

УДК 621.31.031

## КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

М.М. Соколов

Омский государственный университет путей сообщения  
E-mail: SokolovMM@omgups.ru

**Соколов Максим Михайлович**, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматики и телемеханики Омского государственного университета путей сообщения.

E-mail:

SokolovMM@omgups.ru

Область научных интересов: совершенствование систем электроснабжения устройств автоматики и телемеханики, диагностика устройств автоматики и телемеханики.

В статье рассматриваются вопросы контроля качества электрической энергии, питающей устройства автоматики железных дорог. Цель работы – решение задачи выбора источника электрической энергии с лучшими показателями качества. Актуальность этой задачи обусловлена тем, что от выбора правильного источника электропитания зависит надежная работа устройств автоматики и, как следствие, безопасность движения поездов. Существующие системы переключения источников электропитания не позволяют учитывать основные показатели качества электрической

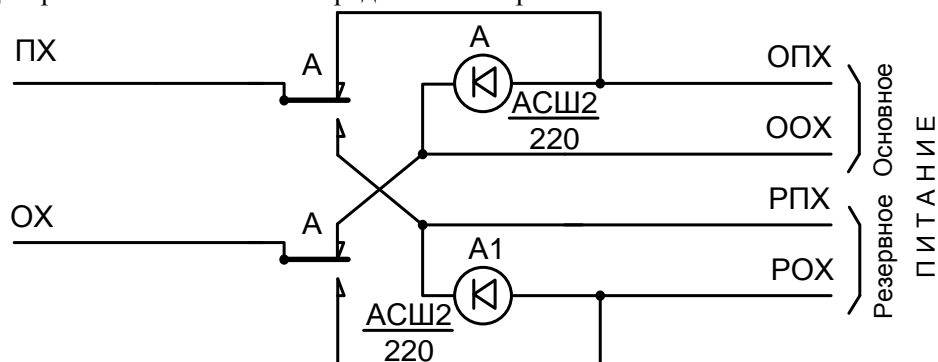
энергии, влияющие на работу устройств железнодорожной автоматики. В работе показана возможность применения математического аппарата функций нескольких переменных для оценки качества электрической энергии при помощи одного показателя. Предложенная методика позволит получить более наглядную картину о текущем состоянии качества напряжения фидера и многофидерной системы электропитания в целом, а также позволит определять предотказные состояния по электропитанию.

**Ключевые слова:**

Качество электрической энергии, устройства железнодорожной автоматики, многофидерная система, функция нескольких переменных, характеристическая функция.

Наряду с надежностью электроснабжения качество электроэнергии является решающим фактором для безотказной работы автоматизированных систем, в том числе и на железнодорожном транспорте. По этой причине качество электроэнергии все чаще становится одним из решающих критериев оценки экономического ущерба, и поэтому как для поставщика электроэнергии, так и для конечного пользователя необходимы постоянный контроль и протоколирование качества электроэнергии [1, 2].

В настоящее время питание устройств автоблокировки (АБ) осуществляется от двух источников питания: основного и резервного. Для числовой кодовой АБ (ЧКАБ) основным источником электропитания является высоковольтная линия АБ, резервный – ЛЭП на опорах контактной сети. Выбор источника питания осуществляется на основании положения контактов аварийных реле А и А1 типа АСШ2-220, отвечающих за основное и резервное питание соответственно [3]. Фрагмент схемы ЧКАБ представлен на рис. 1.



**Рис. 1.** Фрагмент схемы ЧКАБ

При пропадании питания от основного источника это фиксируется обесточенным состоянием реле А, и его тыловые контакты коммутируют цепь питания от резервного источника.

Реле типа АСШ предназначены для включения резервного питания при аварии основной питающей линии и работают от переменного тока частотой 50 Гц. Параметры реле типа АСШ2-220М приведены в табл. 1 [4].

**Таблица 1.** Параметры реле типа АСШ2-220М

Тип реле	Сопротивление обмоток, Ом	Напряжение, В		
		номинальное	отпускания якоря, не менее	полного притяжения якоря, не более
АСШ2-220	2×5000	220	133	190

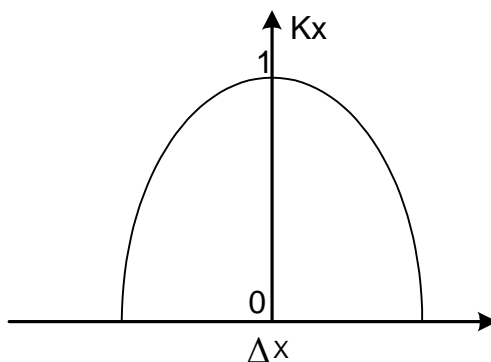
Как видно из таблицы, реле данного типа позволяет только зафиксировать провал напряжения до значений ниже 133 В, в то время как согласно Р54149–2010 предельно допустимое значение отклонения напряжения от номинального значения составляет 10 % (соответствует значению 198 В). При этом не учитывается перенапряжение основного источника питания и не проверяется качество резервного источника питания.

