

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2022)

ПАВЛОДАР

МАЗМҰНЫ

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/ZOCF4313>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университете

Абдикулова З. Қ., Шукенова Ф. Ә., Жалымбетов Б. Р.
Трансформаторлардағы динамикалық электр магниттік процестерді
модельдеу және жинау12

**Акаев А. М., Исабеков Ж. Б., Исабекова Б. Б., Жумжуман Е. Ж.,
Абенова А. Т.**
Вейвлет-талдау негізінде синхронды компенсатор роторы орамасының
орамдық қысқа тұйықталуын анықтау әдісі.....22

Аканова А. С., Оспанова Н. Н., Бельгибаева С. А., Шоқымова А. А.
Мобильдік қосымшаларды әзірлеудегі концептуалды модельдеудің
маңыздылығы.....33

**Алимгазин А. Ш., Бергузинов А. Н., Султангузин И. А.,
Серкпаев М. О., Ахметова И. Г.**
Қазақстан Республикасының көміртегі экономикасын
декарбонизациялау үшін жылуды трансформациялау технологияларын
қолдану перспективалары.....45

Андреева О. А., Тенизова А. К., Нежимединов А. К., Балгабаева Г. С.
Ілеспе мұнай газын тасымалдау кезінде компрессорлық
қондырғыларды автоматтандыру63

Анарбаев А. Е., Кашевкин А. А.
Ультра қысқа электромагниттік импульстардың әсерінен
жергілікті желі фрагментінің имитациялық моделін жасау76

Ансабекова Г. Н., Сарсикеев Е. Ж.,
Өуе электрберіліс желілерін бір фазалы қысқа тұйықталудан қорғау
жүйесін құру үшін анық емес логиканы қолдану86

**Атякшеева А. В., Мерғалимова А. К., Омаров А. М., Атякшеева А. Д.,
Жумалиева А. Қ.**
Қуаты 100 кВт дейінгі қазандықтарда сапасы нашар отынды төмен
көміртекті жағу мүмкіндігін талдау.98

Ахметбаев Д. С., Шаймерденов А. А.
Күрделі төртполюсты сұлбаның жалпыланған параметрлерін
есептеу үшін тоқтың таралу коэффициенттерін қолдану108

Досмагамбетов А. О., Азаматова Д. А., Тулебаева Ж. А.
Ғимараттардың энергия тиімділігін арттыру.....119

Достияров А. М., Садықова С. Б., Қартджанов Н. Р.
Газтурбиналарының жану камерасындағы ағын параметрлерінің NOx
эмиссиясына әсері.....127

**Эдилхан Д., Нефтисов А. В., Кусдаветов С. А.,
Бисенғалиева Д. К**
Ауа тазалауға арналған автоматтандырылған
биотехнологиялық сүзгілердің концептуалдық жобасы140

СОДЕРЖАНИЕ

Абдикулова З. К., Шукенова Г. А., Жалымбетов Б. Р. Моделирование динамических электромагнитных процессов в трансформаторах и их сборка	12
Акаев А. М., Исабеков Ж. Б., Исабекова Б. Б., Жумжуман Е. Ж., Абенова А. Т. Метод выявления витковых замыканий обмотки ротора синхронного компенсатора на основе вейвлет-анализа	22
Аканова А. С., Оспанова Н. Н., Бельгибаева С. А., Шокымова А. А. Значимость концептуального моделирования при разработке мобильных приложений	33
Алимгазин А. Ш., Бергузинов А. Н., Султангузин И. А. Серкпаев М. О., Ахметова И. Г. Перспективы применения технологий трансформации теплоты для декарбонизации углеродной экономики Республики Казахстан	45
Андреева О. А., Тенизова А., Нежимединов А. К., Балгабаева Г. С. Автоматизация компрессорных установок при транспортировке попутного нефтяного газа.....	63
Анарбаев А. Е., Кашеев А. А. Разработка имитационной модели фрагмента локальной сети под действием ультракоротких электромагнитных импульсов	76
Ансабекова Г. Н., Сарсикеев Е. Ж. Применение нечеткой логики для построения защиты в ЛЭП от однофазного короткого замыкания.....	86
Атякшева А. В., Мергалимова А. К., Омаров А. М. Атякшева А. Д., Жумалиева А. К. Анализ возможности низкоуглеродного сжигания топлив ухудшенного качества на котлах, мощностью до 100 квт.....	98
Ахметбаев Д. С., Шаймерденов А. А. Применение коэффициентов токораспределения для расчета обобщенных параметров сложной схемы четырехполюсника	108
Досмагамбетов А. О., Азаматова Д. А., Тулебаева Ж. А. Повышение энергоэффективности зданий	119
Достияров А. М., Садыкова С. Б., Картджанов Н. Р. Влияние параметров потока в камере сгорания газовых турбин на эмиссию NOx	127
Еділхан Д., Нефтісов, Кусдаелтов С. А., Бисенғалиева Д. К. Концептуальный проект автоматизированного биотехнологического фильтра для очистки воздуха	140

