

Угол δ можно определить из выражения

$$\delta = \arcsin \frac{x I \cos \varphi_2 + R I \sin \varphi_2}{U_1} = \arcsin \frac{x P_2 + R Q_2}{U_1^2 - U_1 \Delta U}, \quad (6)$$

пренебрегая в первом приближении вторым членом в знаменателе формулы.

Л и т е р а т у р а

1. Статические источники реактивной мощности в электрических сетях / В.А. Веников, А.А. Жуков, И.И. Карташев, Ю.П. Рыжов. — М., 1975.
2. Устройство с управляемым реактором для регулирования напряжения в распределительной сети 10 кВ / М.С. Либкинд, В.М. Сорокин, В.Г. Пекелис, М.М. Налецкий. — Электрические станции, 1972, № 5.
3. Справочник по проектированию электрических систем / Под ред. С.С. Рокотяна, И.М. Шапиро. — М., 1971.

УДК 621.331.025.1:621.3.08

Б.М. Валов, В.В. Прокопчик

ВЫБОР ВРЕМЕНИ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ КОНТРОЛЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДИСКРЕТНЫМ МЕТОДОМ

В настоящее время для целей аппаратурного контроля показателей качества электроэнергии (ПКЭ) используются различные приборы и методы обработки экспериментальной информации, что делает получаемые результаты не равноточными и не всегда сопоставимыми. Несопоставимость результатов определяется главным образом различием методов обработки информации. Так, выбор продолжительности измерения и интервала дискретизации по времени осуществляется в большинстве случаев интуитивно, без какого-либо обоснования. Вместе с тем неучет характера изменения исследуемого ПКЭ и произвольный выбор времени измерения и интервала дискретизации может привести к значительным погрешностям получаемых вероятностных характеристик.

Поскольку все ПКЭ являются случайными функциями времени, то контроль за их изменениями осуществляется вероятностными методами. Наиболее широкое распространение нашел метод дискретной выборки, хотя его применение сопровождается появлением методических погрешностей случайного характера, связанных с заменой непрерывных реализаций процесса дискретными последовательностями их значений. Выбор продолжительности измерения (T) для ПКЭ определяется длительностью интервала относительной стационарности, который зависит от характера нагрузки электрической сети [1].

При известной величине T выбор необходимого времени дискретизации t_0 должен производиться исходя из допустимой погрешности измерения оценок вероятностных характеристик, которая зависит от характера изменения исследуемого ПКЭ. Основными вероятностными характеристиками при контроле ПКЭ являются математическое ожидание $M(x)$ и плотность вероятностей $W(x)$. Последняя для отклонений напряжения может непосредственно измеряться с помощью статистического анализатора отклонений напряжения.

Минимальной случайной погрешностью измерения $M(x)$ и $W(x)$ обладает метод непрерывной выборки. Найдем увеличение погрешности измерения $M(x)$ и $W(x)$ дискретным методом по отношению к методу непрерывной выборки. Дисперсия оценок математического ожидания $D_D[M(x)]$ и плотности вероятностей $D_D[W(x)]$, измеренные дискретным методом, определяются [2]

$$D_D[W(x)] = \frac{1}{N} [K(0) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} K(it_0) (1-i/T)]; \quad (1)$$

$$D_D[W(x)] = \frac{1}{\Delta x N} [K(0) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} K(it_0) (1-i/T)], \quad (2)$$

где N – число выборок на интервале T ; Δx – ширина интервала между уровнями квантования по амплитуде реализации случайного процесса $x(t)$. Увеличение погрешности измерения оценки математического ожидания ($\delta_M, \%$) и плотности вероятностей ($\delta_W, \%$) по отношению к непрерывному методу определяется по формулам [3]

$$\delta_M \% = \frac{D_D[M(x)]}{D_H[M(x)]} 100; \quad \delta_W \% = \frac{D_D[W(x)]}{D_H[W(x)]} 100, \quad (3)$$

где $D_H[M(x)] = 2 \sigma_x^2 \tau_K / T$

$$\text{и } D_H[W(x)] = 2/T \sum_{\nu=1}^L C_\nu B_\nu$$

дисперсии оценок $M(x)$ и $W(x)$ при измерениях методом непрерывной выборки. Подставляя (1) и (2) в формулы (3), после преобразования получим

$$\delta_M \% = 100 \sqrt{d \left[0,5 + \sum_{i=1}^K \rho(id\tau_K) - 1 \right]}; \quad (4)$$

$$\delta_W \% = 100 \sqrt{\left(\sum_{\nu=1}^L C_\nu B_\nu \right)^{-1} d\tau_K \left\{ 0,5 \sigma_x^2 \left(\frac{x}{\sigma_x} \right) x \right.}$$

$$x \left[1 - \frac{\Delta x}{\sigma_x} \varphi\left(-\frac{x}{\sigma_x}\right) \right] + \frac{\Delta x}{\sigma_x^2} \sum_{\nu=1}^L \sum_{i=1}^K C_{\nu} \rho^{\nu}(i d \tau_K) \} - 1, \quad (5)$$