Таким образом, возможно питание от основного источника при перенапряжении и переключение на неисправный резервный источник питания в случае провала напряжения на основном источнике. Также не принимаются во внимание значение частоты переменного тока и наличие несинусоидальности.

Отсутствие контроля показателей качества электроэнергии (ПКЭ) на перегоне может стать причиной различного рода отказов. Выход напряжения за предельные нормы угрожает ложной свободностью и ложной занятостью рельсовых цепей, снижением видимости светофоров и выходом приборов из строя. Несинусоидальность напряжения и отклонение частоты в первую очередь влияют на работу преобразователей частоты в рельсовых цепях 25 Гц.

Предлагается ввести метод комплексной оценки качества электропитания по ряду показателей, что позволит однозначно определять фидер с наилучшими показателями качества электрической энергии (ПКЭ), а также прогнозировать предотказные состояния.

Суть предлагаемого метода в следующем: для каждого из контролируемых параметров вводится характеристическая функция  $K$ , которая для номинального значения параметра будет равна единице и убывать по мере увеличения отклонения параметра от номинального значения. В случае выхода отклонения параметра из области предельно допустимых значений характеристическая функция равна нулю, т. е. в области допустимых значений характеристическая функция будет больше нуля, а вне области допустимых значений – равна нулю. Пример графика характеристической функции для параметра  $x$  представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** График характеристической функции фидера для параметра  $x$

Из графика видно, что при нулевом отклонении параметра  $x$  значение характеристической функции максимально и равно единице. При отклонении параметра  $x$  в сторону увеличе-

ния или уменьшения значение характеристической функции уменьшается и при превышении предельно допустимого значения становится равным нулю.

Применение характеристической функции позволяет однозначно сказать, удовлетворяет ли контролируемое значение требованиям ГОСТ Р54149–2010 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» [5], а также показывает, насколько оно приближено к номинальному значению.

Подобные характеристические функции можно задать для всех контролируемых параметров, как то: отклонение напряжения, отклонение частоты, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения.

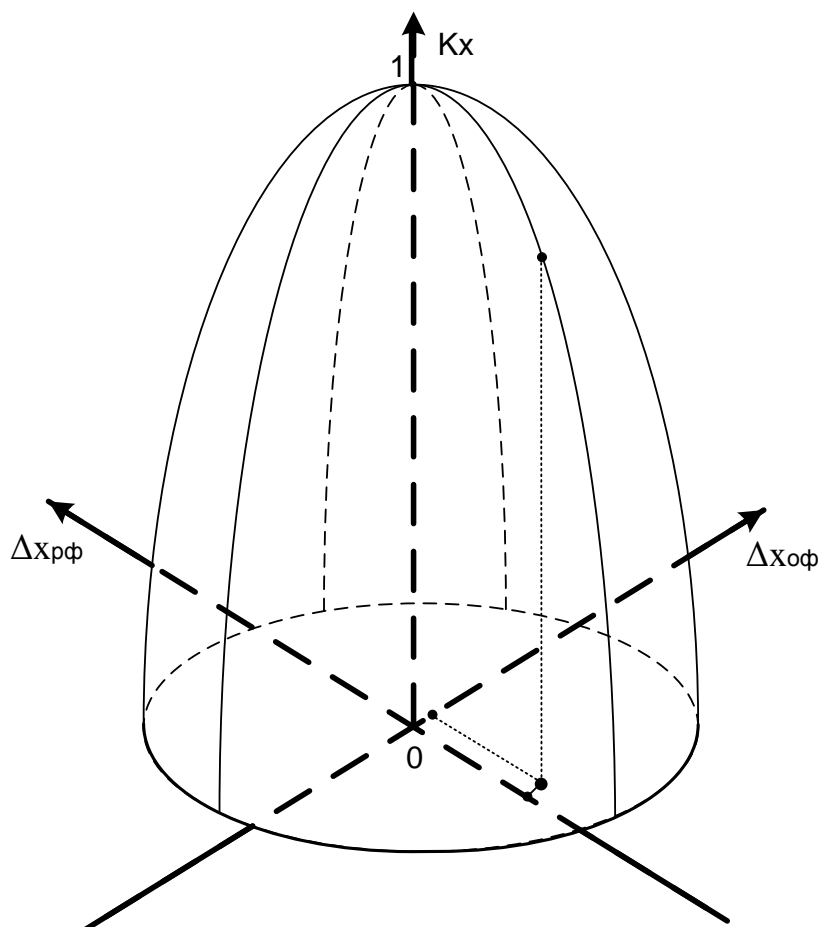
Итоговую характеристическую функцию качества напряжения фидера целесообразнее вычислять по формуле среднего геометрического:

