

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ РЕЗКОПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКЕ, С ПОМОЩЬЮ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Черепанов В.В.¹, Басманов В.Г.¹, Бакшаева Н.С.¹, Ожегов А.Н.¹, Калинина Е.А.¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вятский государственный университет», г. Киров, Россия (610000, Киров, ул. Московская, 36), e-mail: kaf_eps@vyatsu.ru.

Данная статья посвящена исследованию влияния резкопеременной нагрузки на параметры качества электроэнергии. При работе электроприемников с «искажающей» нагрузкой возникают активные потери в сети. Существует несколько способов снижения возникающих потерь. В данной статье рассмотрен способ снижения потерь с помощью компенсации. При резкопеременной нагрузке необходимо применять продольную компенсацию. На базе полученных данных была написана программа, позволяющая определять параметры колебания напряжения и рассчитывать уменьшение потерь электроэнергии от применения продольной компенсации. Программа позволяет определить параметры колебания напряжения в расчетной точке в нескольких режимах. Первый режим – на основе проведенных измерений и расчетной модели. Второй режим – подключение одного или нескольких дополнительных электроприемников с «искажающей» нагрузкой. Третий режим – при использовании устройств продольной компенсации.

Ключевые слова: колебания напряжения, электроприемник, резкопеременная нагрузка, потери электроэнергии, продольная компенсация.

REDUCING LOSSES RESULTING FROM VARIABLE LOAD USING SERIES COMPENSATION

Cherepanov V.V.¹, Basmanov V. G.¹, Bakshaeva N.S.¹, Ojegov A.N.¹, Kalinina E.A.¹

¹Federal State budget institution of higher education "Vyatka State University", Kirov, Russia (610000, Kirov, Moskovskaya Street, 36), e-mail: kaf_eps@vyatsu.ru.

This article is devoted to research of influence of rapidly alternating load of parameters of quality of the electric power. During the operation of electroreceivers with "distorting" loading there are active losses in a network. There are some ways of decrease in arising losses. In this article the way of decrease in losses by means of compensation is considered. At rapidly alternating loading necessary to apply longitudinal compensation. On the basis of the obtained data the program, allowing to determine parameters of fluctuation of tension and to count reduction of losses of the electric power from application of longitudinal compensation was written. The program allows to determine parameters of fluctuation of tension in a settlement point in several modes. The first mode – on the basis of the carried-out measurements and settlement model. The second mode – connection of one or several additional elektropri-emnik with "distorting" loading. The third mode – when using devices of longitudinal compensation.

Keywords: voltage fluctuations, power-consuming equipment, variable load, power losses, the longitudinal compensation.

На современных промышленных предприятиях постоянно увеличивается число резкопеременных нагрузок: дуговых и индукционных печей, электросварочных машин, пилорам, козловых и мостовых кранов. Резкопеременная нагрузка характеризуется резкими набросами и провалами мощности или тока, что оказывает существенное влияние на качество электроэнергии. Изменения параметров электрической сети, мощности и характера нагрузки во времени являются основной причиной изменения показателей качества электрической энергии (ПКЭ).

Показатели качества электроэнергии нормируются государственным стандартом ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Стандарт определяет требования к качеству электрической энергии, питающей электроприемники, что является одним из главных условий нормальной работы электроприемников. Каждый электроприемник предназначен для работы при определенных параметрах электрической энергии: номинальных частоте, напряжении, токе и т.п. Таким образом, качество электрической энергии определяется совокупностью ее характеристик, при которых электроприемники могут нормально работать и выполнять заложенные в них функции.

Работа электроприемников с резкопеременной нагрузкой приводит к ухудшению показателя качества электроэнергии «колебания напряжения». Отклонения ПКЭ от нормируемых значений ухудшают условия эксплуатации электрооборудования энергоснабжающих организаций и потребителей электроэнергии, могут привести к значительным убыткам [1], [2], [3], [5].

К колебаниям напряжения относятся быстрые изменения действующего значения напряжения, происходящие со скоростью 1-2% в секунду и более.

Колебания напряжения характеризуются следующими показателями:

- размахом изменения напряжения;
- дозой фликера.

