться заданных режимов работы, но появление ВГ в этих сетях приводит к ускоренному старению или полному выходу из строя электрооборудования.

Типовая схема электрооборудования для разработки нефтяной скважины представлена на рисунке. Погружае-

мый модуль, в котором размещается погружной насос вместе с электродвигателем привода типа ПЭД, получает трехфазное питающее напряжение по кабельной линии КЛБП от повышающего трансформатора типа ТМПНГ. Напряжение, подаваемое на трансформатор, формируется двухступенчатым преобразователем, который входит в состав станции управления.

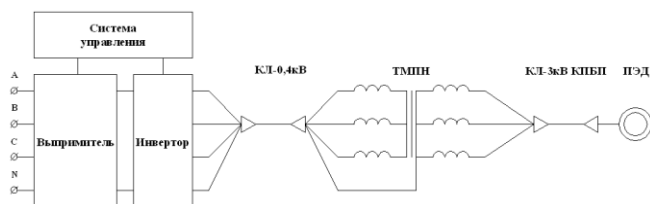


Схема электроснабжения скважины

Основным источником ВГ является двухступенчатый преобразователь тока, который состоит из выпрямителя и инвертора.

Для анализа ПКЭ в данной схеме выбираются следующие характерные точки:

- место присоединения станции управления к шинам подстанции (анализ искажения питающего напряжения);
- выходные зажимы станции управления (анализ формируемого напряжения и его влияния на повышающий трансформатор);
- вывода обмоток статора ПЭД (анализ питающего напряжения).

### III. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ В СРЕДЕ MATLAB

Для построения математической модели схемы электроснабжения скважины использовались стандартные функциональные блоки библиотеки SimPowerSystems программной среды Simulink MatLab.

Для реализации модели с помощью функциональных блоков был произведен расчет параметров всех элементов схемы. Некоторую сложность при расчете параметров погружных асинхронных двигателей представляет отсутствие справочных данных.

ЧП моделируется шестипульсным выпрямителем и двухуровневым автономным инвертором напряжения. Для управления инвертора используется широтно-импульсная модуляция.

Математическое моделирование проводилось для исследования установившихся режимов работы частотно-регулируемого привода и анализа влияния ВГ на форму

кривых напряжения в различных точках схемы при изменении мощности электропривода и отсутствии мер по ослаблению ВГ.

### IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВГ

Анализ результатов моделирования схемы показывает, что в точке присоединения станции управления к шинам 0,4 кВ значение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения не превышает установленное стандартом [1] предельно допустимое значение  $K_U = 12\%$ . Однако необходим дальнейший анализ работы сети с учетом всего оборудования подстанции, так как наличие ВГ в схеме с конденсаторными установками даже при нормально допустимых значениях  $K_U$  может привести к значительному сокращению их срока службы.

Наибольшее искажение синусоидальности напряжения, превышающее предельно допустимые нормы в несколько раз, наблюдается на выходе ЧП, такое влияние ВГ на повышающий трансформатор ТМПНГ является недопустимым, и требуются меры по ослаблению уровня ВГ.

Несколько лучше показания в точке присоединения двигателя, но значения  $K_U$  также существенно превышают предельно допустимые нормы, что может вызывать дополнительный нагрев двигателя, а основной причиной отказа погружных электродвигателей является их перегрев.

### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере схемы электроснабжения нефтедобывающей скважины выявлены недопустимые уровни ВГ при применении частотно-регулируемого привода. Сформулирован вывод о необходимости дальнейшей разработки математических моделей для улучшения качества электроэнергии.

Дальнейшее изучение позволит:

- разрабатывать более сложные модели, учитывающие совместное влияние нескольких ЧП на работу подстанционного оборудования, такого как батареи конденсаторов, силовые трансформаторы и т.п.;
- проводить анализ качества электроэнергии и делать вывод о необходимости применения фильтрокомпенсирующих устройств в данных сетях, а также выполнять правильный выбор параметров этих устройств.

### Список литературы

- [1] ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160:2010, NEQ). – Введ. 2014.07.01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.