

4. Лукевски, М. Повышение энергосбережения электроприводов переменного тока с преобразователями частоты за счет использования дросселей фирмы ELHAND TRFNSFORMANORY / М. Лукевски, А. Осетер, А. Хебровски, В. И. Ткачук, Б. Л. Копчак

// Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика : Вестник НТУ «ХПИ». – 2008. – № 30. – С. 489–492.

Стаття надійшла до редакції 14.03.2011.
Після доробки 17.05.2011.

И. В. Авдеев, О. В. Немыкина, А. Н. Климко, В. Л. Прихно, В. В. Баранец
Влияние на показатели качества электроэнергии входной индуктивности сети, питающей частотно-регулируемый привод

В связи с применением частотно-регулируемых приводов наблюдается генерация в питающую сеть высших гармонических составляющих, поэтому определение значения гармонических составляющих в кривой тока и напряжения и средств их снижения в соответствии с ГОСТ 13109-97 является актуальной и востребованной практикой.

Ключевые слова: 4qs-преобразователь, высшие гармоники, питающая сеть, коэффициент искажения, диод, igbt-транзистор, математическая модель, входной дроссель.

I. V. Avdeev, O. V. Nemykina, A. N. Klymko, V. L. Prihno, V. V. Baranets
Influence of input inductance of mains supplying frequency-controlled drive on power quality
When frequency-controlled drives are used, higher harmonic components are generated in the mains supply, so determination of harmonic components value in the current and voltage curve and of means for their reduction according to ГОСТ 13109-97 is an urgent and relevant practice.

Key words: 4qs-converter, higher harmonics, mains, distortion factor, diode, igbt-transistor, mathematical model, input choke.

УДК 621.316.11

Д. В. Федоша

Аспирант Запорожского национального технического университета

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Предложен метод оптимального проектирования систем электроснабжения, основанный на методе эквипотенциальных контуров, реализующий одновременное решение задач определения числа узлов нагрузки, распределения между ними электроприемников, определение конструктивного исполнения источников питания, учитывающий дискретность конструктивного исполнения элементов системы, а также позволяющий минимизировать субъективную оценку проектировщика при формировании структуры сети.

Ключевые слова: сеть, система электроснабжения, узел нагрузки, проектирование, топология, электроприемник, источник питания.

Оптимальное проектирование систем электроснабжения предполагает одновременное решение задач определения числа узлов нагрузки, распределения между ними электроприемников, определение конструктивного исполнения (мощности) источников питания (рис. 1); учета дискретности конструктивного исполнения элементов системы электроснабжения; минимизации субъективной оценки проектировщика при определении структуры сети [1].

Особенно это актуально для цеховых систем электроснабжения, имеющих в своем составе сети 0,4 кВ, из за их значительной протяженности при малой площади цеха и, как следствие, значительных потерь в них.

Однако используемые в настоящее время методы проектирования таких систем электроснабжения осуществляют решение этих задач по отдельности, что не дает возможности говорить об оптимальности получаемых решений [2].

Анализ существующих подходов к формированию структуры систем электроснабжения показал, что существует метод, способный решать выше перечисленные задачи одновременно – это метод эквипотенциальных контуров, с определенными доработками [3].

Для формализации процесса выбора конструктивного исполнения источника питания были введены понятия отбора электроприемников по «потенциальному» и «техническому» критериям.

Основой «потенциального» критерия является выражение (1), которое определяет значение потенциальной поверхности в точке с заданными координатами.

$$P(x, y) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot e^{-1 \cdot \alpha_{\Delta P_i} \cdot \text{Трасса}(i, x, y)}, \quad (1)$$

где P_i – мощность i -го электроприемника; x, y – координаты, в которых определяться значение потенциальной повер-



Рис. 1. Ядро алгоритма метода оптимального проектирования

хности; $\alpha_{\Delta P_i}$ – коэффициент, учитывающий ожидаемые потери в линиях, определяется по выражению (2); $Трасса(i, x, y)$ – функция определения протяженности пути между i -м электроприемником и точкой с координатами x, y .

$$\alpha_{\Delta P_i} = \frac{P_i^2 \cdot \rho}{U^2 \cdot F_i}, \quad (2)$$

где P_i – мощность i -го электроприемника; F_i – сечение проводника для подключение i -го электроприемника; ρ – удельное сопротивление материала проводника; U^2 – напряжение.

