

УДК 621.384

ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА И СТАБИЛЬНОСТИ ОТСЧЕТОВ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПОГРЕШНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

канд. техн. наук, доц. А.С. ВЕРШИНИН,
канд. техн. наук, доц. В.П. АВДЕЙКО
(Полоцкий государственный университет)

Представлены результаты исследования методической погрешности вычисления показателей качества электрической энергии в цифровых измерителях ПКЭ в зависимости от числа и стабильности отсчетов мгновенных значений напряжения на периоде сетевой частоты при синхронной частоте дискретизации. Исследования проведены численными методами в пакете MathCad для двух моделирующих функций сетевого напряжения с разными начальными фазами в виде идеальной синусоиды и в виде смеси гармоник при точной синхронизации и при синхронизации с ошибкой частоты дискретизации. Результаты вычисления указанных методических погрешностей приведены в виде графиков относительных погрешностей вычисления действующих значений напряжений и амплитуд гармоник от числа отсчетов на периоде сетевой частоты и от точности синхронизации частоты дискретизации. По полученным результатам сделаны выводы и сформулированы требования к выбору частоты дискретизации и точности ее синхронизации к частоте сети в зависимости от требуемой точности определения ПКЭ.

Введение. Цифровые измерители показателей качества электрической энергии (ПКЭ) – наиболее универсальные приборы, так как они измеряют весь перечень ПКЭ в соответствии с ГОСТ 13109-97 [1]. В цифровых измерителях ПКЭ по измеренным мгновенным значениям напряжений на периоде сетевой частоты вычисляются практически все ПКЭ, кроме отклонения и колебания частоты. Это такие ПКЭ, как симметричные составляющие напряжений прямой, обратной и нулевой последовательности для трехфазных сетей, отклонение напряжения, колебания напряжения, провалы и выбросы напряжения, а также коэффициент гармоник и амплитуды гармоник напряжения, входящих в состав сетевого напряжения [1].

Один из первых вопросов, возникающих при построении цифровых измерителей показателей качества электрической энергии (ПКЭ), – выбор числа отсчетов мгновенных значений напряжений на периоде сетевой частоты, или выбор частоты отсчетов f_s (частоты дискретизации) на фоне сетевой частоты f_c . В существующей технической литературе единственной рекомендацией для решения этой задачи является соблюдение условий теоремы Котельникова [2 – 4], согласно которой частота отсчетов $f_s = 1/T_s$ должна быть более чем в два раза превышать частоту наивысшей гармоники, входящей в состав сетевого напряжения $f_s > 2 \cdot k \cdot f_c$, где k – номер высшей гармоники в сетевом напряжении [4].

Частота дискретизации сетевого напряжения f_s относительно частоты сети f_c может быть асинхронной или синхронной [4]. Если частота f_s не кратна частоте f_c , она называется асинхронной, если же частота f_s кратна частоте f_c , она называется синхронной. При асинхронной дискретизации длительность выборки (измерения) значительно больше, чем при синхронной дискретизации [5]. ГОСТ 13109-97 ограничивает длительность выборки десятью периодами сетевой частоты [1], поэтому в цифровых измерителях ПКЭ часто применяют синхронную частоту дискретизации, когда f_s кратна f_c [5].

При этом вопросы расположения точек отсчета мгновенных значений напряжений на периоде сетевой частоты и требования к точности выдерживания частоты дискретизации f_s относительно частоты контролируемого напряжения f_c остаются открытыми и требуют дополнительного исследования.

Цель данной работы – исследование влияния числа отсчетов мгновенных значений напряжения на периоде сетевой частоты (частоты дискретизации f_s), расположения сетки отсчетов относительно синусоиды, а также нестабильности частоты дискретизации f_s относительно сетевой частоты f_c на погрешности вычисления указанных выше показателей качества электрической энергии.

