

УДК 621.314

## МЕТОДИКА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Денисов А. В., Треков А. Г., Митяшин Н. П.

*ФГБОУ ВПО "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.", Саратов, Россия (410054, Саратов, ул. Политехническая, 77), e-mail: denisov\_alex.v@mail.ru*

Предлагается методика представления в реальном масштабе времени состояния преобразовательного комплекса (ПК) с целью распознавания причин снижения качества генерируемой им электроэнергии. Методика основана на автоматическом наблюдении за характером изменения токов и напряжений на выбранных элементах силовой схемы и сравнении наблюдаемых сигналов с заранее накопленными законами изменения этих сигналов для основных видов неисправностей. Для автоматизации распознавания типа неисправности использован аппарат контурного анализа. Реализация предлагаемой методики позволит в реальном масштабе времени контролировать качество электрической энергии, генерируемой ПК, и выявлять наиболее вероятные причины его снижения. Дальнейшие перспективы проекта – распространение методики на другие предметные области, поскольку разработанная методика является универсальной и может представлять интерес для специалистов различных областей техники.

Ключевые слова: контурный анализ, преобразовательный комплекс, показатели качества электроэнергии, аварийные и предаварийные режимы, деградация.

## TECHNIQUE OF REPRESENTATION OF THE CONDITION OF THE CONVERTING COMPLEX IN REAL TIME

Denisov A. V., Trekov A. G., Mityashin N. P.

*Saratov state technical university named after Gagarin Y.A., Saratov, Russia (410054, Saratov, street Polytechnical, 77), e-mail: denisov\_alex.v@mail.ru*

The representation technique in real time conditions of a converting complex (personal computer) for the purpose of recognition of the reasons of decrease in quality of the electric power generated by it is offered. The technique is based on automatic supervision over character of change of currents and pressure on the chosen elements of the power scheme and comparison of observable signals with in advance saved up laws of change of these signals for principal views of malfunctions. For automation of recognition of type of malfunction the device of the planimetric analysis is used. Realisation of an offered technique will allow to supervise in real time quality of the electric energy generated by the personal computer, and to establish the most probable reasons of its decrease. The further prospects of the project - technique distribution on other subject domains as the developed technique is universal and can be of interest for experts of various areas of technics.

Key words: the planimetric analysis, converting complex, indicators of quality of the electric power, emergency and preemergency operation, degradation.

### Введение

Проблема качества электроэнергии и пути ее решения в данный момент обусловлены возросшим распространением новых видов нагрузок и источников, в частности, вентильных преобразователей и комплексов. Последние, являясь генераторами высших гармоник, вносят значительные искажения в форму кривой напряжения. Те меры, которые предпринимаются для устранения этих недостатков в номинальных режимах, оказываются неэффективными в случаях выхода из строя элементов, предусмотренных для реализации этих мер, хотя это и не приводит к нарушению общей работоспособности (деградация ПК). Такие режимы ПК назовем предаварийными.

## Цель исследования

Таким образом, в настоящее время все большую практическую ценность приобретают разработки, направленные на улучшение показателей качества электрической энергии в электрических комплексах и предотвращение их ухудшения [5]. Целью настоящей работы является создание методики представления образа состояния ПК с целью автоматического обнаружения типичных предаварийных и аварийных режимов их работы.

## Методика исследования

Для автоматизации распознавания типа неисправности в ПК может быть использован аппарат контурного анализа (далее КА) [1]. В традиционном применении КА применяется для описания, хранения, сравнения и поиска объектов, представленных в виде плоских замкнутых кривых без пересечений – контуров. При этом имеется в виду, что непрерывная кривая в компьютерном представлении моделируется последовательностью точек экрана – пикселей. Приведенные ниже формулы КА могут применяться в задаче распознавания неисправностей в ПК. При этом под термином «контур» нами понимается не визуальный образ, а вектор мгновенных значений наблюдаемого или образцового для некоторого предаварийного режима процесса. Сохранение этого термина связано с тем, что он употребляется в применяемом нами аппарате контурного анализа.

В КА контур кодируется последовательностью комплексных чисел. На контуре фиксируется точка, которая называется начальной. Затем, контур обходится, и каждый вектор смещения записывается комплексным числом  $a+ib$ . Здесь действительная часть кода  $a$  – смещение точки по оси  $X$ , а мнимая  $b$  – смещение по оси  $Y$  относительно предыдущей точки.

