

*Авербух М. А., д-р техн. наук, проф.,
Кузнецов В. А., д-р техн. наук, проф.,
Коржов Д. Н., аспирант,
Коробкин А. А., аспирант,
Лимаров Д. С., аспирант*

Белгородский государственный технический университет им. В.Г Шухова

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

avers45@rambler.ru

Использование регулируемых электроприводов на базе полупроводниковых преобразователей создает сложности при обеспечении электромагнитной совместимости привода с сетью и наоборот. При этом ухудшаются показатели качества электроэнергии и возрастают потери энергии в сети из-за значительного потребления реактивной мощности.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, электромагнитная совместимость, активный фильтр, нечеткая логика, коэффициент несинусоидальности.

На современных предприятиях применяются различные регулируемые привода, изменение координат которых, производится путем преобразования электрической энергии. С этой целью используются статические преобразователи частоты, регуляторы напряжения, управляемые и неуправляемые выпрямители. Для пуска и торможения нерегулируемого асинхронных и синхронных электродвигателей применяются системы плавного пуска на базе тиристорных регуляторов напряжения. Воздействие статических полупроводниковых преобразователей (ПП) на электрическую сеть и электрооборудование проявляется в генерировании в сеть высших гармоник напряжения и тока различной физической природы и потреблении из сети дополнительной реактивной мощности [1, 6].

Основной особенностью построения схем электроснабжения промышленных предприятий является наличие потребителей с различными графиками нагрузок, которые накладываются друг на друга на шинах цеховых подстанций, образуя участки с преобладанием переходных режимов. Длительность этих участков может составлять от 10% до 50% от общей продолжительности работы в одном цикле. В этих режимах происходит значительное снижение коэффициентов мощности, полезного действия и повышенное потребление реактивной мощности. В качестве примера на рис.1,2 представлены графики суммарных токов на шинах подстанции за минуту и получасовой нагрузки.

Как видно из нагрузочных характеристик, включение одного, из перечисленных электроприводов, может происходить в момент разгона, установившегося режима, а также торможения других.

Определить показатели качества электроэнергии, характеризующие электромагнитную совместимость (ЭМС), аналитическим путем

весьма сложная задача. Существующие методы расчетов направлены на определение коэффициента искажения синусоидальности могут быть разделены на два класса [2]:

- основанные на расчете коэффициента искажения синусоидальности по результатам предварительного определения значений гармонических составляющих на базе экспериментальных осциллограмм напряжения и тока;

- непосредственное определение коэффициента искажения синусоидальности без предварительного гармонического анализа. К этому классу относятся графический и вероятностный методы анализа.

Однако перечисленные методы анализа применимы для статического (установившегося) режима работы электроприводов. В случае переходных процессов произвести расчет перечисленными методами не представляется возможным. Даже в статических режимах анализ коэффициента искажения синусоидальности напряжений или токов перечисленными методами дает погрешность, достигающую 20% и более процентов [2]. Кроме того, при составлении схем замещения электрических сетей промышленных предприятий приходится использовать ряд допущений для определения электрических параметров. В противном случае расчетные соотношения настолько усложняются, что теряется физический смысл задачи и вычислительная погрешность может превысить погрешность от принятых первоначальных упрощений и допущений. Основной проблемой при определении параметров электрической сети является построение адекватной расчетной модели.

В подобных случаях наиболее целесообразно воспользоваться такими методами, которые специально ориентированы на построение моделей, учитывающих неполноту и неточность исходных данных [3].