$$K_{\phi} = \sqrt[i]{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_i}, \quad (1)$$

где  $K_{\phi}$  – характеристическая функция качества напряжения фидера;  $K_1, K_2, K_3, K_i$  – характеристическая функция одного ПКЭ;  $i$  – количество контролируемых ПКЭ.

В этом случае характеристическая функция качества напряжения фидера (ХФКНФ) – это функция, которая имеет значение больше нуля, если все контролируемые ПКЭ находятся в области предельно допустимых значений, и равна нулю, если хотя бы один из контролируемых ПКЭ выходит за границы области предельно допустимых значений. Максимальное значение, равное единице, ХФКНФ будет принимать в том случае, когда все контролируемые параметры не имеют отклонения от номинального значения.

Для системы электропитания с двумя источниками питания график характеристической функции параметра  $x$  будет выглядеть следующим образом (рис. 3).



**Рис. 3.** График характеристической функции для параметра  $x$  при двухфидерной системе электропитания

Но при данном подходе значение характеристической функции двухфидерной системы электропитания для определенного ПКЭ не сможет однозначно охарактеризовать его отклонение для каждого фидера в отдельности, т. е. любое значение  $K_i$  будет соответствовать множеству различных ситуаций. Необходимо ввести характеристические функции для контролируемых ПКЭ основного и резервного фидера. Пусть  $K_{Xo\phi}$  и  $K_{Xp\phi}$  – характеристические функции для контролируемого параметра  $x$  основного и резервного фидера соответственно, тогда введем функцию, характеризующую соответствие контролируемого параметра  $x$  требованиям ГОС-Та с учетом того, что питание происходит от двух источников.

В данном случае можно обратиться к теории функций нескольких переменных. *Функция двух переменных* – множество упорядоченных пар  $(x, y)$ , где числовые значения  $x$  и  $y$  принадлежат множествам  $x \in X, y \in Y$ . Если задан закон, согласно которому каждой паре  $(x, y)$  соответствует единственное числовое значение  $z$ , то говорят, что задана функция двух переменных. Обычно такая функция обозначается в виде  $z = z(a, b), z = f(a, b), z = F(a, b)$  и т. д.

Аналогичным образом определяется функция  $n$  переменных.

В тригонометрическом виде функцию  $z = a + i \cdot b$  можно представить как  $z = a + i \cdot b = R(\cos(\phi) + i \cdot \sin(\phi))$ . Такой вид записи называется тригонометрическим. Множитель  $R$  называется модулем, а число  $\phi$  – аргументом. Они определяются из следующих соотношений:

$$R = |z| = \sqrt{a^2 + b^2},$$

$$\phi = \begin{cases} \arctan \frac{b}{a}, a > 0 \\ \frac{\pi}{2}, a = 0, b > 0 \\ \pi + \arctan \frac{b}{a}, a < 0, b \geq 0 \\ -\frac{\pi}{2}, a = 0, b < 0 \\ -\pi + \arctan \frac{b}{a}, a < 0, b < 0 \end{cases}$$

Обратно к алгебраической форме записи можно перейти по формулам

$$a = |z| \cos \phi,$$

$$b = |z| \sin \phi, \quad -\pi < \phi \leq \pi.$$

В показательном виде можно записать с помощью формулы Эйлера:

$$e^{a+bi} = e^a (\cos b + i \sin b),$$

тогда:

$$z = a + bi = R \cdot e^{i\phi}.$$

Используя вышеуказанные формулы, получим

$$K_x = K_{Xo} + i \cdot K_{Xp},$$

$$|K_x| = \sqrt{(K_{o\phi})^2 + (K_{p\phi})^2}, \quad (2)$$

$$\varphi_K = \begin{cases} \operatorname{arctg}\left(\frac{K_{p\phi}}{K_{o\phi}}\right), K_{o\phi} \neq 0 \\ \frac{\pi}{2}, K_{o\phi} = 0 \end{cases}, \quad (3)$$

где  $|K_x|$  – модуль характеристической функции двухфидерной системы электропитания для параметра  $x$ ;  $K_{o\phi}$  и  $K_{p\phi}$  – характеристические функции качества напряжения основного и резервного фидера соответственно, рассчитываемые по формуле (1).