Таким образом, контур описывается последовательностью комплексных чисел

$$\Gamma = \{\gamma_k = a_k + ib_k\}, k = 0, \dots, n-1,$$

где  $n$  – количество точек в пиксельной модели кривой, которое будем считать фиксированным. Для целей распознавания необходимо ввести метрику, характеризующую степень совпадения (близость) двух контуров. Для этой цели вводятся скалярное произведение и нормированное скалярное произведение контуров. Пусть  $\Delta = \{\delta_k = c_k + id_k\}$  – контур той же размерности, что и контур  $\Gamma$ . Тогда скалярное произведение этих контуров задается формулой

$$\eta = (\Gamma, \Delta) = \sum_{k=0}^{n-1} (\gamma_k, \delta_k) = ac + bd + i(bc - ad).$$

Таким образом, скалярное произведение контуров есть комплексное число, действительная часть которого является обычным скалярным произведением евклидовых векторов с соответствующими координатами.

Нормированное скалярное произведение (НСП) задается формулой

$$\psi(\Gamma, \Delta) = \frac{(\Gamma, \Delta)}{|\Gamma||\Delta|},$$

где  $|\Gamma|$  и  $|\Delta|$  – нормы контуров, вычисляемые по формуле

$$|\Gamma| = \sqrt{\sum_{k=0}^{n-1} |\gamma_k|^2}.$$

Нормированное скалярное произведение (НСП)  $\psi(\Gamma, \Delta)$  может служить мерой близости контуров благодаря следующему свойству:  $\psi(\Gamma, \Delta)$  есть комплексное число, для которого

$$|\psi(\Gamma, \Delta)| \leq 1,$$

причем равенство здесь выполняется тогда и только тогда, когда контуры  $\Gamma$  и  $\Delta$  отличаются лишь поворотом и масштабом, независимо от того, где они находятся. Это означает, что равенство  $|\psi(\Gamma, \Delta)| = 1$  равносильно равенству

$$\Gamma = \mu\Delta,$$

где  $\mu$  – некоторое комплексное число, определяющее масштаб и угол между контурами. При этом действительная часть  $\psi(\Gamma, \Delta)$  дает косинус этого угла.

Если же модуль  $\psi(\Gamma, \Delta)$  меньше единицы, то это свидетельствует о несовпадении форм контуров, причем меньшая величина  $|\psi(\Gamma, \Delta)|$  соответствует их большему различию.

Равенство  $|\psi(\Gamma, \Delta)| = 1$  для совпадающих по форме контуров имеет место лишь в том случае, если в качестве начальных точек последовательностей  $\Gamma$  и  $\Delta$  рассматривается одна и та же точка контура.

Обозначим теперь через  $n$  число распознаваемых неисправностей, а через  $m$  – число наблюдаемых процессов в преобразователе. Пусть  $U_i^k$  – характерный контур  $i$ -го наблюдаемого процесса, соответствующий  $k$ -й неисправности, а  $U_i$  – контур  $i$ -го наблюдаемого процесса в предъявляемом к распознаванию режиме работы преобразователя. Полные наборы этих контуров образуют  $m$ -мерные векторы [3, 4]:

$$\vec{U}^k = \begin{bmatrix} U_1^k \\ U_2^k \\ \vdots \\ U_m^k \end{bmatrix} \quad \text{и} \quad \vec{U} = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_m \end{bmatrix}.$$

Близость векторов  $\vec{U}^k$  и  $\vec{U}$  может служить оценкой возможности распознавания предъявленного режима как  $k$ -й неисправности. Эту близость векторов  $R_k(\vec{U})$  можно

выразить через определяемые описанным выше алгоритмом степени совпадения формы контуров  $U_i^k$  и  $U_i$ , т.е. через величины  $r_i^k = \psi(U_i, U_i^k)$ , следующим образом

$$R_k(\vec{U}) = \sum_{i=1}^m \rho_i^k r_i^k.$$

Здесь  $\rho_i^k, (k = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m)$  – наборы весовых коэффициентов, характеризующих важность формы кривой  $i$ -го наблюдаемого процесса для распознавания  $k$ -й неисправности. Коэффициенты  $\rho_i^k$  определяются экспертами, например, по методике, предложенной в [2]. При этом весовые коэффициенты должны быть нормированы, т.е.

$$\sum_{i=1}^m \rho_i^k = 1, \quad (1)$$

что обеспечивает выполнение равенства  $R_k(\vec{U}) = 1$  при полном совпадении  $\vec{U}^k$  и  $\vec{U}$ .