Колебания, вызванные одним источником в составе промышленной нагрузки, воздействуют на большое число потребителей. Работа «искажающего» оборудования может вызывать колебания от продолжительных до очень редких. В связи с широким диапазоном изменения сопротивления питающих сетей общего назначения, условия работы оборудования существенно различаются в зависимости от места его присоединения к сети [8].

При резких изменениях нагрузки происходит резкое изменение параметров потребителей электрической энергии. Это приводит к увеличению суммарных активных потерь в сети.

К числу потребителей электрической энергии чрезвычайно чувствительных к колебаниям напряжения относятся осветительные приборы, особенно лампы накаливания и электронная техника [6].

Колебания напряжения вызывают мигание ламп накаливания (фликер эффект), это вызывает утомление органов зрения и организма в целом. Это ведет к снижению производительности труда, а в ряде случаев и к травматизму.

Колебания напряжения нарушают нормальную работу и уменьшают срок службы электронной аппаратуры: устройств телефонно-телеграфной связи, теле-, радио-, приемо-передающей аппаратуры, офисной и бытовой техники.

При значительных колебаниях напряжения могут быть нарушены условия нормальной работы электродвигателей, возможно отпадание контактов магнитных пускателей с соответствующим отключением работающих двигателей.

Колебания напряжения с размахом (10 ... 15) % могут привести к выходу из строя конденсаторных батарей, а также вентильных преобразователей. Колебания амплитуды и фазы напряжения вызывают колебания электромагнитного момента, активной и реактивной мощностей синхронных генераторов предприятий, а это сказывается на экономичности работы станции. Колебания фазы напряжения вызывают вибрации электродвигателей, механических конструкций и трубопроводной арматуры. В последнем случае снижается усталостная прочность металла, сокращается срок его службы.

В ходе работ по исследованию влияния резкопеременной нагрузки производственных потребителей на параметры качества электроэнергии в электрических сетях с целью разработки рекомендаций о допустимости совместного питания производственных потребителей со спокойной нагрузкой и источников колебаний были выполнены экспериментальные исследования режимов электропотребления резкопеременных нагрузок на шинах 0,4 кВ трансформаторных подстанции. Также была поставлена задача изучить влияние резкопеременной нагрузки характерных производств и отдельных электроприемников на параметры качества электроэнергии в различных точках электрической сети [7].

В ходе исследований было установлено, что работа потребителей с резкопеременной нагрузкой приводит к появлению установившихся значений напряжения и колебаний напряжений. Дополнительные отклонения напряжения определяются в том числе полными потерями, возникающими при транспортировке резкопеременной нагрузки.

Математическая модель потерь электроэнергии в электрической сети, питающей потребителя с резкопеременным характером нагрузки источника колебания (ИК), имеет вид:

$$\Delta W_{\text{зод}} = \frac{T_{24} \cdot T_{365}}{T_{\text{ц}}} \cdot \Delta W_{\text{ц}}, \quad (1)$$

где $\Delta W_{\text{ц}}$ – потери электроэнергии за цикл,

$T_{\text{ц}}$ – длительность цикла,

T_{24} – число часов работы ИК в рабочие сутки,

T_{365} – число рабочих суток в году.

Снижение полных потерь электроэнергии имеет как экономическое (уменьшение платы за электроэнергию), так и техническое значение (улучшение параметров качества электроэнергии). Одним из способов уменьшения потерь является применение компенсации реактивной мощности. Традиционно применяются два вида компенсации:

- поперечная компенсация;
- продольная компенсация реактивной мощности.

Поперечная компенсация нашла широкое применение, поскольку позволяет:

- уменьшить потери мощности при сохранении величины передаваемой мощности;
- увеличить пропускную способность сети;
- повысить передаваемую мощность.

Поперечная компенсация не влияет на колебания напряжения.

В присутствии колебаний напряжения применяется продольная компенсация реактивной мощности. Главное её назначение – частичная компенсация индуктивного сопротивления участков электрической цепи для уменьшения потери напряжения в них.