В обобщенном виде алгоритм доработанного метода имеет вид (рис. 2).

Для максимального значения потенциальной поверхности определяются электроприемники, образовавшие этот максимум. Эти электроприемники зачисляются в «потенциальную» группу, т. е. отобранные по потенциальному критерию.

В основу отбора по «техническому» критерию положена задача «о рюкзаке» из теории численных методов [4], которая позволяет, с помощью рекурсивной функции, осуществить выбор источника питания подбором группы электроприемников под мощность источника питания, исходя из максимальности его КПД.

Дальнейший анализ работы алгоритма этого метода проектирования систем электроснабжения показал, что возможны случаи когда отдельные электроприемники, неотобранные по «техническому» критерию, в дальнейшем не получают своего источника питания [5]. Для решения данной проблемы, было введено понятие «слабой технической» группы, куда заносятся такие электроприемники с последующей попыткой создания для них промежуточных узлов нагрузок. При этом создать промежуточные узлы нагрузки возможно и для приемников «сильной технической группы» – которые однозначно получили свой источник питания.

Алгоритм метода формирования структуры системы электроснабжения с учетом определения возможностей установки промежуточных узлов нагрузки примет вид (рис. 3).

Алгоритм метода формирования структуры системы электроснабжения был реализован программно на языке программирования Python с использованием библиотеки математического исчисления SciPy.

В результате проведенных численных экспериментов, для 20 объектов (цехов, участков, корпусов) промышленного предприятия, была получена усредненная структура годовых потерь электроэнергии и капиталовложений в сформированной системе электроснабжения методом эквипотенциальных контуров и предлагаемым методом (рис. 4).