Методика исследований. Точность вычисления целого ряда таких ПКЭ, как напряжения прямой, обратной и нулевой последовательности в трехфазных сетях, а также отклонения, колебания, провалы и выбросы напряжений, определяется точностью вычисления действующего значения напряжения (ДЗН). Поэтому будем оценивать методическую погрешность вычисления ДЗН по дискретным отсчетам мгновенных значений переменного напряжения на периоде сетевой частоты в зависимости от числа отсчетов, их расположения относительно начала синусоиды и от стабильности частоты отсчетов относительно частоты сетевого напряжения. Для этого с использованием пакета MathCad проведем численное моделирование процедуры вычисления ДЗН для двух функций исходного переменного напряжения:

$$u = U_m \cdot \sin(\omega t \pm \varphi); \quad (1)$$

$$u = \sum_{k=1}^M \frac{1}{k} \cdot U_m \cdot \sin(k\omega t \pm \varphi), \quad (2)$$

где u – мгновенное значение напряжения; M – номер высшей гармоники, входящей в состав модели напряжения; k – номер гармоники; U_m – амплитуда первой гармоники напряжения; $\omega = 2\pi f$ (f – частота сети); φ – начальная фаза напряжения.

Переменное напряжение вида (1) не содержит высших гармоник и представляет собой идеальную синусоиду, что моделирует напряжение без искажений. Изменение начальной фазы $\pm\varphi$ позволяет двигать синусоиду напряжения относительно точек отсчета мгновенных значений.

Переменное напряжение вида (2) представляет собой сумму M гармоник с амплитудами $(1/k)U_m$ и разными фазами. Аналогично, изменение начальной фазы $\pm\varphi$ приводит к изменению фаз всех гармоник. При этом функция напряжения (2) содержит как нечетные, так и четные гармоники с разными фазами и с такими амплитудами, что позволяет получить модель нереально сильно искаженного напряжения.

Точное значение величины ДЗН определяется известным выражением [5]:

$$U_T = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u^2 d\omega t}. \quad (3)$$

При вычислении ДЗН в цифровых измерителях ПКЭ используют один из методов численного интегрирования, например, метод средних (прямоугольников) в виде [6]:

$$U_{\Pi} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i^2}, \quad (4)$$

где n – число отсчетов мгновенных значений на периоде напряжения сетевой частоты; u_i – измеренное мгновенное значение напряжения.

При моделировании переменного напряжения в виде функции (1), не содержащей высших гармоник, значения мгновенных значений напряжений получим по формуле:

$$u_i = U_m \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{n} \cdot i - \frac{\pi}{n} \pm \varphi\right). \quad (5)$$

Так как исследуются только методические погрешности вычисления ДЗН, то аналого-цифровой преобразователь будем считать идеальным, а значит, мгновенные значения напряжения в точках отсчета получим в виде (5).

Пусть частота дискретизации f_s строго синхронна частоте сети f_c . В результате вычисления ДЗН моделирующей функции (1) U_{Π} в виде (4) для $n = 3 \div 36$, $\varphi = -\pi/n \div \pi/n$ и сравнения полученного U_{Π} с точным значением U_T получим $U_{\Pi} = U_T$. Это значит, что методическая погрешность вычисления ДЗН для моделирующей функции (1) отсутствует при любых значениях n (четных и нечетных) в диапазоне от 3 и выше. Этот результат соответствует утверждению теоремы Котельникова, так как для всех $n = 3 \div 36$ выполняется условие: $n > 2 \cdot k$, где $k = 1$ – номер первой гармоники, так как моделирующая функция (1) высших гармоник не имеет.

Справедливость полученного результата можно показать следующим образом. Для модели переменного напряжения вида (1) интегрируемая функция в выражении (3) может быть представлена следующим образом [7]:

$$u^2 = U_m^2 \cdot \sin^2(\omega t \pm \varphi) = U_m^2 \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \cos(2\omega t \pm 2\varphi) \right]. \quad (6)$$

Тогда интеграл вида

$$\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_0^{2\pi} u^2 d\omega t = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_0^{2\pi} U_m^2 \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \cos(2\omega t \pm 2\varphi) \right] = \frac{U_m^2}{2}. \quad (7)$$

При численном интегрировании в виде (4) интеграл заменяется суммой:

$$\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n U_m^2 \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \cos\left(\frac{4\pi}{n} \cdot i - \frac{2\pi}{n} \pm 2 \cdot \varphi\right) \right] = \frac{U_m^2}{2} - \frac{U_m^2}{2n} \sum_{i=1}^n \cos\left[2\left(\frac{2\pi}{n} \cdot i - \frac{\pi}{n} \pm \varphi\right)\right] = \frac{U_m^2}{2}. \quad (8)$$

Из (8) следует, что численное интегрирование выполняется без погрешности, так как

$$\frac{U_m^2}{2 \cdot n} \sum_{i=1}^n \cos \left[2 \left(\frac{2\pi}{n} \cdot i - \frac{\pi}{n} \pm \varphi \right) \right] = 0. \quad (9)$$