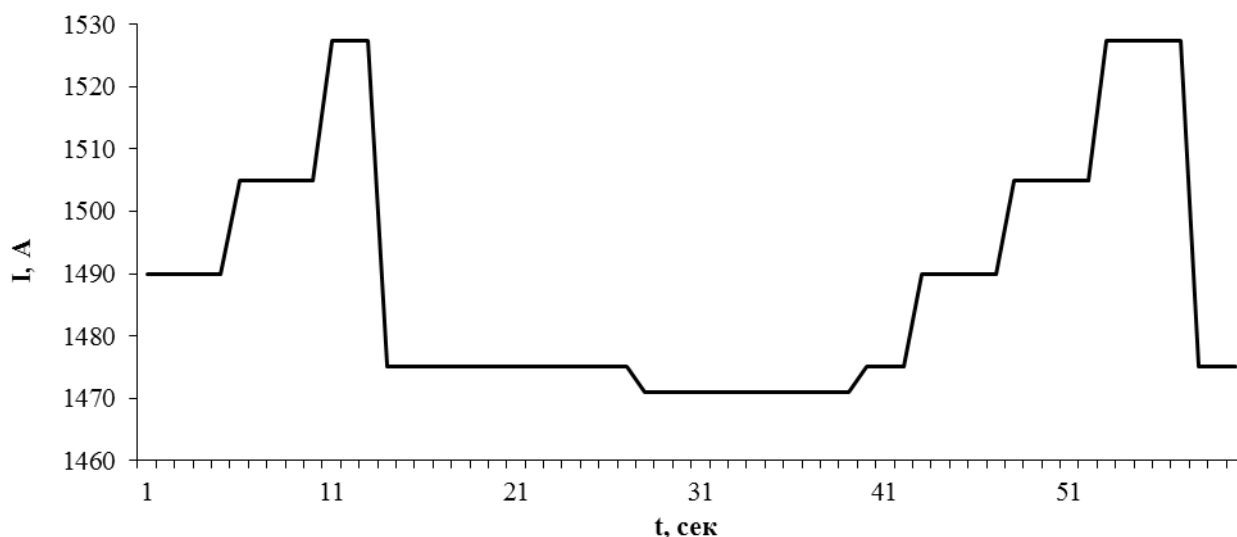


Рис. 1. График нагрузки за минуту

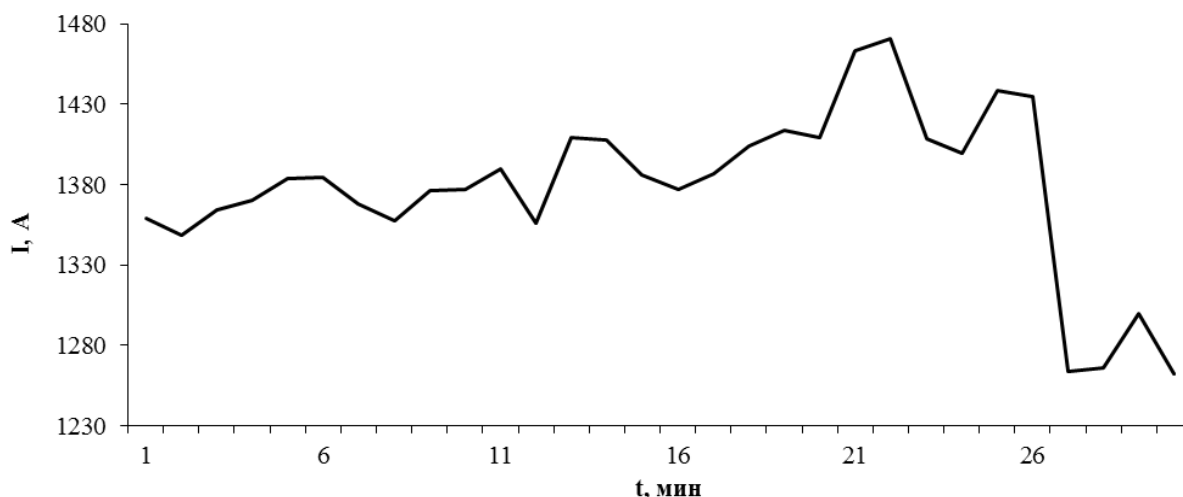


Рис. 2. График получасовой нагрузки

В области управления техническими системами нечеткое моделирование позволяет получать более адекватные результаты по сравнению с результатами, которые основываются на использовании традиционных аналитических моделей и алгоритмов управления [4]. В общем случае под нечеткой моделью понимается информационно-логическая модель ЭМС, как объекта исследования, построенная на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики. При этом нечеткое моделирование ЭМС может быть представлено выполнением следующих этапов:

- анализ факторов, создающих проблемную ситуацию при определении параметров электрической сети;
- структуризация проблемной ситуации и построение нечеткой модели;
- выполнение вычислительных экспериментов с нечеткой моделью;
- применение результатов вычислительных экспериментов;
- коррекция или доработка нечеткой модели.

Расчет основных параметров, характеризующих ЭМС, произведем на основе выполнения основных этапов нечеткой логики [4].

Для формирования базы правил систем нечеткого вывода в качестве входных лингвистических переменных будем использовать нагрузочный ток двигателя: β_1 – «нагрузочный ток» и β_2 – «режим работы». В качестве выходной лингвистической переменной будем использовать: β_3 – «коэффициент несинусоидальности».

Лингвистическую переменную «нагрузочный ток» опишем пятью лингвистическими термами: «очень маленький» (NB), «маленький» (NM), «средний» (PS), «большой» (PM) и «очень большой» (PB), а так же зададим соответствующие функции принадлежности (ФП) (рис.3).

