

5. Схема спаренных фаз при условии $\psi_{2u} = \psi_{1u} - 120^\circ$; $\psi_{2I} = \psi_{1I} - 120^\circ$; $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$, но $|\dot{U}_1| \neq |\dot{U}_2|$ и $|\dot{i}_1| \neq |\dot{i}_2|$. После соответствующих преобразований при $k_u \neq 1$ и $k_I \neq 1$ из формулы (17) получим

$$\dot{S}_k = 3U_k I_1 \frac{1+k_u k_I}{\sqrt{k_u^2 + k_u + 1}} e^{-j\varphi} \quad (25)$$

При $k_u = 1$

$$\dot{S}_k = \sqrt{3} U_k I_1 (1+k_I) e^{-j\varphi} \quad (26)$$

В качестве примера рассмотрим коаксиальную сверхпроводящую кабельную линию переменного тока с изменяющимся напряжением от 0,4 до 110 кВ и током от 1 до 50 кА. Для выбранных величин определим числовые значения комплекса полной мощности. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Анализ полученных зависимостей (20)–(26) при значениях $k_u = 1$; $k_u \neq 1$ и $k_I = 1$; $k_I \neq 1$ (табл. 1), разных углах φ и ψ показывает, что мощность линий электропередачи с коаксиальными фазами при вариантах схем противофазы и спаренных фаз не изменяется, а по отношению к схеме противотока – увеличивается в два раза.

УДК 621.316.1:658.26

Б.М. Валов, В.В. Прокопчик

ПОГРЕШНОСТИ АППАРАТУРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Для контроля и анализа показателей качества электроэнергии (ПКЭ) в настоящее время широко используется плотность распределения (ПР). Это обусловлено тем, что ПКЭ являются случайными процессами, которые наиболее полно описываются указанной вероятностной характеристикой. Применение ПР уже реализовано в известном приборе САКН (статистический анализатор качества напряжения) и рекомендуется для использования в других приборах контроля ПКЭ. Вместе с тем при аппаратурном определении ПР имеют место случайные погрешности, которые необходимо учитывать для получения достоверной информации.

Исследованию погрешностей определения ПР посвящен ряд работ [1, 2]. Однако общие положения этих работ не пригодны непосредственно для использования при анализе и тем более при практическом контроле ПКЭ.

В данной статье дается анализ зависимостей величины случайной погрешности при аппаратурном определении ПР в процессе контроля ПКЭ от различных факторов. Результаты исследований пригодны для использования на практике.

В [1] получено общее выражение погрешности определения ПР методом непрерывной выборки при оптимальной величине продолжительности измерения T

$$\gamma_w^2 = \frac{2}{T} \sum_{\nu=1}^{\infty} (C_{\nu} B_{\nu}) \cdot \left[\varphi \left(\frac{|x|}{\sigma_x} \right) \right]^{-2}, \quad (1)$$

где $C_{\nu} = \frac{1}{\nu!} \left[\varphi \left(\frac{|x|}{\sigma_x} \right) \right]$ - коэффициент разложения ПР в ряд Крамера; $B_{\nu} = \int_0^{\infty} \rho^{\nu}(\tau) d\tau$ - интервал корреляции ν -го порядка; $\varphi^{\nu} \left(\frac{|x|}{\sigma_x} \right)$ - ν -ая производная нормального закона

распределения; $|x|/\sigma_x$ - нормированный уровень анализа случайного процесса. Из (1) следует, что величина погрешности является функцией нескольких переменных, а выражение непосредственно не пригодно для практического использования. Проведем его упрощения.

Исследования авторов отклонения V , несинусоидальности U_2 и несимметрии ϵ_2 напряжения, а также данные [3, 4 и др.] показали, что в общем случае ПКЭ описываются нормированной автокорреляционной функцией (АКФ) вида

$$\rho(\tau) = \exp(-\alpha |\tau|) \cos \omega_0 \tau. \quad (2)$$

При практическом контроле ПКЭ положение интервала измерения ПР всегда выбирается так, чтобы наиболее вероятные значения всегда находились в его центре, т.е. $|x|/\sigma_x = 0$. Введем для общности результатов относительные величины продолжительности измерений $\theta = T/\tau_k$ и интервала дискретизации $d = \Delta t/\tau_k$, а также коэффициент кратности параметров АКФ $m = \omega_0/\tau_k$. Интервал корреляции для функции (2) равен $\tau_k = \alpha/(\alpha^2 + \omega_0^2) = 1/[\alpha(1+m^2)]$.