Потери напряжения после продольной компенсации рассчитываются по формуле:

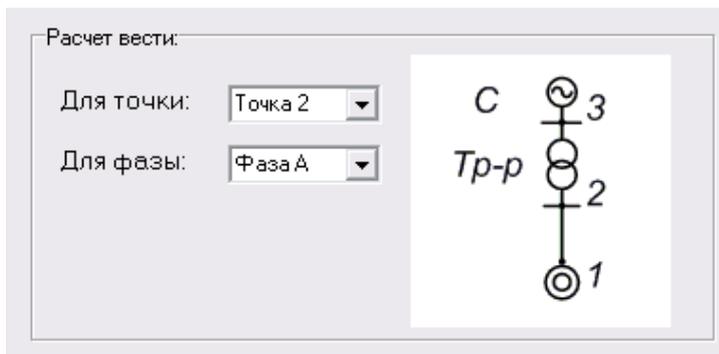
$$\Delta U_2 = \frac{P \cdot R + Q \cdot (X - X_{БК})}{U}. \quad (2)$$

Достоинством устройств продольной компенсации является способность стабилизации напряжения и уменьшение потерь электроэнергии, появляющихся при резкопеременной нагрузке.

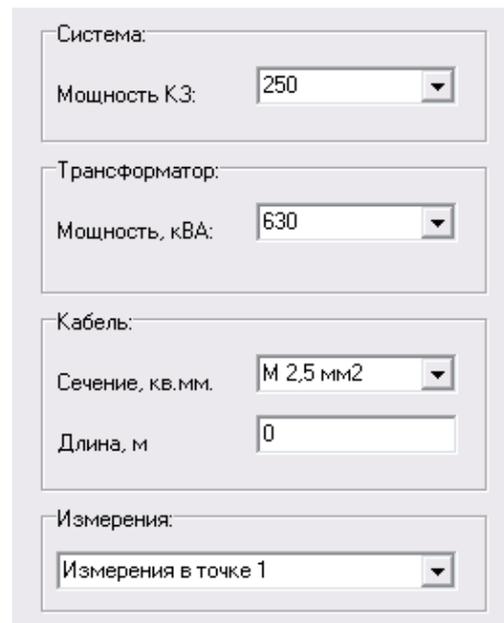
Поскольку расчеты параметров режимов в присутствии резкопеременных нагрузок связаны с обработкой большого количества данных, проведение таких расчетов вручную затруднительно.

Для проведения расчетов была создана программа на основе алгоритма [9]. Программа определяет параметры колебания напряжения и рассчитать уменьшение потерь электроэнергии от применения продольной компенсации.

В программе задана стандартная схема (рисунок 1 А), в которой выделено три характерные точки 1,2 и 3. В этих точках может быть проведено измерение и проведен расчет. Точка 1 – на напряжении 0,4 кВ расположена у потребителя, питающегося через кабельную линию и являющегося источником колебаний; точка 2 – точка 0,4 кВ на шинах трансформаторной подстанции; точка 3 – точка 10(6) кВ на шинах высшего напряжения трансформаторной подстанции. Также можно выбрать фазу, по которой производить расчет.



А)



Б)

Рисунок 1 - Расчетная схема

Программа позволяет определить параметры колебания напряжения в расчетной точке в нескольких режимах:

- как есть (на основе проведенных измерений и расчетной модели);
- при подключении одного или нескольких дополнительных электроприемников с резкопеременной нагрузкой;
- при подключении устройства продольной компенсации.

Исходными данными для работы программы являются:

- результаты измерений токов, напряжений, мощностей по каждой фазе, проведенных с периодом измерений 1 сек или менее на шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции (точка 2 на рисунке 1А) или в точке предполагаемого подключения электроприемника с резкопеременной нагрузкой (точка 3 на рисунке 1А).
- характерные графики электроприемников с резкопеременной нагрузкой, которые предполагается подключить.
- схема и параметры сети (рисунок 1Б), питающей резкопеременную нагрузку (параметры кабеля, питающего трансформаторную подстанцию, параметры трансформатора, параметры системы).

Программа считывает результаты измерений из файла Microsoft Excel в формате отчета прибора «Ресурс –UF- 2 М» без дополнительных преобразований.

В ходе расчета пользователь может установить следующие параметры, влияющие на расчет:

- фазу, по которой проводится расчет;
- точку схемы, где проводились измерения (точки 1,2 или 3 на рисунке 1А);

- точку схемы, где будет проводиться расчет (точки 1,2 или 3 на рисунке 1А);
- мощность устройства продольной компенсации;
- количество интервалов диаграммы;
- границы интервалов (автоматический или ручной режим).

