

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ НАЛИЧИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С НЕЛИНЕЙНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Аннотация. Изучено влияние нагрузки на гармонический состав тока и напряжения в основной сети электроснабжения. Выявлены источники, которые вызывают искажение кривых тока и напряжения, и получены соответствующие гармонические спектры.

Ключевые слова: гармоника, нагрузка, трансформатор, сеть электроснабжения, MATLAB.

Abstract. The article deals with load influence on harmonious structure of current and voltage in the basic electrical network. The authors have discovered sources which cause distortion of curves of current and voltage, and obtained corresponding harmonious spectra.

Key words: harmonic, loading, transformer, electrical supply network, MATLAB.

Введение

В связи с переходом работы организаций, занимающихся производством и распределением электрической энергии, на коммерческую основу актуальной становится проблема определения качества электрической энергии. Электрическая энергия, являющаяся товаром, имеет свои показатели качества.

Качество электрической энергии зависит не только от производителя, но и от параметров потребителей электрической энергии. Негативное влияние на качество электрической энергии оказывают потребители с нелинейной характеристикой. Именно нелинейность нагрузки приводит к возникновению гармонических искажений напряжения сети. Практически речь идет об искажении формы и, как следствие, гармонического состава напряжения не только на зажимах потребителя, но и всей сети электроснабжения.

1. Влияние нелинейной нагрузки на качество электрической энергии

Исследуем влияние параметров нагрузки на такой параметр качества электрической энергии, как гармонический состав напряжения.

В большинстве случаев потребители электрической энергии имеют нелинейную вольт-амперную характеристику. Одними из таких потребителей являются мощные тяговые электровозы переменного тока. Рассмотрим их влияние на гармонический состав тока и напряжения сети электроснабжения.

Пусть сеть электроснабжения состоит из магистральной линии и трансформаторной подстанции (ТП), которая обеспечивает электрической энергией двух потребителей, получающих энергию по двум линиям (рис. 1). При этом один из потребителей (П1) является линейным и может быть представлен в схеме замещения в форме активного сопротивления и индуктивности. Этот потребитель получает питание по воздушной линии (ВЛ) большой протяженности ($l = 100$ км). Вторым потребителем является выпрямительная

установка, питающая двигатель постоянного тока (П2), подключенная к той же подстанции.

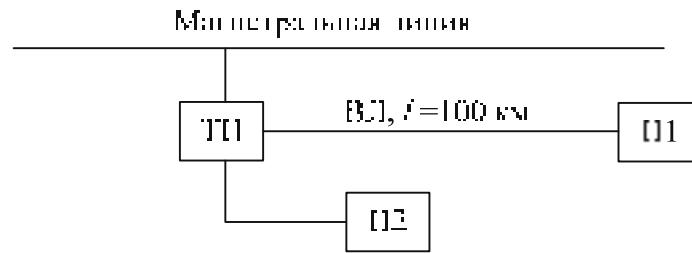


Рис. 1. Структурная схема системы электроснабжения

В схеме замещения (рис. 2) магистральная линия представлена в качестве источника переменного напряжения (E) с некоторым внутренним сопротивлением (L_B, R_B). К источнику подключен силовой трансформатор ($T1$) тяговой подстанции. Силовой трансформатор через контактную сеть (L_K, R_K) питает трансформатор электровоза ($T2$) переменного тока. Через трансформатор электровоза питается каскад выпрямителей ($VD1-4$) и нагрузка в виде двигателя постоянного тока (M). Также к источнику подключена линия с распределенными параметрами (R, L, G, B), которая питает потребителя с линейной нагрузкой (L_H, R_H).

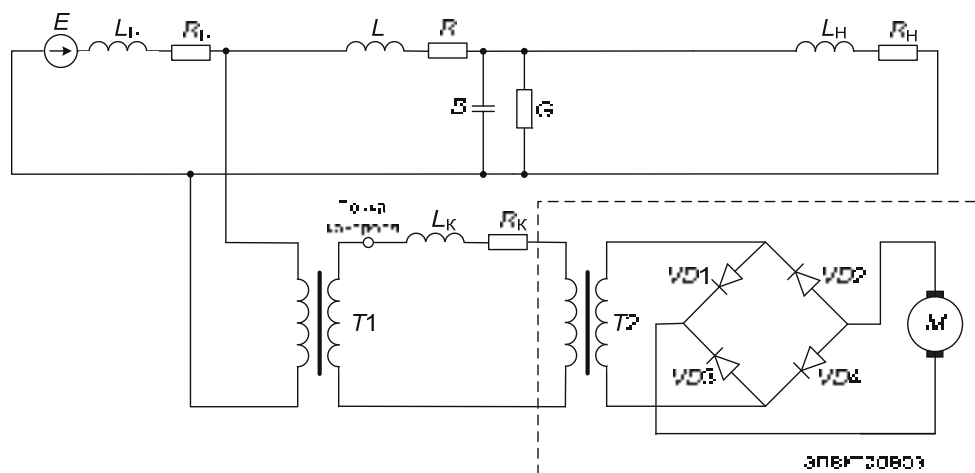


Рис. 2. Схема замещения системы электроснабжения

Для анализа процессов, происходящих в данной системе электроснабжения, в соответствии со схемой замещения, авторами разработана модель в среде MATLAB (рис. 3).

