

Оценка влияния эмиссии высших гармонических составляющих напряжения и тока от бытовых электроприемников на питающую сеть // Промышленная энергетика. – №9. – 2012. – С. 36-42

4. Koch A.S., Myrzik J. M A; Wiesner T.; Jendernalik L. Harmonics and resonances in the low voltage grid caused by compact fluorescent lamps // Harmonics and Quality of Power (ICHQP). 2010 14th International Conference on , vol., no., pp.1,6, 26-29 Sept. 2010

5. Петухов В., Красилов И. Резонансные явления в электроустановках зданий как фактор снижения качества электроэнергии // <http://www.tesla.ru/publications/files/020.pdf>.

УДК 629.423.1

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

А.И. Юлдашева, А.В. Малафеев

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск
letoalina@mail.ru*

Аннотация

В статье рассмотрена методика определения эквивалентных показателей надежности систем электроснабжения: интенсивности отказов, времени восстановления, вероятности безотказной работы. Предлагаемый алгоритм расчета предполагает использование сочетания метода последовательного эквивалентирования и метода Ньютона. Произведен анализ сходимости и оценка вычислительной сложности разработанного алгоритма.

Ключевые слова: надежность электроснабжения, показатели надежности, структурная надежность, время восстановления, интенсивность отказов, вероятность безотказной работы, ущерб от перерыва электроснабжения.

THE COMPUTATIONAL EFFICIENCY OF ALGORITHM FOR CALCULATING OF POWER SUPPLY SYSTEMS STRUCTURAL RELIABILITY MEASURES

A.I. Yuldasheva, A.V. Malafeev

*Nosov Magnitogorsk State Technical University
Russia, Magnitogorsk
letoalina@mail.ru*

Abstract

The paper studies method of power supply equivalent reliability measures calculation: failure intensity, restoration time, probability of no-failure. The proposed algorithm of calculation supposes the use of a combination of 2 methods: sequential reduction method and Newton's method. The convergence analysis and computational complexity assessment of the algorithm were carried out.

Key words: power supply reliability, reliability measure, structural reliability, restoration time, failure intensity, probability of no-failure, supply interruption costs.

Бесперебойное электроснабжение крупных промышленных предприятий, представляющих собой сложный комплекс электроэнергетических устройств, – первоочередная задача. При проектировании и эксплуатации крупного промышленного предприятия наряду с режимными параметрами и экономическими показателями необходимо учитывать показатели надежности электроснабжения, в частности, это необходимо при разработке проектных предложений по реконструкции распределительных сетей, при планировании нормальных эксплуатационных схем, при проработке заявок на вывод в ремонт оборудования.

Обзор печатных изданий и основных программных продуктов, используемых в электроэнергетике, показал, что наименьшее внимание уделяется вопросам развития теории режимной надежности и разработке способов расчета структурной надежности сложных систем электроснабжения. На стадии сравнения вариантов удобнее всего использовать показатели структурной надежности, не требующие, в отличие от надежности режимной, просчета последствий аварийных ситуаций. Таким образом, задача разработки алгоритма оценки структурной надежности является на сегодняшний день весьма актуальной.

К разрабатываемому алгоритму предъявлялись следующие требования: простота формализации, высокая точность, минимальное время исполнения, быстрая сходимость результата.

Для определения показателей надежности сложно-замкнутых сетей предлагается использование алгоритма, основанного на сочетании метода последовательного эквивалентирования для расчета установившихся режимов систем электроснабжения [2] и метода Ньютона [3].

В общем случае любой элемент сети заменяется структурной схемой в виде многолучевой звезды (рис. 1). Количество лучей соответствует числу связей элемента на схеме. Далее схема n -лучевой звезды заменяется n -угольником (рис. 2). Образовавшиеся связи объединяются с уже существующими.