Результатами работы программы являются:

- диаграмма распределения колебаний напряжения;
- табличное представление параметров для каждого интервала диаграммы с указанием интервалов, где отмечено превышение допустимого уровня по ГОСТ 13109-97.
- потери электроэнергии за цикл, за год.

Для определения влияния электроприемников с резкопеременной нагрузкой, которые предполагается подключить, в программе организована база данных графиков характерных электроприемников (ГХЭП), таких как прессы, краны, пилорамы. Для каждого электроприемника с резкопеременной нагрузкой в базе данных содержится один замер токов, напряжений и мощностей для каждой фазы. ГХЭП разделены на группы, имеется возможность удалять и добавлять новые данные.

Общий вид вкладки «Исходные данные» приведен на рисунке 2.

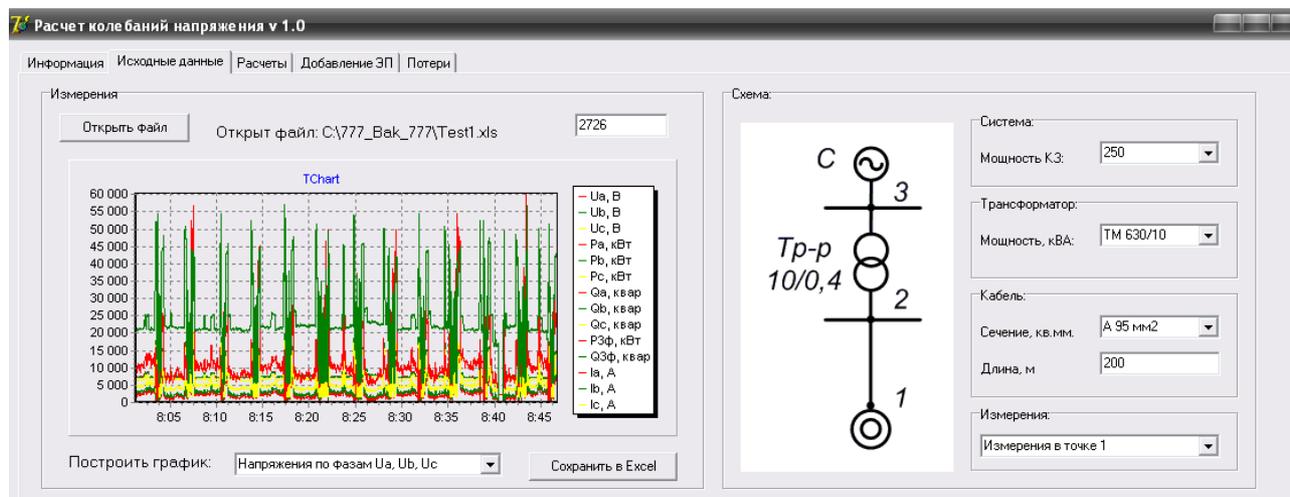


Рисунок 2 – Вкладка «Исходные данные»

На основании загруженных данных измерений на вкладке строятся следующие графики:

- напряжения по фазам;
- активные мощности по фазам;
- реактивные мощности по фазам;
- активная трехфазная и реактивная трехфазная мощность по фазам;
- ток по фазам.

На рисунке 3 приведена вкладка «Расчеты» с результатами расчета параметров колебания напряжения.

На рисунке 4 представлена вкладка «Потери», где можно определить потери электроэнергии, в том числе с применением продольной компенсации.

Базу данных характерных электроприемников с резкопеременной нагрузкой можно пополнять (рисунок 5) и выбирать для расчета несколько электроприемников, суммарное действие которых предполагается оценить.

Учитывая гибкость разработанного алгоритма, программа может быть в дальнейшем использоваться как часть системы разработки энергосберегающих мероприятий [4].

