УДК 621.317

О. Г. ГРИБ, канд. техн. наук, *Ю. Э. ГОРОДЕЦКИЙ*

ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ

Отклонение напряжения в трехфазных сетях является одним из показателей качества электрической энергии согласно ГОСТ 13109—67. Данный показатель существенно влияет на эффективность работы электротехнических установок и оборудования. Поэтому контроль отклонения напряжения в трехфазных сетях — весьма актуальная задача. Измерение этого отклонения осложняется наличием в сетях высших гармоник. Поскольку наиболее помехозащищенной считается корреляционная обработка сигналов, основанная на дискретном преобразовании Фурье [1], рассмотрим корреляционный метод измерения.

Отклонение напряжения V в соответствии с ГОСТ 13109—67 определяется по формуле

$$V = \frac{U_1 - U_H}{U_H} 100, \tag{1}$$

где U_1 — фактическое значение напряжения прямой последовательности основной частоты,

$$U_1 = \frac{1}{3}(U_A + \alpha U_B + \alpha^2 U_C); \tag{2}$$

$U_н$ — номинальное напряжение сети.

Запишем выражение (2) через квадратурные составляющие [2]:

$$U_X = \frac{1}{3}(U_{A(X)} + U_{B(X)} + U_{C(X)});$$

$$U_Y = \frac{1}{3}(U_{A(Y)} + U_{B(Y)} + U_{C(Y)}). \tag{3}$$

Здесь

$$U_{A(X)} = \frac{2}{m}\sum_{i=0}^{m-1} u_A(t_i)\sin\omega t_i;$$

$$U_{A(Y)} = \frac{2}{m}\sum_{i=0}^{m-1} u_A(t_i)\cos\omega t_i;$$

$$U_{B(X)} = \frac{2}{m}\sum_{i=0}^{m-1} u_B(t_i)\sin\left(\omega t_i - \frac{2\pi}{3}\right); \tag{4}$$

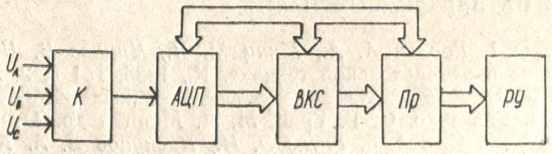
$$U_{B(Y)} = \frac{2}{m} \sum_{i=0}^{m-1} u_B(t_i) \cos\left(\omega t_i - \frac{2\pi}{3}\right);$$

$$U_{C(X)} = \frac{2}{m} \sum_{i=0}^{m-1} u_C(t_i) \sin\left(\omega t_i + \frac{2\pi}{3}\right);$$

$$U_{C(Y)} = \frac{2}{m} \sum_{i=0}^{m-1} u_C(t_i) \cos\left(\omega t_i + \frac{2\pi}{3}\right),$$

где m — число точек дискретизации; t_i — момент дискретизации напряжения, $t_i = 2\pi i/(m\omega)$.

Структурная схема, поясняющая рассмотренный метод, дана на рисунке. Фазные напряжения u_A, u_B, u_C подаются через коммутатор (К) на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и процессор (Пр), который задает точки дискретизации. Коды мгновенных значений с выхода АЦП поступают на вычислитель квадратурных составляющих (ВКС), где реализуются алгоритмы (4). С выхода ВКС коды квадратурных составляющих попадают в процессор, работающий по соотношениям (1) и (3). Значение напряжения $U_н$ вводится в процессор как постоянная величина. В результате вычислений на выходе Пр появляется код, пропорциональный отклонению напряжения в трехфазной сети; он направляется на регистрирующее устройство (РУ).



Одним из основных узлов, влияющих на точность измерения в цифровом приборе, является АЦП. Оценим погрешность квантования в точках дискретизации. Запишем выражение (1) в следующем виде: $V = (U_1/U_н - 1)\,100$ **(5)**. Погрешность измерения отклонения напряжения находится из выражения $\Delta V = (\Delta U_1/U_н)\,100$ **(6)**. При условии, что отклонение напряжения трехфазной сети подчиняется нормальному закону распределения, погрешность квантования прямой последовательности вычисляется по правилу трех сигм:

$$\Delta U_1 = 3\sqrt{\langle \Delta U_1^2 \rangle}. \qquad (7)$$

Дисперсия погрешности квантования при корреляционной обработке сигнала определяется выражением [1]

$$\langle \Delta U_1^2 \rangle = 3\sigma^2/(2m), \qquad (8)$$

Учитываем, что при равномерном распределении остатка от деления квантуемой величины на шаг квантования q величина $\sigma^2=q^2/12$ [3]. Подставив значение σ^2 в выражение (8), а выражение (8) в выражение (7), получим

$$\Delta U_1 = \frac{3q}{2\sqrt{2m}}. \qquad (9)$$

Подставив выражение (9) в формулу (6), найдем зависимость отклонения напряжения V от шага квантования и числа точек дискретизации:

$$\Delta V = \frac{3}{2\sqrt{2m}} \frac{q}{U_н} = \frac{3\delta_V}{2\sqrt{2m}}, \qquad (10)$$

где U_H — относительная погрешность квантования. Тогда

$$\delta_V = \frac{2\sqrt{2m}}{3} \Delta V.$$

Задавшись погрешностью измерения отклонения напряжения в 1 %, что вполне допустимо, вычислим относительную погрешность квантования:

m	16	32	64	128
δ_N, %	3,8	5,3	7,5	10,7

Таким образом, если отклонение напряжения измеряется с погрешностью 1 %, относительная погрешность квантования при 16 точках составляет 3,8 %. Для обеспечения такой точности необходим пятиразрядный АЦП.

Список литературы: 1. *Горлач А. А., Минц М. Я., Чинков В. Н.* Цифровая обработка сигналов в измерительной технике. К., 1985. 151 с. 2. *А. с. 737882 СССР, М. Кл. 2. σ 01. R 29/16.* Измеритель симметричных составляющих трехфазной сети/В. П. Гапченко, О. Г. Гриб, М. Я. Минц и др.//Открытия. Изобретения. 1980. № 20. С. 234. 3. *Гитис Э. И., Пискунов Е. А.* Аналого-цифровые преобразователи. М., 1981. 360 с.

Поступила в редколлегию 25.11.86

УДК 621.317

В. Г. МАНДРИЧ, канд. техн. наук

ЦИФРОВОЙ АНАЛИЗАТОР ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

При разработке и исследовании систем автоматического регулирования, при контроле и испытании различных объектов широкое распространение получили методы, основанные на анализе частотных характеристик. Для такого анализа используются различные типы устройств — механические, электромеханические, электронные и ряд других, функционирующих по