где $d = t_0 / \tau_K$, а τ_K — интервал корреляции для $X(t)$; $\rho(\tau)$ — нормированная автокорреляционная функция; K — наибольшее число членов ряда $\rho(i d \tau_K)$; C_{ν} и B_{ν} — коэффициенты, зависящие от типа $\rho(\tau)$; $\varphi(x/\sigma_x)$ — плотность нормального распределения для значений x/σ_x ; L — наибольшая степень производных и интегралов в разложении $W(x)$ в ряд Крамера. Как видно из (4) и (5), величина погрешностей $\delta_M, \%$ и $\delta_W, \%$ определяется $\rho(\tau)$. Поэтому выбор t_0 при проведении измерений должен основываться на приближенном знании внутренней структуры измеряемых ПКЭ, т.е. $\rho(\tau)$.

Авторами проведены исследования $\rho(\tau)$ отклонений напряжения (ΔU), несимметрии (ϵ) и несинусоидальности напряжения U_{ν} для узлов сети, питающих различные нагрузки. Функция $\rho(\tau)$ колебаний токов V_t для дуговых сталеплавильных печей (ДСП) приведена в [4]. Исследования показали (табл. 1), что в большинстве случаев $\rho(\tau)$ имеет вид

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

На рис. 1 приведены графики погрешностей измерения оценок $M(x)$, рассчитанные по усредненным данным табл. 1 и выражению (4). По полу-

Т а б л и ц а 1. Величины α , ω_0 и коэффициенты $m = \omega_0 / \alpha$ для некоторых типов нагрузок и ПКЭ*

ПКЭ		Городская эл. сеть	Прокатные станы		ДСП-20 ДСП-200
			непрямые	реверсивные	
U_{ν}	m	—	1,66—0,8	—	—
	α	—	0,08—0,1	—	—
	ω_0	—	0,05—0,08	—	—
ΔU	m	0	0,69—0,75	0	—
	α	0,2—0,4	0,08—0,12	0,05—0,09	—
	ω_0	0	0,05—0,09	0	—
ϵ	m	—	0	1,28—8,8	—
	α	—	0,04—0,08	0,003—0,006	—
	ω_0	—	0	0,032—0,053	—
V_t	m	—	—	—	1,66—2,2
	α	—	—	—	1,02—3,03
	ω_0	—	—	—	2,7—6,6

*При аппроксимации экспериментальных $\rho(\tau)$ для городской сети время τ откладывалось в минутах, а для остальных нагрузок в секундах.

ченным кривым достаточно просто определить величину t_0 , соответствующую данной δ_M и виду автокорреляционной функции исследуемого ПКЭ. Требуемая величина t_0 определяется $t_0 = d\tau_K = d\alpha / [\alpha^2(1+m^2)]$. Необходимое количество дискретных измерений находится по формуле $N = T/t_0$.

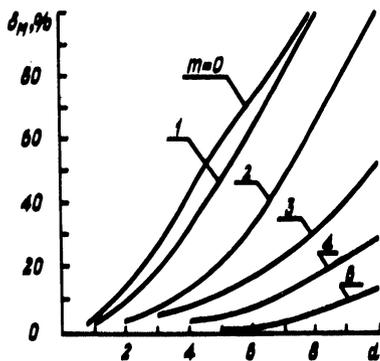


Рис. 1.

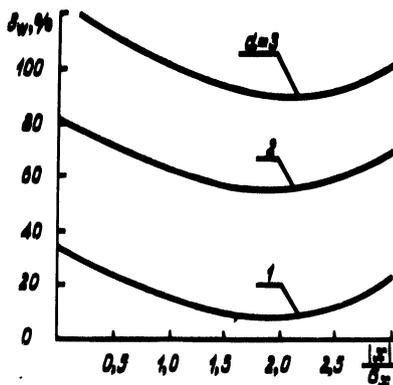


Рис. 2.

Расчеты по предлагаемой методике показали, что приемлемой точности измерения $M(x)$ и $W(x)$ можно достигнуть всегда, если время дискретизации t_0 выбирать примерно равным интервалу корреляции τ_K исследуемого ПКЭ. Для иллюстрации сказанного на рис. 2 приведены графики погрешности измерения $W(x)$, рассчитанные по выражению (5), для несимметрии напряжения ϵ с функцией $\rho(\tau) = e^{-0,0033|\tau|} \cos 0,0046\tau$, которые показывают, что при увеличении t_0 с величины τ_K до $3\tau_K$ погрешность измерения $W(x)$ увеличивается примерно в пять раз. Для практического использования величины τ_K можно находить по данным табл. 1.

Л и т е р а т у р а

1. П р о к о п ч и к В.В. Определение продолжительности измерения вероятностных характеристик напряжения в электрических сетях. — В сб.: Электрификация металлургических предприятий Сибири. Томск, 1976, вып. 3.
2. П у г а ч е в В.С. Теория случайных функций. — М., 1962.
3. М и р с к и й Г.Я. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. — М., 1972.
4. Влияние дуговых электропечей на системы электроснабжения / Под ред. М.Я. Смелянского, Р.В. Минеева. — М., 1975.