С учетом изложенного, выражение (1) преобразуется к виду

$$\gamma_w^2 = 2\alpha(1+m^2) \cdot \theta^{-1} \cdot [\varphi(0)]^{-2} \cdot \sum_{\nu=1}^{\infty} (C_{\nu} \cdot B_{\nu}). \quad (3)$$

Расчеты на ЦВМ показали, что величина γ_w слабо зависит от изменения α . Так, при изменении α в 100 раз величина γ_w изменяется не более чем в 1,5 раза. Поэтому в (3) можно положить $\alpha \approx \text{const}$. С учетом этого на ЦВМ рассчитана зависимость $\gamma_w(\theta, m)$, график которой приведен на рис. 1. Из этого графика просто определить оптимальную величину продолжительности измерения ПР $T = \theta \cdot \tau_K$ для наперед заданной величины погрешности.

Метод непрерывной выборки при определении ПР является наиболее точным по отношению к другим методам. В методе дискретной выборки величина погрешности определения ПР - δ_w зависит еще и от интервала дискретизации - Δt . Поэтому будем нормировать увеличение погрешности второго метода - $K\%$ по отношению к первому

$$K\% = 100 (\delta_w / \gamma_w - 1). \quad (4)$$

Отношение среднеквадратичных погрешностей оценок ПР - η , согласно [1], равно $\eta = \sqrt{D_D [W(x)] / D_H [W(x)]}$. Отсюда

$$K\% = 100 (\sqrt{\eta} - 1). \quad (5)$$

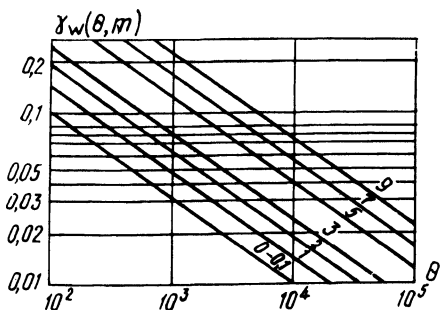


Рис. 1.

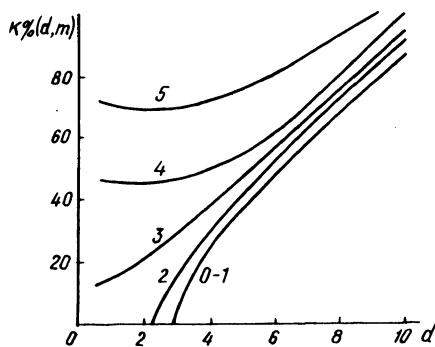


Рис. 2.

Анализ дисперсии оценки ПР по методу дискретной выборки с использованием положений теории случайных функций [5] показал, что она описывается выражением

$$D_D [W(x)] = \frac{1}{N} \left\{ \frac{\Delta x}{\sigma_x} \varphi\left(\frac{|x|}{\sigma_x}\right) \left[1 - \frac{\Delta x}{\sigma_x} \varphi\left(\frac{|x|}{\sigma_x}\right)\right] + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{\Delta x}{\sigma_x}\right)^2 \sum_{\nu=1}^{\infty} C_{\nu} \rho^{\nu}(i \cdot \Delta t) \right\}. \quad (6)$$

Подставляя (6) и выражение $D_H [W(x)]$ из [5] в (5), получим

$$\eta = \Delta t \left(2 \sum_{\nu=1}^{\infty} C_{\nu} B_{\nu} \right)^{-1} \left\{ \frac{\Delta x}{\sigma_x} \varphi \left(\frac{|x|}{\sigma_x} \right) \left[1 - \frac{\Delta x}{\sigma_x} \varphi \left(\frac{|x|}{\sigma_x} \right) \right] + 2 \left(\frac{\Delta x}{\sigma_x} \right)^2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{\nu=1}^{\infty} C_{\nu} \rho^{\nu} (i \cdot \Delta t) \right\}. \quad (7)$$