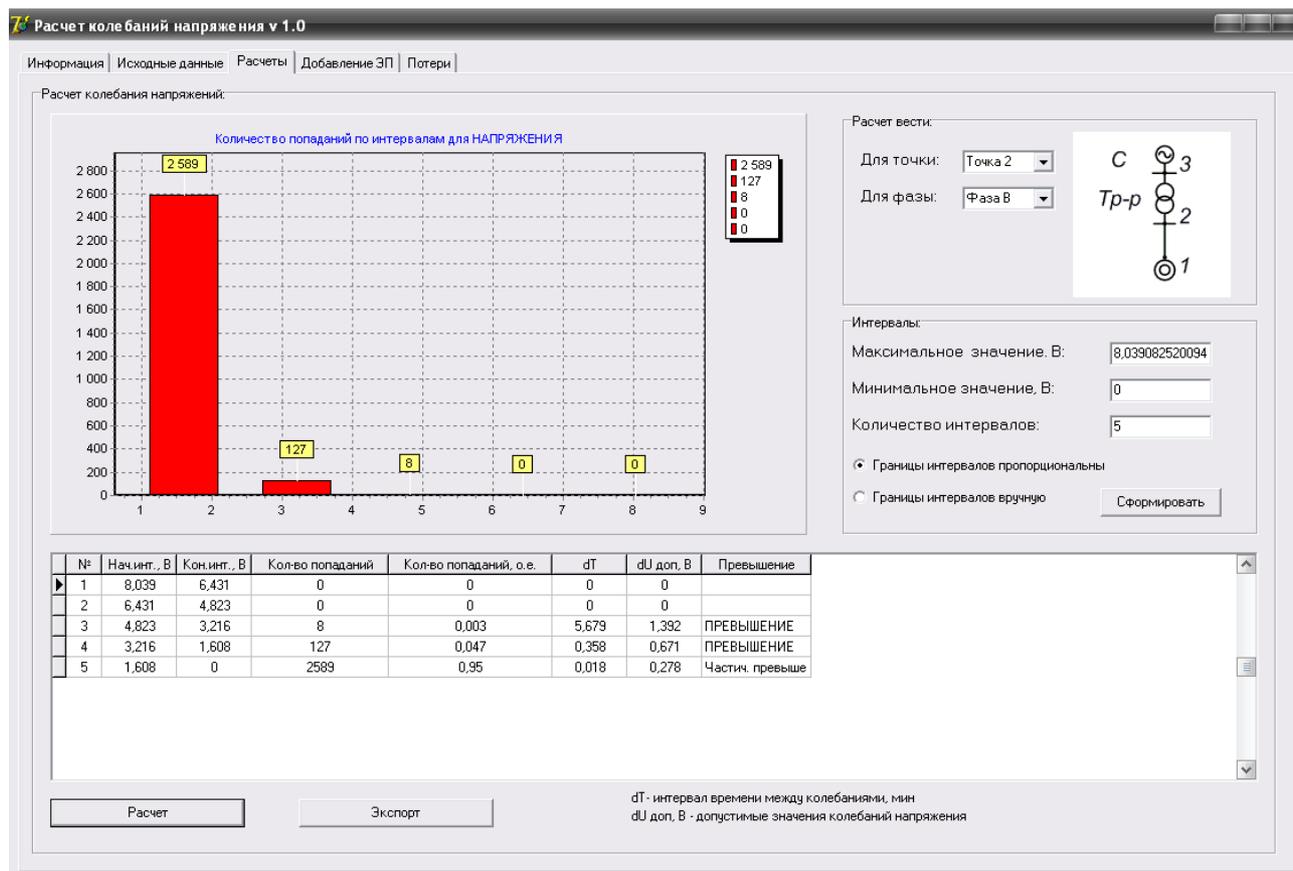


Рисунок 3 – Вкладка «Расчеты»