Лингвистическую переменную «режимы работы электропривода – рабочего механизма (режим)» опишем шестью лингвистическими термами. За основу берется нагрузочная диаграмма рабочего механизма «очень низкий» (NB), «низкий» (NM), «малый» (NS), «средний» (PS), «большой» (PM), «очень большой» (PB), и

также зададим соответствующие функции принадлежности (рис.4).

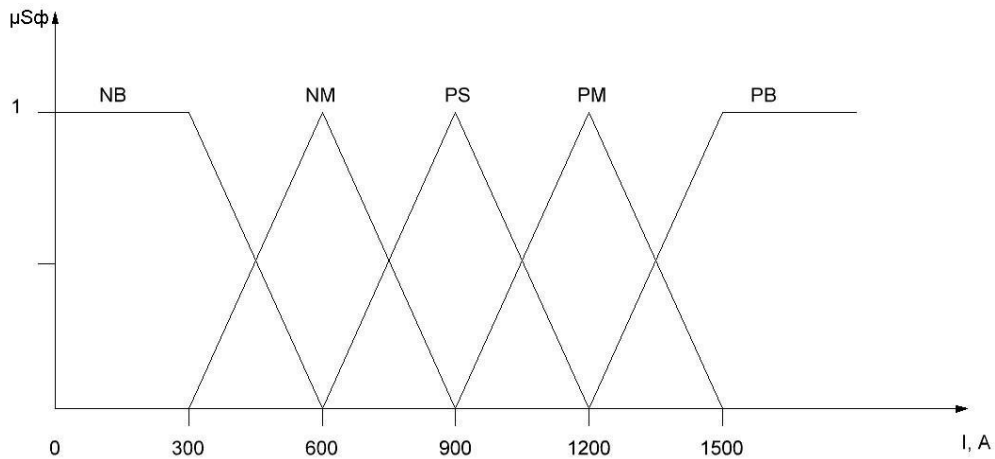


Рис. 3. ФП, характеризующие пять значений лингвистической переменной «нагрузочный ток»

Лингвистическую переменную: «коэффициент искажения синусоидальности (искажение)» опишем шестью лингвистическими терминами. При этом за основу взяты стандартные значения: «очень малый» (NB), «малый» (NM),

«невысокий» (NS), «средний» (PS), «высокий» (PM) и «очень высокой» (PB), а также зададим соответствующие функции принадлежности (рис.5).

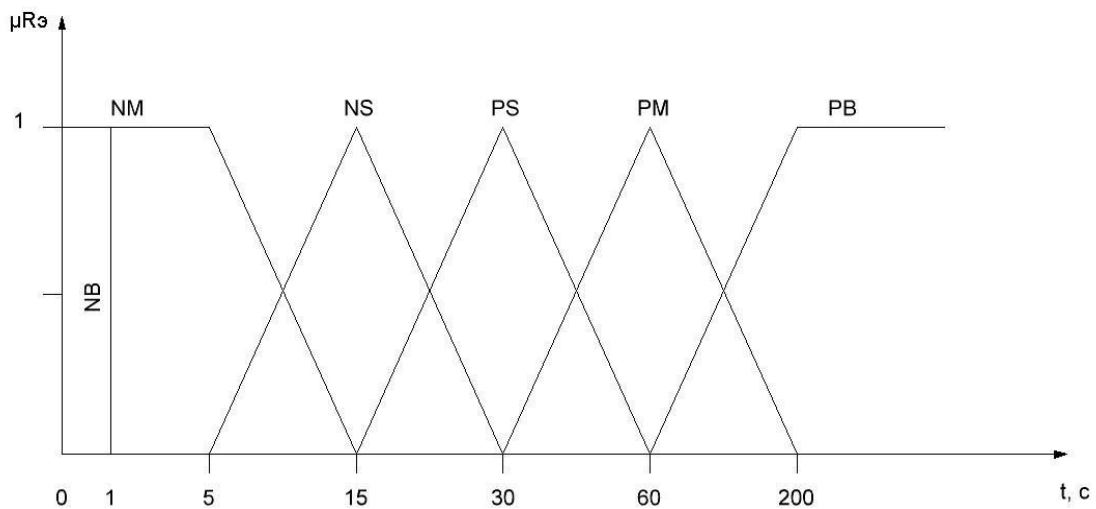


Рис. 4. ФП, характеризующие шесть значений лингвистической переменной «режим»

Здесь $\mu S\phi$, μr , μR – функции принадлежности соответственно для лингвистических пере-

менных «нагрузочный ток», «режим», «искажение».