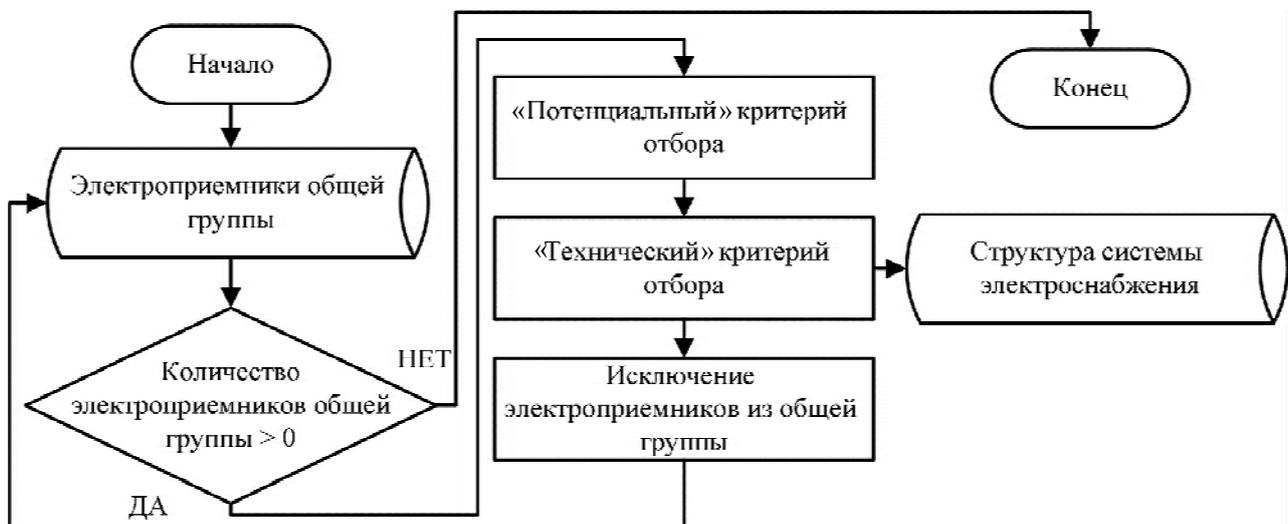


Рис. 2. Алгоритм метода формирования структуры системы электроснабжения

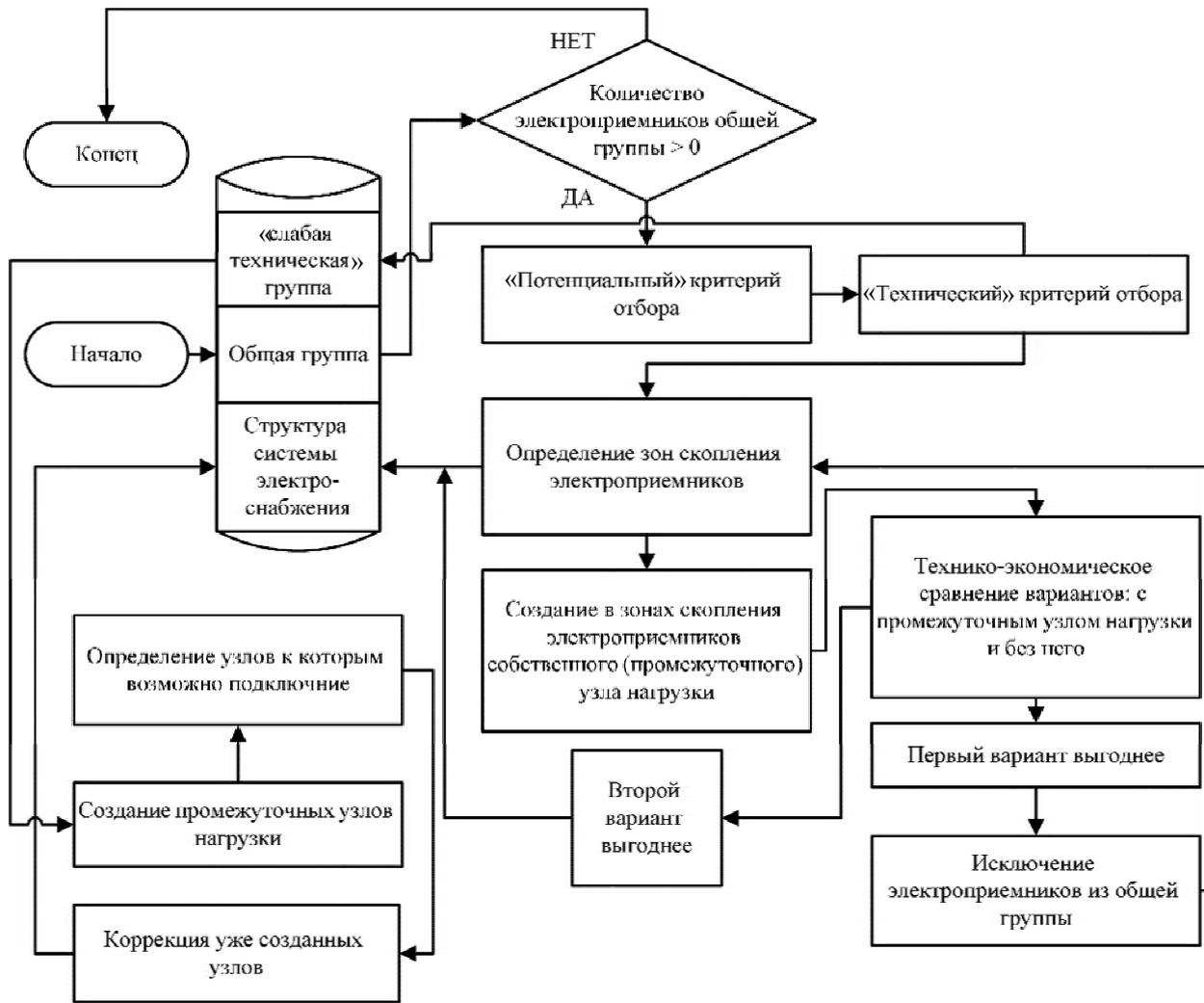


Рис. 3. Алгоритм метода формирования структуры системы электроснабжения с учетом определения возможностей установки промежуточных узлов