Жалмагамбетова У. К., Исабекова Л. З., Айтмагамбетова Г. А., Ергалиев С. Б. Пути оказания коммунальных услуг для изолированного поселка	154
Жумадилова А. К., Толеубаева А. Б., Сағалиев А. С. Регулирование скорости двухдвигательного электропривода механизма передвижения мостового крана	166
Звонцов А. С., Кислов А. П., Дубинец Н. А., Мухамедеева Л. Г. Анализ электромагнитной волны на примере расчета и моделирования направленности ромбической антенны	177
Кайдар А. Б., Исенов С. С., Шерьязов С. К., Шапкенов Б. К Система автономного электроснабжения с улучшенными энергетическими характеристиками	189
Капенова М. М., Казбеков Е. Ж., Исинова С. О., Абдрахманов Б. Т. Описание системы управления нагревом воздуха с помощью микроконтроллера arduino mega 2560	205
Касимова Б. Р., Кудабаяева Ж. Н., Мухамбетяров С. К. Модель электрической линии процесса управления на языке программирования Matlab	214
Кинжибекова А. К., Степанова О. А., Сағындық А. Б., Уахит Н. А. Определение характеристик комбинированных топливных брикетов из промышленных и сельскохозяйственных отходов	223
Кладиев С. Н., Сарбасова Н. Д., Умурзакова А. Д. Разработка и исследование способов реализации управляющего канала для сортировки круглого леса	232
Мименбаева А. Б., Жукабаева Т. К. Сравнительный анализ геоинформационных систем с открытым кодом	250
Огаркова А. И., Марковский В. П., Татмышевский К. В., Утегулов А. Б., Кошкин И. В. Моделирование однофазного замыкания на землю при определении места повреждения с использованием теории линейной алгебры	263
Рындин В. В., Абдуллина Г. Г., Ахмедьянова Г. К., Айгожина, Д. Г. Гребенкин В. В. Технологический расчет трубчатой печи нефтегазопереработки в системе Mathcad.....	276
Сеитова А. Е., Бейсенби М. А., Таткеева Г. Г., Асаинов Г. Ж. Исследование детерминированного хаотического режима электротехнической системы с тремя генераторами	289

<https://doi.org/10.48081/VKAK6934>

*А. М. Акаев¹, Ж. Б. Исабеков², Б. Б. Исабекова³,
Е. Ж. Жумжуман⁴, А. Т. Абенова⁵

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ ОБОТКИ РОТОРА СИНХРОННОГО КОМПЕНСАТОРА НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

Компенсация реактивной мощности является неотъемлемой частью в электрических сетях. Данный процесс происходит при помощи компенсирующих устройств, одной из которых является синхронный компенсатор. Релейная защита компенсирующего устройства также обязательна, как и защита иных электротехнических оборудований.

Отсутствие проверенных методов функциональной диагностики виткового замыкания в обмотках ротора синхронного компенсатора и возникновение таких повреждений в габаритных электротехнических оборудованиях приводит к большим экономическим затратам. В статье приведен поиск диагностических признаков возникновения короткого замыкания в обмотках ротора на основе вейвлет-анализа ЭДС на выходных данных датчика магнитного поля, установленного в синхронном кмпенсаторе. На базе непрерывного вейвлет-преобразования проведена оценка экспериментальных данных для получения графика во временной шкале, позволяющего выявлять локальные неоднородности исследуемого сигнала. Алгоритм тестировался на основании данных датчиков, которые установлены непосредственно на самом синхронном компенсаторе. На основании отклонения данных спектрограммы непрерывного вейвлет-преобразования сигнала от датчика рассеяния магнитного поля можно выявить наличие витковых замыканий в обмотке синхронного компенсатора. Предложенный метод обработки данных позволяет заблаговременно выявлять витковые замыкания а так же другие повреждения в оборудований.