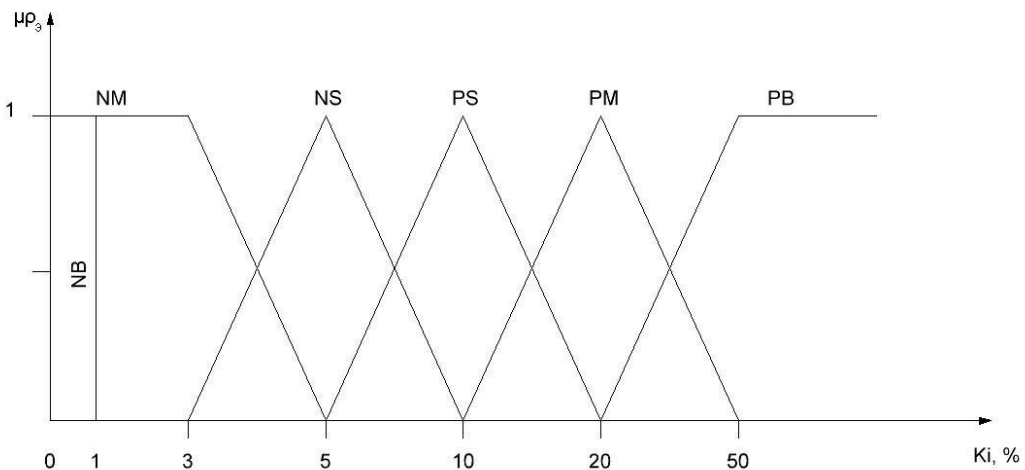


Рис. 5. ФП, характеризующие шесть значений лингвистической переменной «искажение»

В качестве примера сформируем базу правил систем нечеткого вывода, которая содержит 10 правил нечетких продукций следующего вида:

ПРАВИЛО_1: ЕСЛИ « β_1 есть NB» И « β_2 есть NB» то « β_3 есть PS» (F_1)

ПРАВИЛО_2: ЕСЛИ « β_1 есть NM» И « β_2 есть NB» то « β_3 есть NS» (F_2)

ПРАВИЛО_3: ЕСЛИ « β_1 есть PS» И « β_2 есть NB» то « β_3 есть NM» (F_3)

ПРАВИЛО_4: ЕСЛИ « β_1 есть PM» И « β_2 есть NB» то « β_3 есть NB» (F_4)

ПРАВИЛО_5: ЕСЛИ « β_1 есть PB» И « β_2 есть NB» то « β_3 есть NB» (F_5)

ПРАВИЛО_6: ЕСЛИ « β_1 есть NB» И « β_2 есть NM» то « β_3 есть PM» (F_6)

ПРАВИЛО_7: ЕСЛИ « β_1 есть NM» И « β_2 есть NM» то « β_3 есть PS» (F_7)

ПРАВИЛО_8: ЕСЛИ « β_1 есть PS» И « β_2 есть NM» то « β_3 есть NS» (F_8)

ПРАВИЛО_9: ЕСЛИ « β_1 есть PM» И « β_2 есть NM» то « β_3 есть NM» (F_9)

ПРАВИЛО_10: ЕСЛИ « β_1 есть PB» И « β_2 есть NM» то « β_3 есть NB» (F_{10})

Здесь через $F(i = 1, 2, \dots, n)$ обозначены коэффициенты определенности или весовые коэффициенты соответствующих правил.

Этапы нечеткого вывода могут быть реализованы неоднозначным образом, поскольку включают в себя отдельные параметры, которые должны быть фиксированы или специфицированы. Формирования поверхности нечеткого вывода для разработанной нечеткой модели «искажение» произведено в системе MATLAB, используя алгоритм Мамдани.

Последовательность алгоритма сводится к выполнению основных этапов нечеткой логики: агрегирование подусловий в нечетких правилах продукции осуществляется с помощью парных нечетких логических операций; активизация подзаклучений; аккумуляция заключений не-

четких правил продукции осуществляется для объединения нечетких множеств, соответствующих термам подзаклучений; дефаззификация выходных переменных осуществляется на основании методов центра тяжести или центра площади.

В качестве примера расчет коэффициента искажения проведен для электропривода подъема мостового крана. При ускорении электропривода в режиме холостого хода при нагрузочном токе $I_n = 5A$, режим от 1 до 3с, коэффициент искажения составил 19%.

В электрических сетях промышленных предприятий с мощными статическими преобразователями применяются два способа обеспечения ЭМС. Первый основан на увеличении фазности преобразователей. Второй на использовании сетевых фильтров. В зависимости от особенностей применения и для решения различных электрических проблем активные фильтры имеют следующие основные варианты исполнения: параллельного типа, последовательного, параллельно – последовательного типа [5].