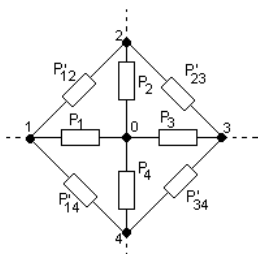


Рис. 1. Участок схемы до исключения узла 0

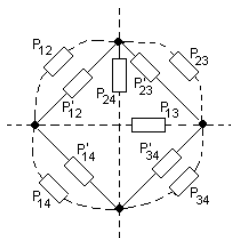


Рис. 2. Участок схемы после исключения узла 0

На промежуточных этапах преобразования используются формулы последовательно-параллельного эквивалентирования [4]:

– при параллельном соединении 2-х элементов: для интенсивности отказов: $\lambda_{ij} = \lambda_i \lambda_j (T_{Vi} + T_{Vj})$, для времени восстановления:

$$T_{Vij} = \frac{T_{Vi} \cdot T_{Vj}}{T_{Vi} + T_{Vj}}, \text{ для вероятности безотказной работы: } p_{ij} = p_i p_j$$

(вероятность отказа, соответственно, $q_{ij} = 1 - p_{i,j}$);

– при последовательном соединении 2-х элементов: для интенсивности отказов: $\lambda_{ij} = \lambda_i + \lambda_j$, для времени восстановления:

$$T_{Vij} = \frac{T_{Vi} \cdot \lambda_i + T_{Vj} \cdot \lambda_j}{T_{Vi} + T_{Vj}}, \text{ для вероятности безотказной работы:}$$

$$p_{ij} = p_i + p_j - p_i p_j.$$

Метод Ньютона используется для определения эквивалентной вероятности безотказной работы оборудования. Процедура решения выглядит следующим образом:

1. Для полученной схемы (рис. 2) составляем систему уравнений:

Время восстановления определяется следующим образом:

$$T_{в,э\text{кв}} = (1 - p_{э\text{кв}}) / \lambda_{э\text{кв}}$$

На основе полученных показателей надежности можно оценить ущерб от нарушения электроснабжения:

$$У = У_0 \Delta P T_{в,э\text{кв}} ;$$

где $У_0$ – удельный ущерб, зависящий от вида производства, руб./кВт·ч; ΔP – снижение нагрузки потребителя или выдаваемой мощности местной электростанции, кВт; $T_{в,э\text{кв}}$ – среднее время восстановления системы, ч.

Оценка вычислительной сложности алгоритма

Вычислительная сложность алгоритма – это функция, определяющая зависимость объёма работы, выполняемой некоторым алгоритмом, от размера входных данных.

Наиболее трудоемким этапом расчета является составление матрицы Якоби, следовательно, вычислительная сложность алгоритма определяется размерностью данной матрицы:

$$M = N \cdot (N - 1) / 2 ;$$

где N – количество связей элемента.

Так, например, матрица Якоби для рассматриваемой схемы (рис. 2) имеет размерность: $M = \frac{4 \cdot (4 - 1)}{2} = 6$.

$$W = \begin{bmatrix} -1 & -p_{13} & 0 & -p_{24} & -p_{23} & -p_{13} \\ -p_{13} & -1 & -p_{24} & 0 & -p_{12} & -p_{34} \\ 0 & -p_{24} & -1 & -p_{13} & -p_{14} & -p_{23} \\ -p_{24} & 0 & -p_{13} & -1 & -p_{34} & -p_{12} \\ -p_{23} & -p_{12} & -p_{14} & -p_{34} & -1 & 0 \\ -p_{14} & -p_{34} & -p_{23} & -p_{12} & 0 & -1 \end{bmatrix} .$$

При составлении матрицы Якоби для произвольного числа связей учитываются следующие ее свойства: 1) на главной диагонали располагаются элементы, равные -1 . 2) на пересечении строк, соответ-

вующем произведений вида $p_a p_b$, и столбцов, соответствующих переменным p_{cd} , где $a \neq b \neq c \neq d$, располагаются нули. 3) в случае, если строка соответствует $p_a p_b$, столбец $-p_{bc}$, где $a \neq b \neq c$, элементом матрицы будет $-p_{ac} + p_{ac} p_{ab}$.