Ключевые слова: Синхронный компенсатор, магнитный поток рассеяния, витковые замыкания ротора, интегральный вейвлет-спектр, дисперсия вейвлет-коэффициентов.

Введение

Синхронный компенсатор (СК) это конструктивно сложное электротехническое оборудование, и возникновение виткового замыкания (ВЗ) в обмотке ротора в больших СК диагностирование которых крайне сложно, приводит к большому экономическому ущербу предприятий. Сложность выявления ВЗ обуславливается отсутствием значительного тока короткого замыкания, отсутствием электрической дуги и незначительным падением напряжения. Крайне важно выбирать диагностические параметры на основе информации стандартных измерительных приборов, значения которых однозначно связаны с техническим состоянием межвитковой изоляции.

Одним из путей решения задачи построения функциональной диагностики ВЗ обмотки ротора, является разработка методов анализа симметрии магнитного поля в торцевой части машины на основе датчиков магнитного поля [1, 2].

Материалы и методы

Для диагностирования СК на ВЗ необходимо выявить частотно временной спектр с установленного датчика. А также выделить из него величину изменения полученные от ВЗ. Наиболее эффективным методом получения частотно временного спектра является непрерывное вейвлет-преобразование при помощи которого можно выявить локальные неоднородности сигнала.

При цифровой обработке сигналов реализация непрерывного вейвлет-преобразования в строгой форме невозможна, поэтому следует рассматривать дискретизированное непрерывное вейвлет-преобразование.

Алгоритм может быть реализован параллельно и итерационно. Основной отличительной чертой данного алгоритма является разделение процесса вейвлет-преобразования на 2 этапа: подготовительный и основной [3-6].

На первом этапе выбирают шаг оцифровки данных (Δt) и ограничение на максимальное количество отсчетов сигнала (n). На данном этапе по следующей формуле вычисляют и сохраняют базисные коэффициенты : $P_{i,j,k}$:

$$P_{i,j,k} = \left\{ \frac{\Delta t}{\sqrt{a_j}} \Psi \left[\frac{(i-k)\Delta t}{a_j} \right] \right\} \quad 1$$

Где $\Psi \left[\frac{(i-k)\Delta t}{a_j} \right]$ некоторая функция с определенными свойствами, полученная из материнского вейвлета; i, j, k – индексы по времени t , по масштабу a , по сдвигу времени b .

На втором этапе по формулам (2) и (3) вычисляют текущие значения НВП для момента времени ($i\Delta t$).

$$W^0(a_j, b_k) = 0, \quad (2)$$

$$W^{i+1}(a_j, b_k) = W^i(a_j, b_k) + S(i\Delta t) \cdot P_{i,j,k}, \quad (3)$$

где $S(i\Delta t)$ – оцифрованный с равномерным шагом анализируемый сигнал $S(t)$.

При поступлении очередного счета анализируемых данных в момент времени $(i+1) \Delta t$ к уже рассчитанному массиву значений НВП добавляется только один слой значений, рассчитанных по формуле (3). Используется готовый на первичном этапе массив коэффициентов. $P_{i,j,k}$. Таким образом осуществляется итерационный процесс уточнения НВП который сокращает количество вычислений и время расчета.

Алгоритм вычисления дискретизированного непрерывного вейвлет-преобразования, представленный формулами (1–3), сходится к непрерывному вейвлет-преобразованию анализируемого сигнала $S(t)$:

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) \cdot \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt.$$

Для удобного и надежного обнаружения локальных неоднородностей сигнала кроме непрерывного вейвлет-преобразования может понадобиться вычисление некоторых функций от НВП.

Можно представить алгоритм выявления ВЗ обмотки ротора СК в следующем виде:

Измерение сигнала $S(t)$ и передача его в аналогово-цифровой преобразователь.

Аналогово-цифровое преобразование и получение дискретизированного сигнала $S(i\Delta t)$ с шагом дискретизации Δt :

$$f_d = \frac{1}{\Delta t} \geq 2f_{max},$$

где f_d частота дискретизации входного сигнала, f_{max} – максимальная частота.

