Забродина Ольга Борисовна
кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Электроэнергетика и теплоэнергетика»
Азово-Черноморского инженерного института –
филиалаФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
zernob@yandex.ru

Панченко Иван Сергеевич
студент магистратуры Азово-Черноморского инженерного института –
филиалаФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
ivan.panchenko.20@mail.ru

Проценко Юлия Викторовна
студент бакалавриата Азово-Черноморского инженерного института –
филиалаФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
procenko.yulechka03@mail.ru

О модели однофазного нелинейного электроприемника

Аннотация.Рассмотрены вопросы, связанные с созданием модели однофазного приемника электрической энергии.Приведена схема замещения приемника электрической энергии. Параметры схемы замещения предложено получать путем анализа экспериментально полученных мгновенных значений токов и напряжений в виде гармонического ряда. Приведен алгоритм расчета параметров схемы замещения.
Ключевые слова: электрическая энергия, приемник электрической энергии, схема замещения, модель, параметр, алгоритм расчета.

Zabrodina Olga B.
Panchenko Ivan S.
Protsenko Julia V.

About the model of a single-phase nonlinear electric receiver

Abstract.The issues related to the creation of a model of a single-phase electric energy receiver are considered. The replacement circuit of the electric energy receiver is given. It is proposed to obtain the parameters of the substitution circuit by analyzing experimentally obtained instantaneous values of currents and voltages in the form of a harmonic series. An algorithm for calculating the parameters of the substitution scheme is given.
Key words: electric energy, electric energy receiver, replacement circuit, model, parameter, calculation algorithm.

Проблема несинусоидальности напряжений и токов в сетях 380/220 В еще не решена. Наличие высших гармоник приводит ко многим негативным последствиям, в числе которых дополнительные потери электрической энергии, сокращение сроков службы электрического оборудования, проводов и кабелей, ложные срабатывания защит от сверхтоков [1–3].

В промышленной электроэнергетике при наличии мощных нелинейных приемников электрической энергии (далее «приемников») для подавления высших гармонических составляющих применяют фильтры и компенсаторы, выпускаемые промышленностью [1;5–6]. Выбор этих устройств определяет известный режим работы конкретного приемника.

Иначе обстоит дело в коммунально-бытовых сетях. Особенностью таких сетей является невозможность предсказания закона изменения мгновенной мощности в сети, поскольку неизвестно количество одновременно подключенных приемников в узлах нагрузки, их мощность и характер нагрузки [2–8].

Очевидно, что устройства для подавления высших гармоник в таких сетях должны отслеживать во времени происходящие изменения мгновенной мощности, определяемой произведением мгновенных значений токов и напряжений, и вносить изменения в свои параметры.

Для создания таких устройств нужно иметь адекватные модели узлов нагрузки сети 380/220 В, позволяющие на компьютере без проведения экспериментов проанализировать гармонический состав токов и напряжений для любого варианта подключения приемников электрической энергии, в том числе и нелинейных.

Для достижения цели использовали метод параметрической идентификации.

В коммунально-бытовых сетях большинство узлов нагрузки однофазные, содержащие некоторое количество приёмников различной мощности [3–4;7–8].Для получения модели узла нагрузки следует сначала изучить характеристики отдельных приемников, то есть получить модели, адекватно их описывающие.

Предварительные исследования некоторых приёмников [7–8]. показали, что можно каждый их них представить в виде схемы замещения, приведенной на рисунке 1, а компьютерную модель схемой на рисунке 2.Приемник электрической энергии относительно источника питания имеет линейную часть и совокупность источников тока различной частоты.