В модели E – источник напряжения; Z_B – внутреннее сопротивление источника; $T_{П}$ – трансформатор тяговой подстанции переменного тока; T_1 и T_2 – силовые трансформаторы электровозов,двигающихся по разным путям двухпутного участка железной дороги; Z_{35} – сопротивление потребителя, подключенного на напряжение 35 кВ; Z_1 и Z_2 – сопротивления участков контактной сети от тяговой подстанции до электровозов,двигающихся соответственно по

первому и второму пути двухпутного участка; $D1-D8$ – диоды мостовых схем электровозов переменного тока; K_1 и K_2 – ключи, определяющие моменты прохождения электровозов вблизи тяговой подстанции, соответственно для первого и второго путей двухпутного участка; RL – линия с распределенными параметрами; Z_H – сопротивление нагрузки, подключенной к длинной линии; M_1 и M_2 – первые двигатели постоянного тока каскадов двигателей электровозов (в модели по 8 двигателей для каждого электровоза).

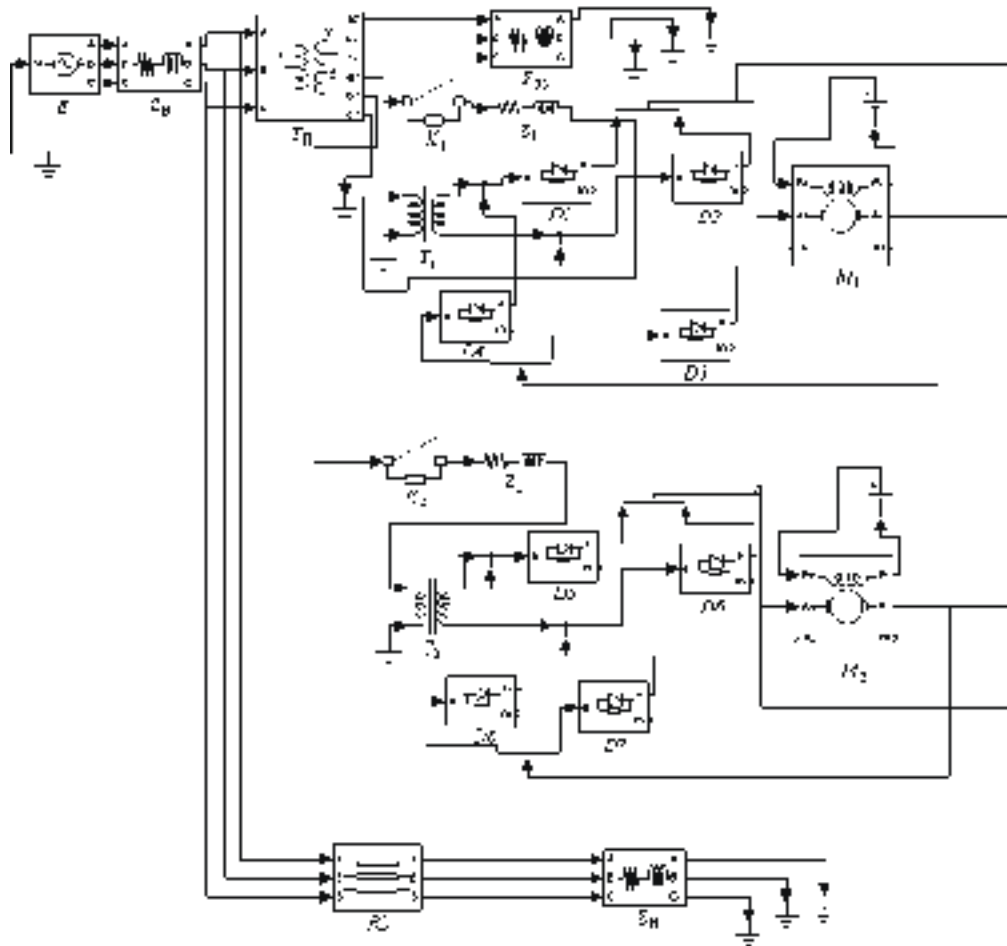


Рис. 3. Модель в среде MATLAB

Параметры элементов модели определены путем вычисления их по паспортным значениям параметров электроустановок, используемых в реальных системах электроснабжения [1]. Параметры сопротивлений Z_B , Z_{35} , Z_H определены исходя из режима ночных минимумов нагрузки, когда из-за снижения нагрузки увеличивается напряжение на ней.