НВП оцифрованного входного сигнала $S(i\Delta t)$ и получение данных НВП $W(a_j, b_k)$, который состоит из двух этапов: подготовительного и основного. Подготовительный этап можно выполнить только один раз для электрической машины, а затем повторять только второй этап, который требует меньшее количество вычислений.

4. Вычисление интегрального вейвлет-спектра (ИВС) по полученному НВП:

$$W(a_k) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |W(a_j, b_k)|^2 = W^0(a_k)$$

Вид анализируемых входных сигналов представлен на рисунок 1 (холостой ход) и рисунок 2 (нагруженные синхронные машины).

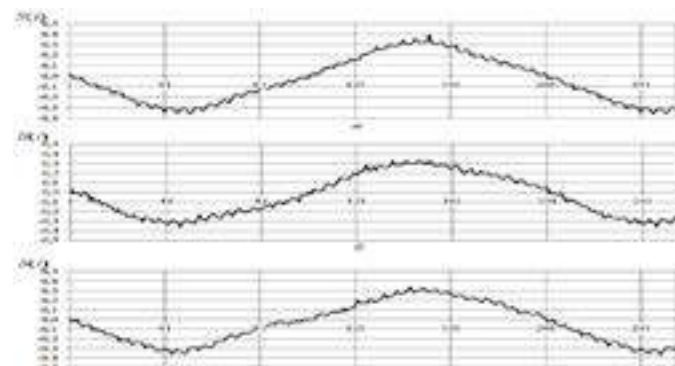


Рисунок 1 – Анализируемый сигнал: а) на холостом ходу без повреждений; с короткозамкнутыми витками обмотки; б) 4 %; в) 20 %

5 Определение по ИВС правильности выбора масштабов либо их коррекция и возврат.

6 Вычисление распределения дисперсии вейвлет коэффициентов по анализируемому промежутку времени:

$$W(a_k) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |W(a_j, b_k)|^2 = \sum_{j=1}^N W^0(a_j, b_k) = W^0(a_k)$$

7 Идентификация по распределению дисперсии вейвлет – коэффициентов неоднородных участков и анализ вейвлет-коэффициентов по всем масштабам на предмет отклонения от синусоиды.

Результаты исследования

Все данные реализовывались при помощи компьютерной программы. От датчика вычитываются значения трех сигналов для проверки алгоритма: без повреждения, с 4 % витками короткого замыкания и 20 % витками короткого замыкания. Было выбрано количество отсчетов входного сигнала, подлежащего анализу, $N=256$, количество масштабов $M=16$ и шаг $\Delta t=0,0001$ с. Исследования были проведены с нагрузкой и на холостом ходу

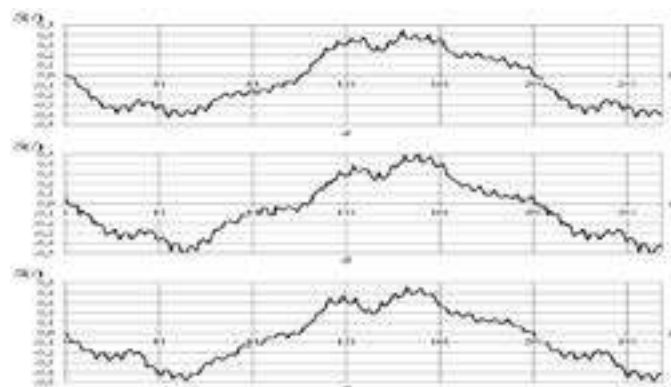


Рисунок 2 – Анализируемый сигнал: а) нагруженный, без повреждений; б) с короткозамкнутыми витками обмотки; в) 4 %; в) 20 %

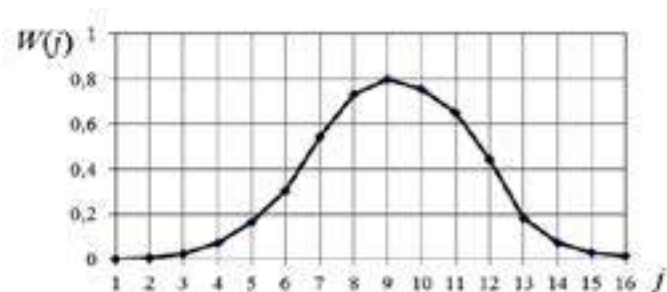


Рисунок 3 – Расчетный интегральный вейвлет-спектр анализируемых сигналов для синхронной машины на холостом ходу без повреждений

В качестве материнского вейвлета использовалась функция, известная под названием МНАТ, и описывается следующим уравнением:

$$\Psi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \left[e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \cdot \left(1 - \frac{x^2}{\sigma^2} \right) \right]$$

где $x=(t-b)/a$; σ – величина при помощи которого изменяется масштаб с видом входного сигнала. Этот вейвлет сигнал имеет узкий энергетический спектр, а нулевой и первый моменты этого вейвлета равны нулю.