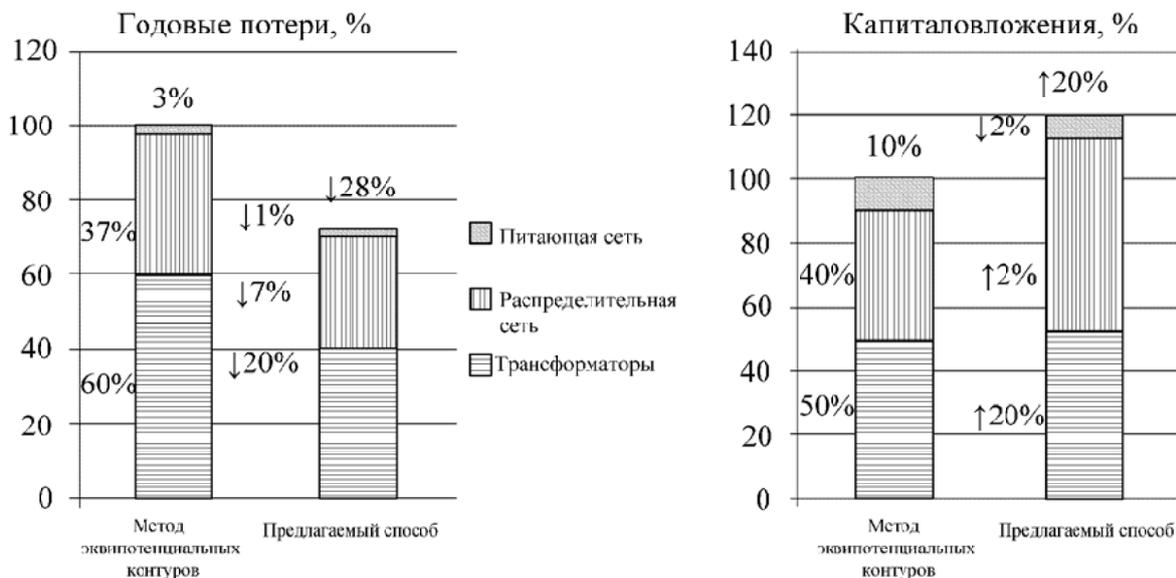


Рис. 4. Усредненная структура годовых потерь электроэнергии и капиталовложений в сформированной системе электроснабжения

Анализ полученных результатов показал, что годовые потери в системе при использовании предлагаемого метода снижаются на 28 %, при увеличении стоимости капитальных вложений на 20 %. Это достигается в первую очередь снижением потерь в трансформаторах на 20 %, за счет более оптимальной загрузки, и во вторых за счет снижения потерь в распределительной сети на 7 % вследствие уменьшения длины более загруженных участков сети, путем смещения координат установки источника питания к более мощным электроприемникам.

Изменение величины капитальных вложений обусловлено увеличением стоимости трансформаторного оборудования на 20 % и стоимости распределительной сети на 2 % при снижении стоимости питающей сети на 2 %.

Важным моментом функционирования метода является способ вычисления функции $Trасса(i, x, y)$ – должен быть формализованным, поскольку координаты x, y , в которых определяться значение потенциальной поверхности, в соответствии с принципами функционирования метода задаются в итерационном процессе и могут принимать любые значения в пределах размеров объекта. Этого можно достигнуть, применяя методы нахождения кратчайшего пути обхода графа в частности алгоритм A^* [6], доработав его дополнительным условием учитывающий стоимость прокладки в зависимости от условий и мест пролегания, а также зон запрета прокладки или установки источников питания.