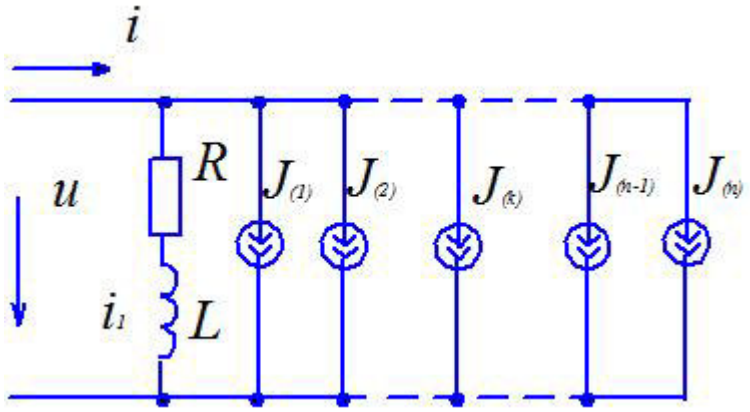


Рисунок 1 – Схема замещения приёмника электрической энергии

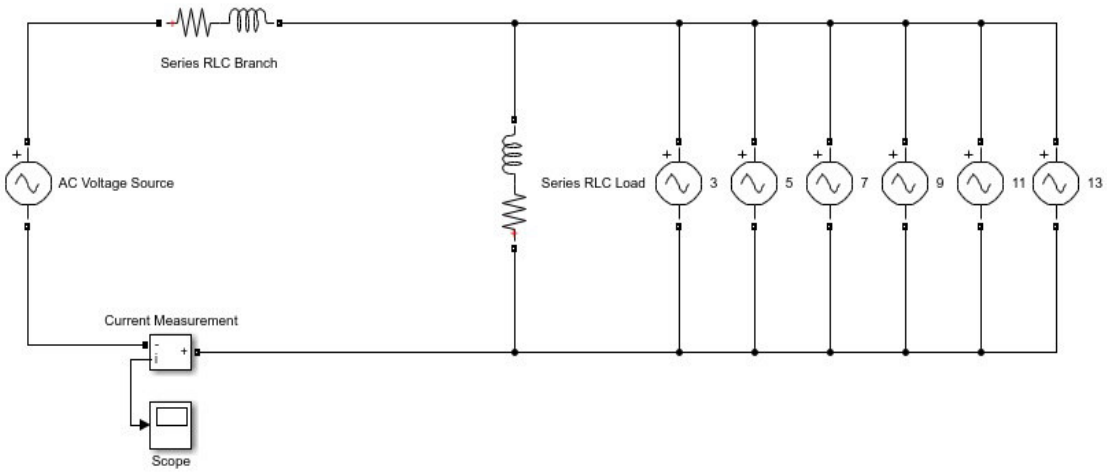


Рисунок 2 – Компьютерная модель приемника электрической энергии

Параметры схемы замещения следует представлять в виде их статистических оценок, полученных при анализе экспериментальных данных с помощью анализаторов качества электрической энергии.

Для этого для каждого приемника нужно получить мгновенные значения токов и напряжений и разложить их в гармонические ряды [7, 8, 9] вида

$$u = \sqrt{2}U_{(1)}\sin\left(\omega t + \psi_{\mathrm{u}(1)}\right) + \sqrt{2}U_{(2)}\sin\left(2\omega t + \psi_{\mathrm{u}(2)}\right) + \sqrt{2}U_{(3)}\sin\left(3\omega t + \psi_{\mathrm{u}(3)}\right) + \cdots + \sqrt{2}U_{(k)}\sin\left(k\omega t + \psi_{\mathrm{u(k)}}\right);$$

$$i = \sqrt{2}I_{(1)}\sin\left(\omega t + \psi_{\mathrm{i}(1)}\right) + \sqrt{2}I_{(2)}\sin\left(2\omega t + \psi_{\mathrm{i}(2)}\right) + \sqrt{2}I_{(3)}\sin\left(3\omega t + \psi_{\mathrm{i}(3)}\right) + \cdots + \sqrt{2}I_{(k)}\sin\left(k\omega t + \psi_{\mathrm{i(k)}}\right) + \cdots + \sqrt{2}I_{(n)}\sin\left(n\omega t + \psi_{\mathrm{i(n)}}\right),$$

где k – порядковый номер гармоники;

n – наибольший номер гармоники;

u и i – мгновенные значения напряжения и тока на входе схемы замещения;

$U_{(k)}$ и $I_{(k)}$ – действующие значения напряжения и тока k-ой гармоники;

$\Psi_{u(k)}$ и $\Psi_{i(k)}$ – начальные фазы k-х гармоник напряжений и токов.

Параметры схемы замещения R, L, $J_{(k)}$ можно вычислить, воспользовавшись алгоритмом, приведенным на рисунке 3.