Вид расчетного интегрального вейвлет-спектра для рассматриваемых сигналов показан на рисунке 3. Для нагруженной машины и с короткозамкнутыми витками обмотки 4 и 20 % ИВС выглядел аналогично.

По форме интегрального вейвлет-спектра на рисунке 3, можно понять, что масштабирование и корректирование не требуются. Распределение ИВС по масштабам имеет четко выраженный максимум на 9-м масштабе, соответствующий основной гармонике анализируемого сигнала. Также можно увидеть, что масштабы 1, 2 и 15, 16 почти не дают вклада в ИВС и дальнейшее изменения корректировка не дадут дополнительных данных.

Расчетное распределение дисперсии вейвлет коэффициентов показан на рисунке 5. На рисунке можно заметить, что в нагруженном компенсаторе даже без витковых замыканий уже есть несимметричное распределение дисперсии вейвлет-коэффициентов. По этой причине отклонения от симметрии за счет витковых замыканий следует выявлять для генератора на холостом ходу. На масштабе 9 видно, что сигнал соответствует основной гармонике основного сигнала и отклонения от синусоиды не имеет. Масштабы 8 и 7 близки к основному. Значимые отклонения от синусоиды можно заметить для вейвлет-коэффициентов 6-го масштаба на рисунке 6.

Расчитанные распределения дисперсии волновых коэффициентов показаны на рисунке 4.

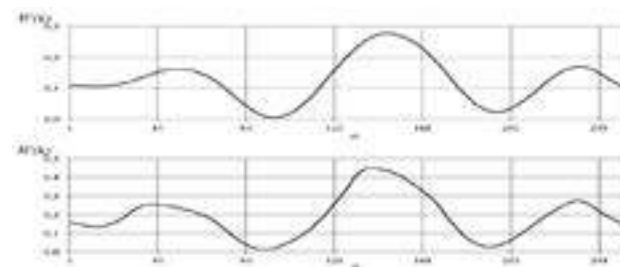


Рисунок 4 – Распределение дисперсии вейвлет-коэффициентов: а) на холостом ходу без повреждений; б) нагруженный без повреждений

Как видно из рисунка, нагруженная синхронная машина имеет асимметричное распределение дисперсии волновых коэффициентов, даже если нет коротких замыканий. Следовательно, необходимо выявлять отклонение от симметрии из-за короткого замыкания для синхронной машины на холостом ходу. Масштаб 9 соответствует основной гармонике основного сигнала и не отклоняется. Значительные отклонения от синусоиды обнаружены для вейвлет коэффициентов масштаба 6 (рисунок 5).

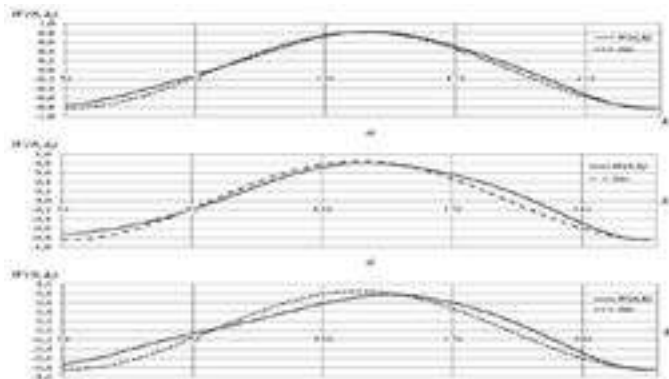


Рисунок 5 – Отклонение вейвлет-коэффициентов 6-го масштаба от синусоиды: а) на холостом ходу без повреждений; б) с замыканием 4 % витков обмотки ротора; в) с замыканием 20 % витков обмотки ротора

В совокупном выражении относительная сумма модуля отклонения вейвлет коэффициентов 6-го масштаба от синусоиды для синхронных машин составила 11, 16 и 25 % соответственно: без повреждений, с 4 и 20 % витками короткого замыкания. Согласно этим данным, на основе предложенного алгоритма очень реально обнаружить короткие замыкания обмотки ротора синхронного компенсатора во время холостого хода.