Для этого возможно использовать методы распознавания образов, в соответствии с которыми предусмотрено разбиение пространства объекта, на области, которые не пересекаются, каждая из которых соответствует отображению одного и того же класса, к которому допустимо элементарное математическое описание [7].

Кроме того, особенности потенциального критерия отбора позволяют, формировать на его основе модель с множеством начальных условий, путем наложения потенциальных поверхностей построенных от отдельных начальных условий. Данное свойство позволяет внести в алгоритм метода возможность решения задач выбора места установки фильтрокомпенсирующих устройств и учета рекуперации электрической энергии в питающую сеть при проектировании систем электроснабжения.

ВЫВОДЫ

Развитие метода эквипотенциальных контуров как метода оптимального проектирования систем электроснабжения позволило обеспечить одновременное реше-

ние трех основополагающих задач проектирования систем электроснабжения (определения числа узлов нагрузки, распределения между ними электроприемников, определение мощности источников питания). Наличие коэффициента, учитывающего ожидаемые потери в линиях, зависящего непосредственно от сечения линии и критерия «технического» отбора позволяет уже на начальных этапах проектирования учесть конструктивные особенности оборудования. Отсутствие каких-либо дополнительных коэффициентов и начальных условий вводимых проектировщиком позволяет снизить его субъективную оценку и повысить качество принятого решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Заболотний, А. П.* Удосконалений метод потенційної функції для формування оптимальної структури розподільчої мережі / А. П. Заболотний, Д. В. Федоша, Н. Л. Криворученко, О. О. Яценко // Електротехніка та електроенергетика. – 2008. – № 1. – С. 74–80.
2. *Заболотний, А. П.* Построение оптимальной структуры сетей электроснабжения предприятий АПК / А. П. Заболотный, Д. В. Федоша, В. С. Мамбаева // Проблемы энергообеспечения предприятий АПК и сельских территорий : сборник научных трудов международной научно-практической конференции. – Санкт Петербург : СПбГАУ. – 2008. – С. 42–46.
3. *Авдєєв, І. В.* Розвиток методу еквіпотенційних контурів для проектування розподільчої мережі / І. В. Авдєєв, А. П. Заболотний, Д. В. Федоша, С. А. Теліпайло, В. С. Мамбаєва // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Тематичний випуск «Електроенергетичні та електромеханічні системи». – 2009. – № 637. – С. 3–7.
4. *Левитин, А. В.* Алгоритмы: введение в разработку и анализ / А. В. Левитин. – М. : Вильямс, 2006. – 576 с.
5. *Заболотний, А. П.* Алгоритм визначення проміжних вузлів навантаження радіальних розподільчих мереж / А. П. Заболотний, Д. В. Федоша, К. І. Парусімова, С. В. Усенко // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. – № 1. – С. 66–71.
6. *Рассел, С. Дж.* Искусственный интеллект : современный подход / С. Дж. Рассел, П. Норвиг // М. : Вильямс, 2006. – 1408 с.
7. *Качан, Ю. Г.* О возможности распознавания топологии оптимальной системы электроснабжения / Ю. Г. Качан, В. В. Дьяченко // Гірничя електромеханіка та автоматика. – 2007. – № 78. – С. 3–5.

Стаття надійшла до редакції 03.06.2011.

Після доробки 01.07.2011.

Д. В. Федоша

Оптимальний проектування систем електропостачання

Запропоновано метод оптимального проектування систем електропостачання, заснований на методі еквіпотенціальних контурів, який реалізує одночасне вирішення задач визначення числа вузлів навантаження, розподілу між ними електроприймачів, визначення конструктивного виконання джерел живлення, що враховує дискретність конструктивного виконання елементів системи, а також дозволяє мінімізувати суб'єктивну оцінку проектувальника при формуванні структури мережі.