### Кодирование сигналов для контурного анализа

В результате моделирования или снятия сигнала с действующей установки формируется текстовый файл заданного объема, который можно представить в виде таблицы или кортежа

$$\Phi_1 = \{i, t_i, \rho_i\}, \quad i = 1, \dots, N$$

Здесь  $N$  – число значений кодируемого образа,  $i$  – порядковый номер значения,  $t_i$  и  $\rho_i$  – соответствующие момент времени и значение сигнала, причем  $t_{i+1} > t_i$ .

Для правильного отображения сигнала в виде контура необходимо, чтобы моменты времени фиксации сигнала были равноотстоящими, т.е.  $t_{i+1} - t_i = h$ , где  $h$  – фиксированная величина.

Поскольку кодируемый сигнал предполагается периодическим с периодом  $T$ , то будем считать, что  $h = T/N$ .

Для улучшения наглядности целесообразно перейти от исходного массива к его полярной интерпретации, для чего воспользуемся формулами

$$\varphi_i = i \cdot \frac{2\pi}{N}; \quad x_i = \rho_i \cdot \sin \varphi_i; \quad y_i = \rho_i \cdot \cos \varphi_i.$$

В результате формируется кортеж

$$\Phi_2 = \{i, \varphi_i, x_i, y_i\}, \quad i = 1, \dots, N$$

Пусть  $x_{\min}$  и  $x_{\max}$  – минимальное и максимальное значения из третьего столбца, а  $y_{\min}$  и  $y_{\max}$  – минимальное и максимальное значения из четвертого столбца.

Исходя из сложности формы сигнала, выбираем количество дискретизаций по осям  $x$  и  $y$ . Эти значения  $N_x$  и  $N_y$  влияют на точность аппроксимации формы сигнала: чем больше их величина, тем точнее представление формы кодом в контурном анализе.

Положим

$$\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{N_x}; \quad \Delta y = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{N_y}$$

Для завершения кодирования достаточно положить

$$\xi_i = \text{round}\left(\frac{x_{i+1} - x_i}{N_x}\right), \quad \eta_i = \text{round}\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{N_y}\right) \quad (2)$$

$i = 1, 2, \dots, N$ , причем полагаем  $x_{N+1} = x_1$ .

Здесь  $\text{round}(z)$  – функция округления до ближайшего целого, т.к. по определению компоненты кода контурного анализа целые числа.

Поскольку каждое округление приводит к накапливаемой погрешности, то расчеты по последним формулам рекомендуется сопровождать следующей корректирующей процедурой.

После каждого округления следует накапливать текущие погрешности  $\delta x$  и  $\delta y$  по формулам:

$$\delta x = \delta x + x_{i+1} - x_i - \xi_i \cdot \Delta x; \quad \delta y = \delta y + y_{i+1} - y_i - \eta_i \cdot \Delta y.$$

При достижении величинами  $\delta x$  и  $\delta y$  значений  $\Delta x$  и  $\Delta y$  следует осуществлять коррекцию, заменяя на следующем шаге формулы (2) для расчета величин  $\xi_i$  и  $\eta_i$  формулами:

$$\xi_i = \text{round}\left(\frac{x_{i+1} - x_i + \delta x}{N_x}\right) \quad \text{и} \quad \eta_i = \text{round}\left(\frac{y_{i+1} - y_i + \delta y}{N_y}\right) \quad (3)$$

Результат кодирования теперь можно представить кортежем:

$$\Phi = \{i, \xi_i, \eta_i\}, \quad i = 1, \dots, N \quad (4)$$

Ниже представлены результаты работы программы, в которой реализован аппарат контурного анализа.