Выводы

Разработан алгоритм использования непрерывного вейвлет преобразования от датчика магнитного поля, расположенного в торцевой части синхронного компенсатора, для определения короткого замыкания ротора.

Индикация наличия витковых коротких замыканий была определена на основе отклонения спектрограммы непрерывного вейвлет-преобразования сигнала с датчика магнитного поля рассеяния от первоначальной, полученной для синхронной машины без повреждений.

Установлено, что дополнительно для синхронной машины на холостом ходу следует в качестве признака наличия витковых замыканий использовать отклонение от синусоиды вейвлет-коэффициентов масштабов, близких к масштабу основной гармонике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Устройство защиты синхронной электрической машины от витковых и двойных на землю замыканий в обмотке ротора: пат. 22450 (KZ). № 2008/1073.1, заявл. 29.09.2008; опубл. 15.04.2010, Бюл. № 5. – 4 с.

2 **Полищук, В. И.** Построение защиты от виткового замыкания в обмотке ротора синхронного генератора на основе индукционного датчика магнитного поля рассеяния // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 4. – С. 57–61.

3 Устройство для вычисления дискретизированного непрерывного вейвлет-преобразования : пат. 2437147 РФ, МПК G 06 F 17/14. № 2010127068/08; заявл. 01.07.2010; опубл. 20.12.2011, Бюл. № 35. – 9 с.

4 **Хамухин, А. А.** Математическая модель ячейки однородной структуры для вычисления непрерывного вейвлет-преобразования // Проблемы информатики. – 2011. – № 5. – С. 87–93.

5 **Хамухин, А. А.** Применение ячеек однородной структуры для вычисления непрерывного вейвлет-преобразования // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 5. – С. 149–153.

6 **Хамухин, А. А.** О параллельном вычислении непрерывного вейвлет-преобразования в задаче обнаружения узкополосных шумовых гидроакустических сигналов на основе интегрального вейвлет-спектра // Техническая акустика. Электрон. журн. – 2012. – № 5. [Электронный ресурс]. – URL : <http://ejta.org/ru/khamukhin1> (Дата обращения: 20.06.2013).

7 **Хамухин, А. А.** Итерационный алгоритм вычисления дискретизированного непрерывного вейвлет-преобразования // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013. – № 3. – С. 9–13. Поступила 21.10.2013 г.

8 **Новожилов, А. Н., Акаев, А. М., Новожилов, Т. А., Волгина, Е. М.** Обзор защит от витковых замыканий в синхронных машинах // Вестник ПГУ (Энергетическая серия). – Павлодар, 2014. – № 3. – С. 262–268.

9 **Неболюбов, Ю. Е.** К вопросу о релейной защите синхронных компенсаторов. – 113–117 с.

10 **Силаева, Т. А., Назаров, Ю. Г.** Способ защиты синхронных генераторов от витковых замыканий в обмотке статора. – Электричество, 1975. – № 4. – С. 12–16.

REFERENCES

1 **Ustrojstvo zashchity sinhronnoj elektricheskoy mashiny ot vitkovykh i dvojnykh na zemlyu zamykanij v obmotke rotora** [Device for protection of a synchronous electric machine against coil and double earth faults in the rotor winding]: Pat. 22450 (KZ). No. 2008/1073.1, Appl. 09/29/2008; publ. 04/15/2010, Bull. No. 5. – 4 p.

2 **Polishchuk, V. I.** Postroenie zashchity ot vitkovogo zamykaniya v obmotke rotora sinhronnogo generatora na osnove indukcionnogo datchika magnitnogo

polya rasseyaniya [Construction of protection against coil circuit in the rotor winding of a synchronous generator based on an inductive sensor of a magnetic stray field]// Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. – 2012. – Т. 321. – No. 4. – P. 57 – 61.

3 Ustrojstvo dlya vychisleniya diskretizirovannogo nepreryvnogo vejvlet-preobrazovaniya [Device for computing the discretized continuous wavelet transform]: Pat. 2437147 RF, IPC G 06 F 17/14. No. 2010127068/08; dec. 07/01/2010; publ. 20.12.2011, Bull. No. 35. – 9 p.