Равенство (9) справедливо при любом $n > 2$ и любых значениях φ , но при строгом выдерживании интервалов между отсчетами, кратных периоду напряжения, так как модель напряжения (1) не содержит высших гармоник. Изменение φ не нарушает справедливость (9), поскольку

$$\cos(\omega t \pm \varphi) = \cos(\omega t) \cdot \cos(\varphi) \mp \sin(\omega t) \cdot \sin(\varphi). \quad (10)$$

С учетом (10) равенство (9) принимает вид:

$$\begin{aligned} & \frac{U_m^2}{2 \cdot n} \left[\sum_{i=1}^n \cos \left(\frac{4\pi}{n} \cdot i - \frac{2\pi}{n} \right) \cdot \cos(2\varphi) \mp \sin \left(\frac{4\pi}{n} \cdot i - \frac{2\pi}{n} \right) \cdot \sin(2\varphi) \right] = \\ & = \frac{U_m^2}{2n} \cos(2\varphi) \cdot \sum_{i=1}^n \cos \left(\frac{4\pi}{n} \cdot i - \frac{2\pi}{n} \right) \mp \frac{U_m^2}{2 \cdot n} \sin(2\varphi) \cdot \sum_{i=1}^n \sin \left(\frac{4\pi}{n} \cdot i - \frac{2\pi}{n} \right) = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Равенство (11) справедливо при любых φ , так как при указанном выше строгом выдерживании точек отсчета получим

$$\sum_{i=1}^n \cos \left(\frac{4\pi}{n} \cdot i - \frac{2\pi}{n} \right) = \sum_{i=1}^n \sin \left(\frac{4\pi}{n} \cdot i - \frac{2\pi}{n} \right) = 0. \quad (12)$$

Равенство (12) справедливо, потому что отсчеты расположены строго симметрично, и в результате суммы в выражении (12) равны нулю. Таким образом, изменение начальной фазы φ не вносит погрешности при вычислении ДЗН.

В качестве иллюстрации на рисунке 1 приведен график функции $f(\omega t) = \cos(2 \cdot \omega t)$, на котором вертикальными линиями показаны значения функции в точках отсчета для произвольного четного n ($n = 8$).

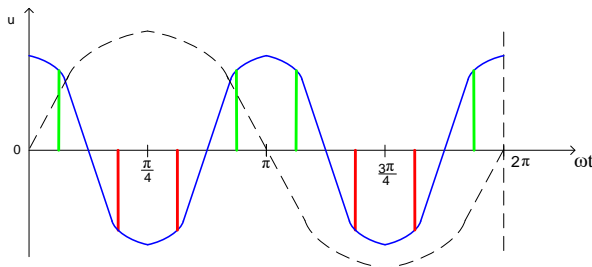


Рис. 1. Дискретизация функции $f(\omega t) = \cos(2 \cdot \omega t)$ для $n = 8$

Из рисунка 1 видно, что каждому положительному значению функции в пределах периода соответствует такое же отрицательное значение, в результате чего выражение (9) остается справедливым.

На рисунке 2 также представлен график функции $f(\omega t) = \cos(2 \cdot \omega t)$, но для произвольного нечетного n ($n = 9$).

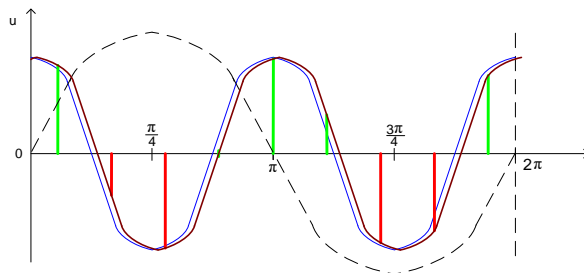


Рис. 2. Дискретизация функции $f(\omega t) = \cos(2 \cdot \omega t)$ для $n = 9$

Из рисунка 2 видно, что достаточно сдвинуть функцию $f(\omega t) = \cos(2 \cdot \omega t)$ вправо или влево, чтобы один из отсчетов стал равным нулю, и тогда каждому положительному значению функции в пределах

периода также найдется такое же отрицательное значение, в результате чего равенство (9) опять остается справедливым.