В таблице 1 и на диаграмме ниже (рис. 3) представлены зависимость размерности матрицы Якоби (M) от количества связей элемента (N).

Таблица 1

Зависимость размерности матрицы Якоби (M) от количества связей элемента (N)

N	4	5	6	7	8	9	10	11	12
M	6	10	15	21	28	36	45	55	66

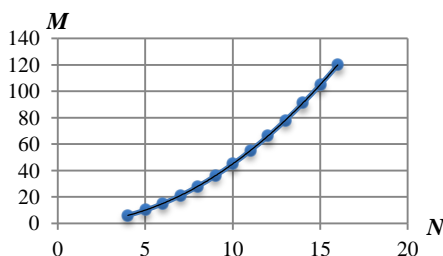


Рис. 3. Зависимость размерности матрицы Якоби (M) от количества связей элемента (N)

Эта зависимость представляет собой полиномиальное сочетание (рис. 3). Таким образом, предлагаемый алгоритм расчета относится к классу P – алгоритмов. В теории алгоритмов классом P называют множество задач, для которых существуют «быстрые» алгоритмы решения (время работы которых полиномиально зависит от размера входных данных).

Практическое применение алгоритма

С помощью разработанного алгоритма применительно к системе электроснабжения ОАО «ММК» выполнен расчет эквивалентных показателей надежности относительно узла подстанции №30 (рис. 4). Результаты расчета приведены в табл. 2.

Используя предлагаемый алгоритм, последовательно исключаем узлы C и M .

На основании полученных значений показателей надежности можно сделать вывод, что схема электроснабжения подстанции №30

имеет высокую надежность; это объясняется большим количеством параллельно соединенных элементов и относительно небольшой протяженностью ЛЭП.

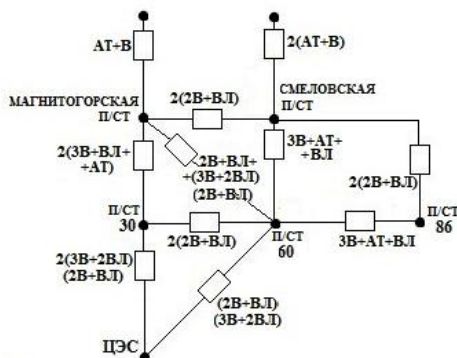


Рис. 4. Структурная схема системы электроснабжения ОАО «ММК»

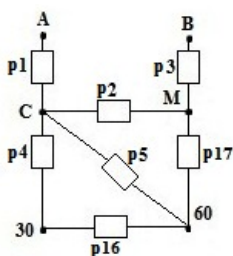


Рис. 5. Схема после преобразования

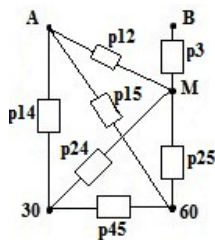


Рис. 6. Схема после исключения узла С

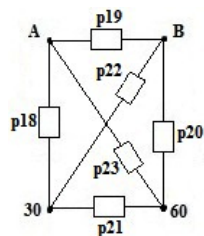


Рис. 7. Схема после исключения узла М

Таблица 2

Результаты расчетов

$P_{\text{ЭКВ}}$	$\lambda_{\text{ЭКВ}}, 1/\text{ГОД}$	$T_{\text{ВЭКВ}}, \text{ГОД}$
0,9976	0,052	0,046

Анализ сходимости

Также на примере структурной схемы подстанции 30 (рис. 4) был произведен анализ сходимости. При исключении узла М (рис. 6), было выбрано 3 варианта начальных приближений. При начальном приближении для вероятности безотказной работы 0,997 (см. рис. 8), наблюдается наиболее быстрая сходимость. В табл. 3 приведены 3 варианта начальных приближений и количество итераций, достаточное для получения результата.