$\varphi_{K_x}$  – угол, характеризующий вклад  $K_{Xo\phi}$  и  $K_{Xp\phi}$  в  $K_X$ .

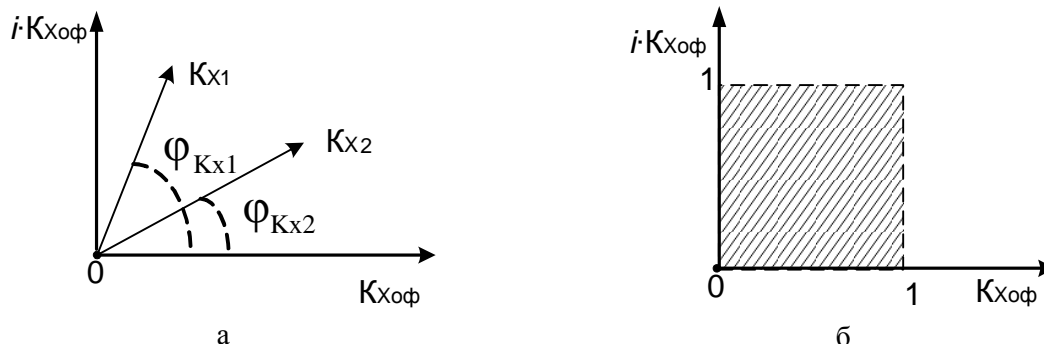
Общий вид характеристической функции:

$$K_X = A_{K_x} \varphi_{K_x}^{K_x}.$$

Графическое представление характеристической функции двухфидерной системы электропитания представлено на рис. 4, а.

Как видно из формулы (2), максимальное значение  $|K_x|$  равно  $\sqrt{2}$  и будет получаться при максимальных значениях  $K_{Xo\phi}$  и  $K_{Xp\phi}$ , т. е. в том случае, когда контролируемый показатель обоих фидеров равен номинальному значению. В свою очередь, значение фазы  $\varphi_{K_x}$  (3) будет изменяться в пределах от 0 до  $\pi/2$ , т. к. значения  $K_{Xo\phi}$  и  $K_{Xp\phi}$  всегда больше нуля. Область значений характеристической функции представлена на рис. 4, б.

Значениями, соответствующим номинальным значениям параметров на основном и резервном фидерах, будут:  $|K_x| = \sqrt{2}$  и  $\varphi_{K_x} = \pi/4$  или  $K_x = \sqrt{2} e^{i\pi/4}$ .



**Рис. 4.** Графическое представление характеристической функции двухфидерной системы электропитания: а – характеристическая функция, б – область значений характеристической функции

Для системы электроснабжения с тремя и более источниками электропитания расчет характеристической функции может вестись по аналогии.

Применение показанных выше характеристических функций качества напряжения позволит получить более наглядную картину о текущем состоянии качества напряжения фидера и двухфидерной системы электропитания в целом, а также позволит определять предотказные состояния по электропитанию. Характеристические функции качества напряжения могут применяться для грубой оценки соответствия качества контролируемого напряжения требованиям ГОСТ Р54149–2010 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов М.М. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения устройств автоматики железных дорог // Известия Транссиба. – Омск. – 2011. – № 1(5). – С. 77–83.
2. Соколов М.М. Моделирование линии электроснабжения перегонных устройств железнодорожной автоматики / Научные исследования и их практическое применение. Современное

- состояние и пути развития – 2009: сб. научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Т. 1. – Одесса: Черноморье, 2009. – С. 8–10.
3. Соколов М.М. Контроль технического состояния линии электроснабжения устройств железнодорожной автоматики // Известия Транссиба. – Омск. – 2012. – № 3(11). – С. 88–95.
  4. Сороко В.И., Фотькина Ж.В. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: справочник. Кн. 2. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: НПФ Планета, 2013. – 1048 с.
  5. ГОСТ Р54149-2010 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». – М.: Стандартиформ, 2012. – 15 с.

Поступила 06.10.2014