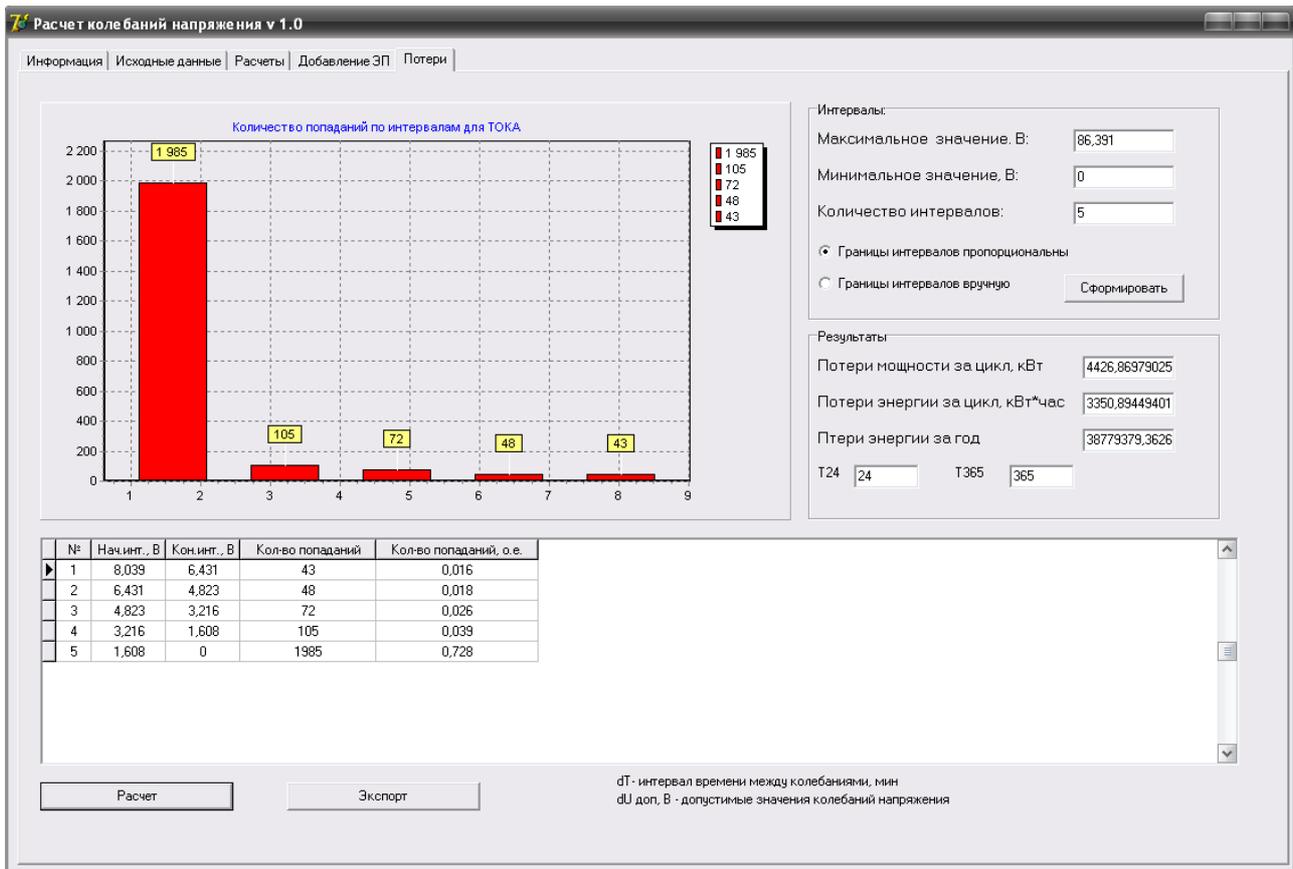


Рисунок 4 – Вкладка «Потери»

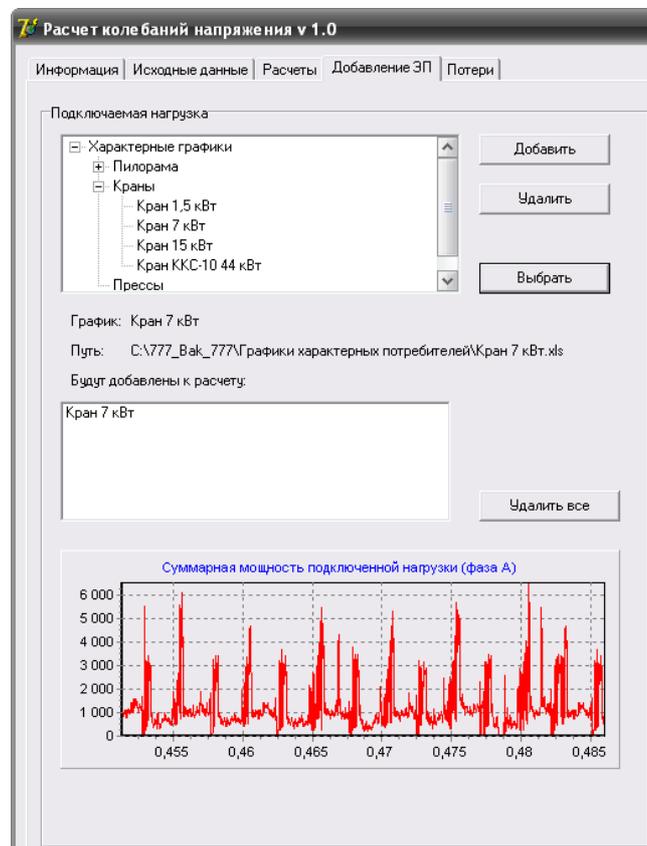


Рисунок 5 – Вкладка «Добавление ЭП»