Таким образом, для функции переменного напряжения, не содержащей высшие гармоники, методическая погрешность вычисления ДЗН равна нулю даже при малом числе отсчетов n на периоде, если $n \geq 3$ и строго выдерживается интервал между отсчетами, равный $2\pi/n$. При этом привязка сетки отсчетов к началу синусоиды не нужна, то есть начальная фаза напряжения может изменяться произвольно.

При моделировании переменного напряжения в виде функции (2), содержащей M высших гармоник, значения мгновенных значений напряжений получим в следующем виде:

$$u_i = \sum_{k=1}^M \frac{1}{k} U_m \cdot \sin \left[k \cdot \left(\frac{2\pi}{n} \cdot i - \frac{\pi}{n} \right) \pm \varphi \right]. \quad (13)$$

Опять аналого-цифровой преобразователь будем считать идеальным, а значит, мгновенные значения напряжения в точках отсчета получим в виде (13).

С использованием пакета MathCad выполним вычисления ДЗН моделирующей функции напряжения (2) U_{II} в виде (4) для $n = 3 \div 36$, $M = 11$, $U_m = 100$ В, $\varphi = -\pi/n \div \pi/n$, и для каждого n найдем методическую погрешность вычисления ДЗН:

$$\delta_U(n) = \frac{U_{II} - U_T}{U_T} \cdot 100 \%. \quad (14)$$

Результаты вычислений методической погрешности вычисления ДЗН в виде (14) для моделирующей функции напряжения (2) и указанных выше параметров приведены в виде графика на рисунке 3.

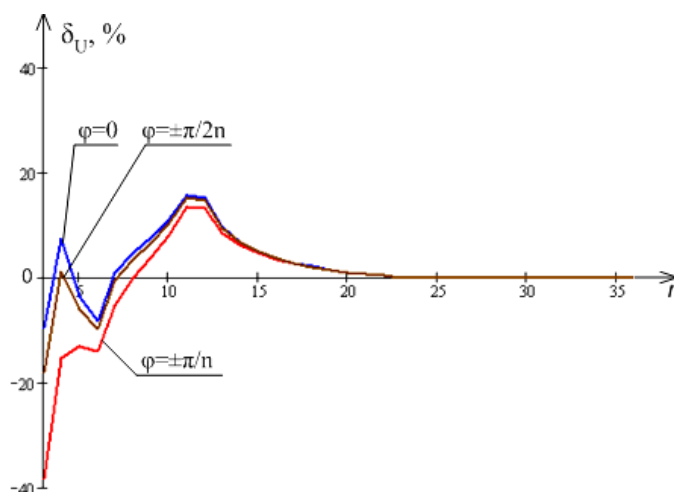


Рис. 3. Зависимость методической погрешности вычисления ДЗН $\delta_U(n)$

Из рисунка 3 видно, что независимо от значения начальной фазы модели напряжения в виде функции (2), спектральный состав которой ограничен высшей гармоникой с номером $k = 11$, методическая погрешность вычисления ДЗН равна нулю уже при $n \geq 23$.

Этот результат является прямым следствием теоремы Котельникова, согласно которой частота отсчетов $f_s = 1/T_s$ должна более чем в два раза превышать частоту наивысшей гармоники измеряемого напряжения [4]. То есть

$$f_s > 2 \cdot k \cdot f_c, \quad (15)$$

где f_s – частота отсчетов; f_c – частота напряжения сети; k – номер высшей гармоники, входящей в состав контролируемого напряжения.

Из (15) следует, что число отсчетов на периоде сетевой частоты должно удовлетворять условию:

$$n > 2 \cdot k. \quad (16)$$

Из рисунка 3 следует, что применительно к процедуре вычисления ДЗН условие (16) можно уточнить:

$$n \geq 2 \cdot k + 1. \quad (17)$$

Таким образом, методическая погрешность вычисления действующего значения переменного напряжения, содержащего высшие гармоники, независимо от значения начальной фазы равна нулю, если

число отсчетов на периоде удовлетворяет условию (17) и отсчеты расположены строго равномерно, то есть период напряжения точно делится на n равных частей.

Точность вычисления другого ряда ПКЭ, таких как коэффициент гармоник, а также амплитуд гармоник, входящих в состав сетевого напряжения, определяется точностью вычисления амплитуды первой гармоники и амплитуд высших гармоник.