Активный параллельный фильтр электроэнергии (АПФЭ) с системой контроля постоянного напряжения на обкладках накопительной ёмкости имеет топологию, похожую на статический компенсатор (СТАТКОМ), используемый для компенсации реактивной мощности в силовых передающих системах электроснабжения. Но, в отличие от СТАТКОМ – а, АПФЭ компенсирует гармонический ток нагрузки, инжектируя ток гармонической компенсации. В этом случае АПФЭ работает как источник тока, выдающий гармонические составляющие, равные по величине, вырабатываемые нагрузкой, но сдвинутые относительно них по фазе на 180° .

Выбор типа активного фильтра для улучшения качества электроэнергии зависит от источника проблем и может определяться в соответствии табл. 1

Таблица 1

Тип АФ	Источник проблем	
	Влияние потребителя на питающую сеть	Влияние питающей сети на потребителя
параллельный	гармонические токи; реактивный ток; дисбаланс токов; эффект фликера	
последовательный		Провалы/скачки напряжения; дисбаланс напряжений; искажения напряжений; помехи напряжений
последовательно - параллельный	гармонические токи; реактивный ток; дисбаланс токов; эффект фликера; дисбаланс напряжений	Провалы/скачки напряжения; дисбаланс напряжений; искажения напряжений; помехи напряжений; «зазубрины» напряжения

В представленной статье для минимизации действия гармонических составляющих на питающую сеть и компенсацию реактивной мощности предложено установить АПФЭ на шинах РП. Выбор мощности АПФЭ произведен в соответствии реальной преобразовательной нагрузки на шинах 0,4 кВ узла потребления.

К установке принят параллельный активный фильтр фирмы «TOSHIBA». Технические характеристики представлены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование величины	Значение
Номинальная мощность, кВА	100
Номинальное напряжение, В	380
Колебание напряжения	$\pm 10\%$
Номинальная частота, Гц	50
Диапазон колебания частоты	$\pm 0,2\%$
Компенсация гармоник	80%
Время отклика	Около 1 мс

Сигнал управления активным фильтром формирует система управления, построенная с применением фаззи-регулятора. Определение сигнала управления в этой системе осуществляется на основании алгоритма фаззи-управления.

Принцип алгоритма фаззи-управления основан на своде нечетких правил преобразования токов нагрузки и напряжения сети в термы активной и реактивной мощностей. Затем через эти термы определяются суммарные искажения и далее эти искажения при помощи обратного преобразования переводятся в реальные сигналы управления АПФЭ. Получаемые сигналы управления активным фильтром, учитывают искажения формы токов нагрузки, фазу токов нагрузки относительно напряжения сети и несимметрию трёхфазных токов нагрузки.

Таким образом, можно сделать выводы:

1. Особенности нагрузочных диаграмм потребителей цеховых подстанций промышленных предприятий приносят большую долю неста-

ционарных режимов, связанных с различными характеристиками нагрузок отдельных потребителей. При этом электропривод с полупроводниковыми преобразователями генерирует высшие гармоники в сеть, превосходящие допустимые значения показателей качества напряжения.

2. Использование нечетких множеств и нечеткой логики для анализа ЭМС, позволяет строить модели, которые наиболее адекватно отражают различные аспекты неопределенности, постоянно присутствующие при определении параметров, характеризующих ЭМС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. М.: Изд. Энергоатомиздат, 2000. 186 с.

2. Кубацкий В.Г. Контроль несинусоидальности напряжения в электрических сетях // Электричество. 1991. №6. С. 17-22.

3. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Изд. Наука, 1981. 208 с.

4. Анализ показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студентов электроэнергет. и электромехан. специальностей вузов / А. А. Виноградов, О. Г. Гриб, О. Н. Довгалюк, С. В. Килин, С. А. Духанин, М. Ю. Михайлова, М. Н. Нестеров, А. М. Нестеров, А. В. Сапрыка, В. А. Сапрыка ; БГТУ им. В. Г. Шухова. - Электрон. текстовые дан. - Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2012.

5. Энергетика и энергоэффективные технологии [Электронный ресурс] : межвуз. сб. ст. : вып. 1. ч. 1 / редкол. М. Н. Нестеров, А. А. Виноградов, М. А. Авербух, И. А. Щербинин, Д. А. Прасол, О. А. Щербинина ; общ. ред. М. Н. Нестерова. - Электрон. текстовые дан. - Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2012.

6. Килин С. В., Духанин С.А. Проблемы высших гармонических составляющих и способы их решения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. №2. С. 141-145.