Рассмотрим случай, когда интервал времени между моментами включения ключей K_1 и K_2 минимален. Таким образом, получаем наиболее тяжелый режим с точки зрения гармонических искажений. Спектральная характеристика напряжения, построенная по результатам моделирования для данного случая, представлена на рис. 4.

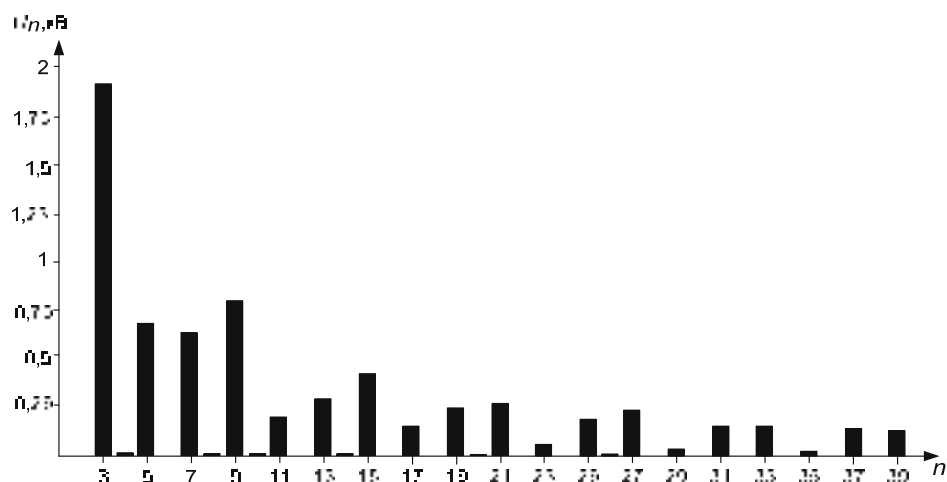


Рис. 4. Гармонический состав напряжения 27,5 кВ тяговой подстанции переменного тока по результатам моделирования

2. Измерение гармонического состава напряжения на тяге переменного тока в реальных условиях

Результаты исследований получены как моделированием, так и измерением показателей качества электрической энергии в реальных условиях.

Измерения проводились по методике в соответствии с ГОСТ Р 53333–2008. В качестве контрольной точки выбрана вторая обмотка напряжением 27,5 кВ силового трансформатора тяговой подстанции (рис. 2). Спектральная характеристика напряжения, построенная по результатам измерений, представлена на рис. 5.

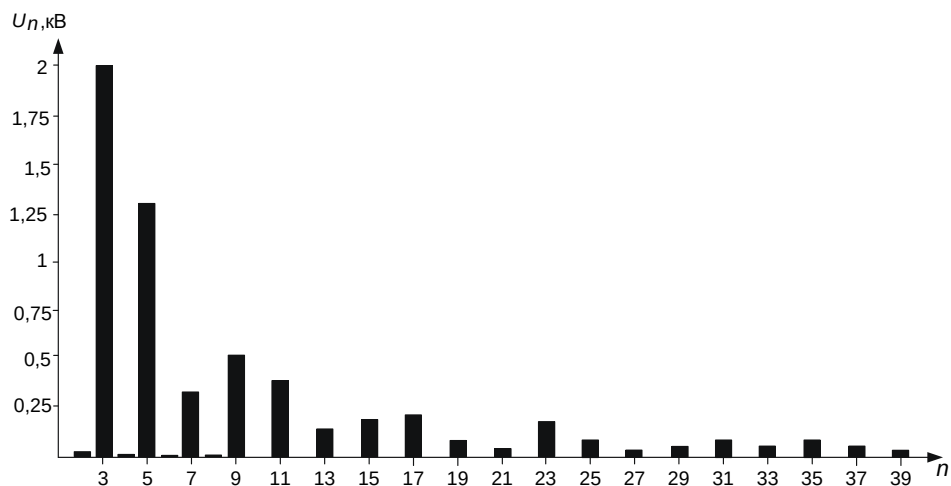


Рис. 5. Гармонический состав напряжения 27,5 кВ тяговой подстанции переменного тока по данным измерений

Коэффициент искажения синусоидальности напряжения, полученный по результатам измерений в реальных условиях, составляет 9,17 %. Тот же коэффициент, полученный путем моделирования системы, равен 9,08 %. Та-