Ключові слова: *мережа, система електропостачання, вузол навантаження, проектування, топологія, електроприймач, джерело живлення.*

D. V. Fedosha

Optimal design of power systems

The method for optimal design of electrical systems based on the method of the equipotential contours is proposed, it implements the simultaneous problem solution of the determination of the of load nodes number, the distribution of collectors among them, the definition of meaningful enforcement power sources, taking into account the discreteness of the application design elements of the system, as well as allowing the designer to minimize the subjective assessment of the formation of structure network.

Key words: network, power supply system, the load unit, design, topology, power consumers, power supply.

УДК 621.316.11

А. П. Заболотный

Канд. техн. наук, доцент Запорожского национального технического университета

ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИХ «МАЛУЮ ГЕНЕРАЦИЮ», НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ДЕКОМПОЗИЦИИ И РЕДУКЦИИ

Предложен метод оптимального проектирования систем электроснабжения, содержащих «малую генерацию», на основе принципов декомпозиции и редукции, реализующий одновременное решение задач определения числа узлов нагрузки, распределения между ними электроприемников и учитывающий дискретность конструктивного исполнения элементов системы.

Ключевые слова: система электроснабжения, малая генерация, узел нагрузки, проектирование, декомпозиция, редукция, топология.

Тенденции роста доли «малой генерации» в энергобалансе связанные с широким внедрением возобновляемых источников электроэнергии (ветроэнергетических установок, гелиоэлектростанций, миниГЭС, когенерационных биогазовых установок и т. п.) обуславливают ряд технических проблем в сетях электроснабжения. К ним относятся: решение проблем электромагнитной совместимости, необходимость замены коммутирующей и защитной аппаратуры, изменение настроек релейной защиты и автоматики. Основная проблема несогласованного присоединения разрозненных источников «малой генерации» к сети – это сложность управления и прогнозирования режимов работы энергосистемы, связанные с возникновением перетоков мощности по сети.

Рост тарифов на электрическую энергию обуславливают значительное увеличение составляющей стоимости потерь электроэнергии в сетях при ее передаче и распределении. Особую актуальность это приобретает в сетях электроснабжения предприятий АПК, что обусловлено их протяженностью, разветвленностью и использованием низких классов напряжения.

Уменьшение составляющей стоимости потерь электроэнергии возможно лишь путем оптимизации структуры энергосистемы во время реконструкции существующих сетей электроснабжения.

Решение задач формирования оптимальной структуры сети электроснабжения (определение количества источников питания и распределение между ними приемников электроэнергии, а также организации промежуточных узлов нагрузки) требует математического моделирования и оптимизации процессов энергообмена в такой системе с учетом всех электроприемников, а также учетом специфики работы разрозненных источников «малой генерации».

Построение математической модели (ММ) таких систем в некоторых случаях возможно на принципах макро моделирования целью которого является снижение вычислительных затрат путем упрощения ММ при сохранении достаточной для практики точности результатов моделирования. Поставленная цель достигается посредством предварительного расчленения (декомпозиции) ММ с последующим упрощением (редукцией) ее составных частей. Наиболее приемлемым при анализе и оптимизации энергетических процессов в системе содержащей «малую генерацию» является метод подсхем, при этом алгоритмы декомпозиции могут различаться способами принимаемого расчленения, характером представления подсхем и их взаимосвязей, а также методами обоснования. Процесс выделения отдельных частей системы требует определения границ и граничных условий, при этом процесс декомпозиции – неоднозначная процедура.

Эффективность использования метода подсхем в первую очередь зависит от того, насколько рационально исходная схема разбита на подсхемы. К факторам, влияющим на процессы декомпозиции, необходимо отнести следующие: выделение отдельных функциональных блоков; учет повторяемости отдельных частей схемы; локализация линейных и нелинейных частей схемы; учет связанности отдельных компонентов схемы и т. д. [1].

Формально процесс декомпозиции полной модели можно представить таким образом:

$$D(M) (M_1 M_2, \dots, M_i, \dots, M_n), i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Здесь $D(M)$ – оператор декомпозиции, причем по необходимости процесс декомпозиции может использоваться неоднократно – m (декомпозиция по глубине