Из выражений (3) и (7) видно, что величина погрешности значительно определяется типом и параметрами АКФ контролируемого ПКЭ. Для различных ПКЭ и отраслей промышленности параметры АКФ значительно отличаются, например для спокойных и резкопеременных нагрузок. Поэтому при контроле ПКЭ величины T и Δt должны дифференцированно назначаться по ПКЭ и типам производства. Учет АКФ, кроме этого, позволяет также определять оптимальные величины T и Δt . Выражение (7) хотя и достаточно полно описывает увеличение погрешности определения ПР, однако не пригодно для практического использования. В последнем случае не обязательно знание зависимости η от всех параметров. Достаточно иметь выражение или график, дающие оценку сверху величины погрешности.

Как показали расчеты, с погрешностью не более 20% справедливо равенство $\sum_{\nu=1}^{\infty} C_{\nu} B_{\nu} = \tau_K \sum_{\nu=1}^{\infty} C_{\nu}$. Наибольшая величина η в (7) будет в том случае, когда величина дисперсии случайного процесса соизмерима с величиной Δx , т.е. $\sigma_x \approx \Delta x$. С учетом этих допущений и, подставляя в (7) выражение преобразованной нормированной АКФ (2), получим

$$\eta = d \left(2 \sum_{\nu=1}^{\infty} C_{\nu} \right)^{-1} \left\{ \varphi \left(\frac{|x|}{\sigma_x} \right) \left[1 - \varphi \left(\frac{|x|}{\sigma_x} \right) \right] + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{\nu=1}^{\infty} C_{\nu} \left[\exp \left(- \frac{i \cdot d}{1+m} \right)^2 \cdot \cos \left(\frac{i \cdot m \cdot d}{1+m} \right) \right]^{\nu} \right\}. \quad (8)$$

Анализ на ЦВМ выражения (8) показал, что величина η максимальна при $|x| / \sigma_x = 2$, поэтому случай выбран за расчетный. Тогда выражения (7) и (4) будут только функцией параметров АКФ. График этой зависимости приведен на рис. 2, который уже можно использовать в практике контроля ПКЭ. По графикам рис. 2 для наперед заданных величин δ_w и δ'_w , т.е. по $K\%$, можно просто определить оптимальную величину $\Delta t = d \cdot \tau_K$.

Таблица 1. Значения коэффициента кратности параметров АКФ

ПКЭ	Характер электрической нагрузки		
	Городская электрическая сеть	Непрерывные прокатные станы	Дуговые сталеплавильные печи
U_{γ}	0	0,5-2,0	1,0-3,0
V	0	0,5-1,0	1,0-2,5
ϵ_2	0	0-0,05	0,5-2,0

Полученные выражения (3) и (8), а также рис. 1 и 2 являются общими для всех ПКЭ, которые можно представить непрерывной функцией напряжения и описываются АКФ вида (2). Сюда относятся большинство ПКЭ. В свою очередь, кривые рис. 1 и 2 построены для $m = 0-10$, т.е. они охватывают весь диапазон типов электрических нагрузок - от спокойных до резкопеременных.

Применение формул (3) и (8), а также рис. 1 и 2 предполагает знание параметров АКФ для различных ПКЭ и типов электрических нагрузок. Такие данные должны быть получены в результате экспериментальных исследований и систематизированы, чтобы далее их использовать как априорные. Авторами проведены исследования для ряда характерных нагрузок (табл. 1).

Л и т е р а т у р а

1. Мирский Г.Я. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. - М.: Энергия, 1967. 2. Цветков Э.И. Основы теории статистических измерений. - Л.: Энергия, 1979. 3. Аберсон М.Л., Сысоев Л.П. Вероятностные характеристики напряжения в электрических сетях. - Электричество, 1973, № 8. 4. Смелянский М.Я., Минеев Р.В., Михеев А.П. Вероятностные характеристики пульсаций тока мощных дуговых электропечей. - Электричество, 1974, № 4. 5. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение. - М.: Физматгиз, 1962.