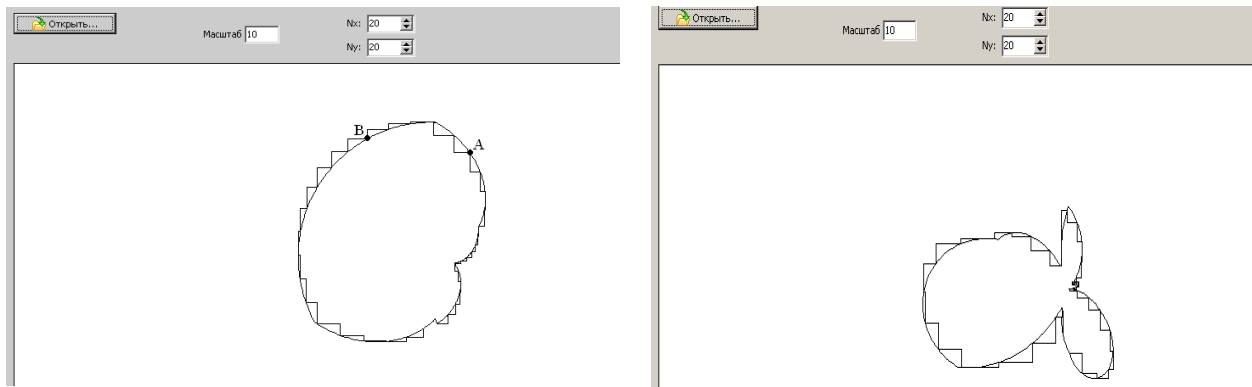


Рис.1. Визуализация результатов кодирования кривых с помощью контурного анализа

На рис.1 слева изображена экранная форма, на которой представлена кривая тока источника питания (слева) и кривая выходного напряжения (справа) при моделировании исчезновения импульса управления одного из тиристоров в трехфазном мостовом параллельном инверторе тока.

В результате получаем код кривой в табличном виде:

№	$\xi_1$	$\eta_1$
1	0	-5
...	...	...
<b>19</b>	3	-2
<b>20</b>	0	-4
<b>21</b>	-3	-2
<b>22</b>	-3	2
<b>23</b>	0	4
<b>24</b>	3	2
<b>25</b>	3	-1
<b>26</b>	1	-3
<b>27</b>	-2	-2
<b>28</b>	-3	1
<b>29</b>	-1	3
...	...	...
240	-2	-9
...	...	...
300	4	9
...	...	...
360	-5	6

Таблица 1. Фрагмент результатов кодирования сигнала по полученной формуле (4) при моделировании обрыва тиристора или исчезновении импульса управления тиристором. В таблице 1 выделен интервал из 10 точек (от т.19 до т.29) из общего интервала в 360 точек, на рис.1 – интервал между т. А и т. В (на изображении слева)

### **Прогнозируемый результат исследования**

Реализация предлагаемой методики позволит в реальном масштабе времени контролировать качество электрической энергии, генерируемой ПК, и выявлять наиболее вероятные причины его снижения.

### **Заключение**

Научная и практическая новизна заключается в разработке оригинальной методики представления информации о текущем состоянии ПК и предпосылке создания на ее основе системы распознавания предаварийных режимов работы.

Дальнейшие перспективы проекта – распространение методики на другие предметные области, поскольку разработанная методика является универсальной и может представлять интерес для специалистов различных областей техники.

### **Список литературы**

1. Введение в контурный анализ / Под ред. Я. А. Фурмана. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
2. Денисов А. В., Митяшин Н. П. Некоторые алгоритмы сведения многокритериальных задач к однокритериальным. // Анализ, синтез и управление в сложных системах: Сборник научных трудов. – Саратов: СГТУ, 2010. – С.85-91.
3. Денисов А. В., Паранькина А. С. Моделирование причинно-следственных связей в задачах повышения качества электроэнергии, генерируемой преобразователем частоты // Научно-технический журнал Вестник СГТУ №4(51). – Вып. 3. – Саратов: СГТУ, 2010. – С.172-176.
4. Денисов А. В., Халистова В. А., Смольков М., Федосеева М. Графические образы неисправностей в схемах вентильных преобразователей // ММТГ – 24 – Математические методы в технике и технологиях: сборник трудов конференции молодых ученых и студентов СГТУ. – Саратов: СГТУ, 2011. – С.57-58.
5. Митяшин Н. П. Агрегированные преобразовательные комплексы для питания цеховой двигательной нагрузки на частотах, отличных от общепромышленной: дисс... д-ра техн. наук. – Саратов, 2003. – 450 с.

### **Рецензенты:**

Угаров Геннадий Григорьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» СГТУ имени Гагарина Ю. А., г. Саратов.

Львов Алексей Арленович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническая кибернетика и информатика» СГТУ имени Гагарина Ю. А., г. Саратов.