4 **Hamuhin, A. A.** Matematicheskaya model' yachejki odnorodnoj struktury dlya vychisleniya nepreryvnogo vejvlet-preobrazovaniya [Mathematical model of a cell of homogeneous structure for calculating the continuous wavelet transform]// Problems of informatics. – 2011. – No. 5. – P. 87–93.

5 **Hamuhin, A. A.** Primenenie yacheek odnorodnoj struktury dlya vychisleniya nepreryvnogo vejvlet-preobrazovaniya [Application of cells of homogeneous structure to calculate the continuous wavelet transform]// Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. – 2010. – Т. 317. – No. 5. – P. 149 – 153.

6 **Hamuhin, A. A.** O parallel'nom vychislenii nepreryvnogo vejvlet-preobrazovaniya v zadache obnaruzheniya uzkopolosnyh shumovyh gidroakusticheskikh signalov na osnove integral'nogo vejvlet-spektra [On parallel computation of a continuous wavelet transform in the problem of detecting narrow-band noisy hydroacoustic signals based on the integral wavelet spectrum]// Technical acoustics. Electron. magazine 2012. No. 5. [Electronic resource] – URL: <http://ejta.org/ru/khamukhin1> (date of access: 06/20/2013).

7 **Hamuhin, A. A.** Iteracionnyj algoritm vychisleniya diskretizirovannogo nepreryvnogo vejvlet-preobrazovaniya [Iterative Algorithm for Calculating Discretized Continuous Wavelet Transform] // Bulletin of computer and information technologies. – 2013. – No. 3. – P. 9–13. Received October 21, 2013

8 **Novozhilov, A. N., Akaev, A. M., Novozhilov, T. A., Volgina, E. M.** Obzor zaschit vitkovich zamikanii v sinchronnyh machinah [Overview of coil fault protection in synchronous machines] // Bulletin of PSU (Energy Series). – Pavlodar, 2014. – No. 3. – P. 262–268.

9 **Nebolubov, U. E. K** voprosu o releynoi zashite sinchronnyh kompensatorov [On the issue of relay protection of synchronous compensators].– 113–117 p.

10 **Silaeva, T. A.,** Nazarov, Y. G. Sposob zaschity sinchronnyh generatorov ot vitkovykh zamykanii v obmotke statora [Method of protection of synchronous generators from coil short circuits in the stator winding]. – Elektrichestvo, 1975. – No. 4. – P. 12–16.

Материал поступил в редакцию 13.06.22.

**А. М. Акаев¹, Ж. Б. Исабеков², Б. Б. Исабекова³, Е. Ж. Жумжуман⁴, А. Т. Абенова⁵*

^{1,2,3,4,5} Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ. Материал баспаға 13.06.22 түсті.

ВЕЙВЛЕТ-ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ СИНХРОНДЫ КОМПЕНСАТОР РОТОРЫ ОРАМАСЫНЫҢ ОРАМДЫҚ ҚЫСҚА ТҰЙЫҚТАЛУЫН АНЫҚТАУ ӘДІСІ

Реактивті қуатты қарымталау электр желілерінің ажырамас бөлігі болып табылады. Бұл процесс қарымталағыш құрылғылардың көмегімен жүзеге асады, олардың бірі синхронды қарымталағыш болып табылады. Компенсациялық құрылғының релейлік қорғанысы басқа электр жабдықтарын қорғау сияқты міндетті болып табылады.

Синхронды қарымталағыш роторының орамасындағы қысқа тұйықталудың функционалды диагностикалаудың дәлелденген әдістерінің болмауы және үлкен генераторларда мұндай зақымданудың пайда болуы үлкен экономикалық шығындарға әкеледі. Мақалада генераторға ориентілген магнит өрісі сенсорының шығысындағы ЭҚК вейвлет-талдауы негізінде ротор орамасындағы қысқа тұйықталудың диагностикалық белгісін іздеу берілген. Үздіксіз вейвлет-түрлендіру негізінде талданатын сигнал арқылы генератордағы орамааралық қысқа тұйықталуды анықтауға мүмкіндік беретін уақыт шкаласының спектріне эксперименттік талдау жасалды. Алгоритм тікелей синхронды қарымталағыштың өзінде орнатылған сенсорлардың мәліметтер негізінде сыналды. Магнит өрісі сенсорының мәліметтеріне сай үздіксіз толқындық вейвлет-түрлендіру спектрограмма негізінде синхронды қарымталағыш орамасында орамааралық қысқа тұйықталудың болуын анықтауға болады. Ұсынылған деректерді оңдеу әдісі орамааралық қысқа тұйықталуды уақтылы анықтауға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: синхронды генератор роторы, магниттік шашырау ағыны, ротордың орамдық тұйықталуы, интегралдық вейвлет-спектр, вейвлет-коэффициенттердің дисперсиясы.