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет выполнять

расчет основных показателей надежности – интенсивности отказов, времени восстановления, а также экономического ущерба от недоотпуска электроэнергии – для системы электроснабжения в целом или отдельных ее участков.

Таблица 3

Сходимость результатов расчета

№ итерации (n)	Значение вероятности отказа при принятом начальном приближении (p)		
	$p_1=0,999$	$p_2=0,998$	$p_3=0,997$
1	0,999	0,998	0,997
2	0,974	0,948	0,912
3	0,928	0,894	0,826
4	0,855	0,813	0,765
5	0,766	0,765	0,764
6	0,764	0,764	0,764

Данный алгоритм позволяет преобразовывать схемы любой сложности независимо от того, какое соединение элементов преобладает – последовательное или параллельное, так как во всех случаях используется одинаковая процедура исключения узла. На основе созданного алгоритма в рамках программного комплекса (ПК) «КАТ-РАН» создан блок расчета структурной надежности; при помощи которого проведены расчеты применительно к системе электроснабжения ОАО «ММК» и предложены пути повышения надежности электроснабжения предприятия. Данный ПК позволяет проводить сопоставление различных вариантов нормальных и ремонтных эксплуатационных схем на основе показателей надежности при планировании режима или реконструкции сети.

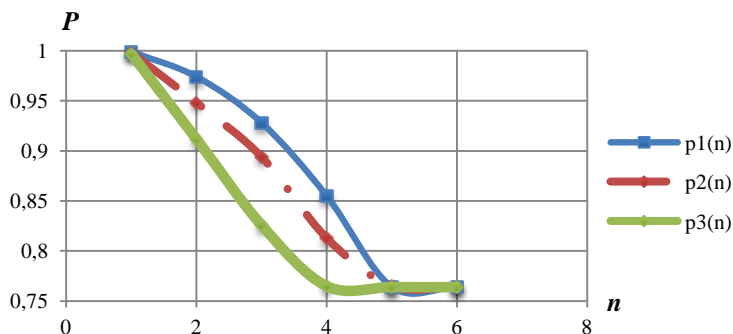


Рис. 8. Зависимость результата от количества итераций

Список литературы

1. Игуменцев В.А., Заславец Б.И., Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. Модифицированный метод последовательного эквивалентирования для расчета режимов сложных систем электроснабжения // Промышленная энергетика. – 2008. – №6. – С. 16-22.

2. Замышляев В.Ю., Котов О.М., Обоскалов В.П. Определение показателей структурной надежности систем с отказами типа «КЗ» // Электроэнергетика глазами молодежи: Науч. тр. III Междунар. науч.-техн. конф.: Сб. статей. – В 2 т. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – Т. 1. – С. 534-539.

3. А.с. 2012612069 РФ. Программа «Комплекс автоматизированного режимного анализа КАТРАН 6.0» / В.А. Игуменцев, А.В. Малафеев, О.В. Буланова, Ю.Н. Ротанова, Е.А. Панова, А.В. Хламова, В.М. Тарасов, Е.Б. Ягольникова, Н.А. Николаев, В.В. Зиновьев. – Оpubл. в бюл. «Программы для ЭВМ, БД, ТИМС», 2012, №2. – С. 500-501.

4. Китушин, В.Г. Надежность энергетических систем.– М.: Высш. шк., 1984. – 256 с.

УДК 621.311.001.57

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В СЛОЖНОНЕСИММЕТРИЧНЫХ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ

Е.А. Панова, А.В. Малафеев, В.А. Болтачѳв, И.В. Иркиенко

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск
vavabolt@gmail.com*

Аннотация

Возникновение режимов аварийной сложной несимметрии в системах промышленного электроснабжения из-за нечувствительности к ним релейной защиты может привести к длительному существованию таких режимов. В статье рассматриваются способы повышения чувствительности защиты введением дополнительного вида защит, реагирующего на напряжение обратной последовательности.

Ключевые слова: аварийная несимметрия, релейная защита, КАТРАН 6.0, чувствительность защиты.