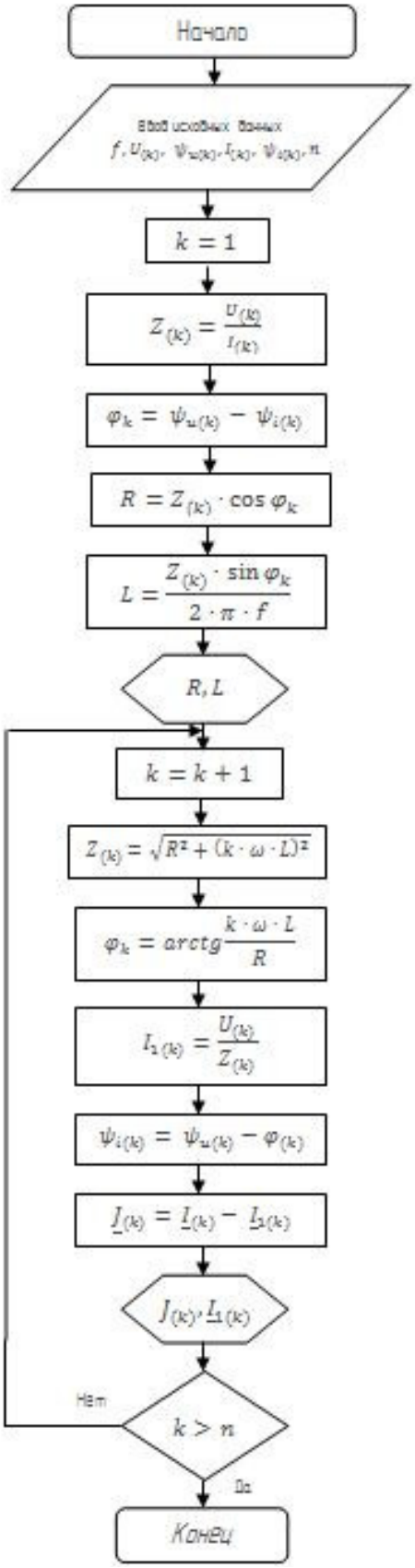


Рисунок 3 – Алгоритм вычисления параметров схемы замещения приемника электрической энергии

Расчет ведется согласно государственному стандарту [10] до сороковой гармоники включительно или до любого числа гармоник *n*, указываемого при вводе исходных данных. Результаты расчета фиксируются в памяти компьютера.

Итак, в работе представлена схема замещения однофазного нелинейного приемника, генерирующего в сеть высшие гармоники. Представление каждого приемника в виде схемы замещения с известными параметрами можно использовать для получения модели узла нагрузки и для последующего обоснования параметров адаптивного устройства для подавления высших гармоник в сети напряжением 380/220 В.

Литература и источники

1. Гливенко Р.Д., Бахуревич Е.Н., Жижко А.И., Логачева О.В., Лошкарева О.В. Снижение влияния высших гармонических составляющих // Актуальные проблемы энергетики АПК: мат. X междунар. науч.-практ. конф. / Под общ.ред. В.А. Трушкина.– Саратов: ЦеСАин, 2019. – С. 52-56.

2. Yundin M.A., Yudaev I.V., Rud E.V., Ponomarenko T.Z.,Isupova A.M. Analysis of the harmonic composition of current in the zero-working wire at the input of the load node with the prevailing non-linear power consumers //Archives of Electrical Engineering. – 2021. – Т. 70. – № 2. – P.463-473.

3. Юндин М.А., Исупова А.М., Пономаренко Т.З. О токах нечетных гармоник на вводе 0,4 кВ силового трансформатора 10/0,4 кВ // Оперативное управление в электроэнергетике: подготовка персонала и поддержание его квалификации. – 2021. – № 4. – С.5-11.

4. Ханин Ю.И., Юндин М.А. Исследование динамики тока третьей гармоники в нулевом проводе сельской коммунально-бытовой сети 0,38 кВ // Разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий и устройств: сб. ст.V междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2014. – С. 26-28.

5. Юндин М.А., Кобзистый О.В. Комбинированное компенсирующее устройство нареактивных элементах // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – № 54. – С. 46-50.

6. Ханин Ю.И., Юндин М.А., Барыкина Е.Н. Устройство для снижения тока в нулевом проводе четырехпроводной сети / Патент на полезную модель RUS 161057 02.12.2015.

7. Забродина О.Б., Коваленко А.Д., Шот И.В. Влияние ноутбуков различных производителей на искажение токов и напряжений узла нагрузки 0,22 кВ // Актуальные проблемы энергетики АПК: мат. X междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. В.А. Трушкина.– Саратов: ЦеСАин, 2019. – С. 271-275.

8. Забродина О.Б., Коваленко А.Д., Шот И.В. Результаты исследования вклада микроволновых печей в несинусоидальность токов и напряжений коммунально-бытового узла нагрузки 0,22 кВ// Актуальные проблемы энергетики АПК: мат. X междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. В.А. Трушкина.– Саратов: ЦеСАин, 2019. – С. 276-279.

9. Цырук С.А., Янченко С.А. Моделирование гармонического состава входного тока светодиодных светильников // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: сб. мат. XI междунар. науч.-практ. конф. / Под.ред. В.А. Голенкова, А.Н. Качанова, Ю.С. Степанова. – Орёл: Госуниверситет – УНПК, 2013. – С.103-106.

10. ГОСТ 32144-2013.Электрическая энергия. Совместимость технических-средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – URL: https://electromontaj-proekt.ru/data/documents/gost-32144-2013.pdf.