В результате проведенной работы можно сделать следующие выводы:

Колебания напряжения, возникающие при резкопеременной нагрузке, создают негативное влияние на оборудование, а также способствуют появлению суммарных активных потерь электрической энергии. Снизить потери можно различными способами. В данном случае применяется компенсация реактивной мощности. Существует два вида компенсации: поперечная и продольная. В сетях, где присутствуют колебания напряжения, наиболее эффективно применение продольной компенсации.

Для обработки снятых опытным путем данных была написана программа, позволяющая производить расчеты потерь электроэнергии за цикл, за год. С помощью программы возможно оценить эффект от установки продольной компенсации реактивной мощности. Также программа позволяет строить диаграммы распределения колебаний напряжения и в табличном виде представлять параметры для каждого интервала диаграммы с указанием интервалов, где отмечено превышение допустимого уровня по ГОСТ 13109-97.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.1504.

Список литературы

1. Бакшаева Н.С. Исследование возможности совместного питания коммунально-бытовых потребителей с резкопеременными нагрузками характерных производств лесопильных цехов // Электрика. – №7. Издательство ООО «Наука и технологии», 2012 г. – С. 4-10.
2. Бакшаева Н.С. Исследование колебаний напряжения на различных уровнях систем электроснабжения, создаваемых при работе резкопеременных нагрузок лесоперерабатывающего производства. // Электрика. – №8. Издательство ООО «Наука и технологии», 2012 г. – С.17-21.
3. Бакшаева Н.С. Разработка методики оценки характера колебаний напряжения на различных уровнях систем электроснабжения// Международный научно-исследовательский журнал RESEARCH JOURNAL OF INTERNATIONAL STUDIES – 2013. - №6-1. – С.35-36.
4. Басманов В.Г., Порошин Д.А., Ожегов А.Н. О причинах необходимости создания системы автоматизированной разработки энергосберегающих мероприятий // Современные проблемы науки и образования. Пенза. – 2013. – № 1. – С.141-141.
5. Басманов В.Г., Порошин Д.А. Разработка оптимальной системы управления генерацией и потреблением реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий с целью снижения потерь электроэнергии при транспортировке, распределении и по-

требления // Энергобезопасность и энергосбережение. Издание Московского института Энергобезопасности и энергосбережения. Москва. –2013. - № 1. – С. 19-22.

6 Бессолицын А.В., Бакшаева Н.С., Вотинцев А.В., Калинина Е.А. Влияние силового оборудования на изменение колебаний напряжения в системе электроснабжения. // Перспективы науки. – №11(38). Издание Межрегиональная общественная организация и Фонд развития науки и культуры. – Тамбов, 2012 г. – С.109-117.

7. Бессолицын А.В., Бакшаева Н.С., Вотинцев А.В., Калинина Е.А. Экспериментальные исследования резкопеременной нагрузки на шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции, питающей источник колебаний и коммунально-бытовые потребители. // Энергобезопасность и энергосбережение. Издание Московского института Энергобезопасности и энергосбережения. -№ 6-2012. – Москва. – С.40-45.

8 О необходимости создания регуляторов реактивной мощности с использованием прогнозирования // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. Издательство: Казанский государственный энергетический университет (Казань). Казань. – 2006. - №11-12. – С.38-40.

9. Ожегов А.Н., Бардыш Д.Н. Об алгоритме программы для определения возможности подключения электроприемника с резкопеременным характером нагрузки к понизительной подстанции // Международный научно-исследовательский журнал Research journal of international studies – 2013. - №6-1. – С. 78-79.

Рецензенты:

Красных А.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электротехники и электроники», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вятский государственный университет», г. Киров.

Хорошавин В.С., д.т.н., профессор кафедры «Электропривод», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вятский государственный университет», г. Киров.