METHOD FOR DETECTING WINDING CLOSURES OF THE ROTOR WINDING OF A SYNCHRONOUS COMPENSATOR BASED ON WAVELET ANALYSIS

Reactive power compensation is an integral part in electrical networks. This process occurs with the help of compensating devices, one of which is a synchronous compensator. Relay protection of the compensating device is also mandatory, as is the protection of other electrical equipment.

The absence of proven methods of functional diagnostics of a winding circuit in the rotor winding of a synchronous compensator and the occurrence of such damage in large generators leads to great economic damage. The article presents a search for a diagnostic sign of the occurrence of a short circuit of the rotor winding based on a wavelet analysis of the EMF at the output of a magnetic field sensor installed in the end part of the generator. Based on the continuous wavelet transform, an analysis of experimental data was carried out to obtain a spectrum in a time scale that allows detecting local inhomogeneities of the analyzed signal. The algorithm was tested on the basis of sensor data, which are installed directly on the synchronous compensator itself. Based on the deviation of the spectrogram data of the continuous wavelet transform of the signal from the magnetic field scattering sensor, it is possible to detect the presence of loop closures in the winding of the synchronous compensator. The proposed method of data processing makes it possible to detect loop closures in a timely manner.

Keywords: Synchronous compensator rotor, scattering magnetic flux, rotor winding closures, integral wavelet spectrum, dispersion of wavelet coefficients.

*А. С. Аканова¹, Н. Н. Оспанова², С. А. Бельгибаева³,
А. А. Шоқымова⁴

^{1,2,3,4}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.:

²Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

МОБИЛЬДІК ҚОСЫМШАЛАРДЫ ӘЗІРЛЕУДЕГІ КОНЦЕПТУАЛДЫ МОДЕЛЬДЕУДІҢ МАҢЫЗДЫЛЫҒЫ

Зерттеудің мақсаты мобильдік қосымшаның концептуалды моделін сызудың үлкен маңыздылығын қарастырып, оны эксперимент арқылы дәлелдеп көрсету болып табылды. Осы мақсатқа жету үшін студенттердің қозғалысын бақылайтын мобильдік қосымшаның концептуалды моделі көрсетілген. Сонымен қатар модельдеудің басты мақсаттың бірі моделдеу диаграммалардың арасында тиістісін таңдап қосымшаның бөлшектерінің арасындағы логикалық қатынасты дұрыс көрсету, біздің жағдайды Use Case және Sequential диаграмма арқылы қосымша қолданушысымен оның әрекетінің моделін, әрі сол бизнес-процесстерді декомпозициалауын көрсету. Себебі қосымшаның концептуалды моделі арқылы қосымшаның пайланушыларының әрекеттерін және солардың өзара қатынасын көрсетіп бағдарламаушының қателерінің алдын алу болып табылады. Аталмыш эксперимент бойынша, топқа бөлінген бағдарламалаушылардың жіберілген қателері есептелініп, пайыз қатынасымен көрсетілді, яғни концептуалды модельмен істеген топта 20 % қате кетті, ал модельсіз жасаған топта 65 % қате кетті. 65 % қате концептуалды модельдегі көрсетілген объектілердің өзара қатынастарын алмастырып алудан тұрады. Яғни объектілерге әрекеттер дұрыс тағайындалмаған, бағдарламалаушылар мәселені дұрыс түсінбеген, бірнеше рет есепті қайталап жібергені кездесті. 20 % қате бағдарламалаушылар өздігінен қандайда бір функция қосыт, ол функция басқа бір функцияға әсері тигеннен шықты.

Кілтті сөздер: мобильдік қосымша, модельдеу тілі, концептуалды модель, функционалды диаграмма, UML.