Аналогично с использованием пакета MathCad проведем численное моделирование процедуры вычисления амплитуд гармоник для моделирующей функции (2) исходного переменного напряжения. Исходными данными для вычисления амплитуд гармоник являются мгновенные значения указанной функции напряжения в точках отсчета.

Значение амплитуды k -й гармоники напряжения вычисляется по известным выражениям [7]:

$$A_k = \frac{2}{n} \cdot \sum_{i=1}^n u_i \cdot \cos \left[k \cdot \left(\frac{2\pi}{n} \cdot i - \frac{\pi}{n} \right) \right]; \quad (18)$$

$$B_k = \frac{2}{n} \cdot \sum_{i=1}^n u_i \cdot \sin \left[k \cdot \left(\frac{2\pi}{n} \cdot i - \frac{\pi}{n} \right) \right]; \quad (19)$$

$$U_{mk} = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}, \quad (20)$$

где A_k и B_k – коэффициенты Фурье; n – число отсчетов на периоде сетевой частоты; u_i – мгновенные значения функции напряжения в точках отсчета; U_{mk} – амплитуда k -й гармоники напряжения.

Вычисление амплитуд гармоник моделирующей функции напряжения (2) проведем в соответствии с (18), (19), (20) при условии точной синхронизации частоты дискретизации f_s с частотой сети f_c .

Точные значения амплитуд гармоник получим из (2) в виде

$$U_{mko} = \frac{U_m}{k}. \quad (21)$$

Тогда методическая погрешность вычисления амплитуды k -й гармоники напряжения

$$\delta_{U_{mk}} = \left(\frac{U_{mk} - U_{mko}}{U_{mko}} \right) \cdot 100 \%. \quad (22)$$

Результаты вычислений методической погрешности определения амплитуд гармоник напряжения в виде (22) с учетом (20) и (21) при изменении n ($3 \div 36$) и φ ($\pm\pi/n$) представлены на рисунке 4.

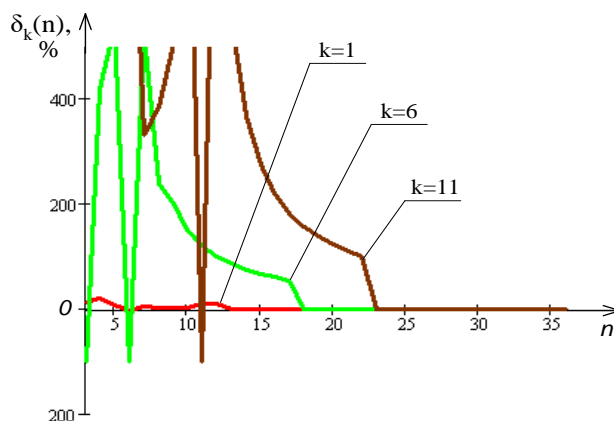


Рис. 4. Зависимость методической погрешности вычисления амплитуд гармоник $\delta_k(n)$

Из рисунка 4 видно, что независимо от значения начальной фазы модели напряжения в виде функции (2), спектральный состав которой ограничен высшей гармоникой с номером $k = 11$, методическая погрешность вычисления амплитуды k -й гармоники напряжения равна нулю при условии:

$$n \geq M + k + 1, \quad (23)$$

где k – номер гармоники; M – номер высшей гармоники в составе сетевого напряжения; n – число отсчетов на периоде сетевой частоты.

Для высшей гармоники $k = M$ ($k = M = 11$, см. рис. 4) условие (23) соответствует теореме Котельникова, а для вычисления без погрешностей амплитуд гармоник с номерами $k < M$ достаточным является выполнение условия (23) с меньшим числом отсчетов на периоде.

Сетка точек отсчетов мгновенных значений напряжений в цифровых измерителях ПКЭ задается частотой дискретизации f_s , которая при синхронной дискретизации кратна частоте сети f_c в соответствии с отношением

$$\frac{f_s}{f_c} = n, \tag{24}$$

где n – определяет число отсчетов на периоде сетевой частоты.

Частота дискретизации f_s формируется множителем частоты (УЧ), который отслеживает частоту сети f_c , выдерживая условие (24). Как было показано выше, если условие (24) выполняется точно, то методическая погрешность вычисления ДЗН с учетом (17) отсутствует. Но если условие (24) выполняется с ошибкой, появится и указанная методическая погрешность.

Пусть условие (24) выполняется с ошибкой в виде

$$\frac{f_s}{f_c} = n \left(1 \pm \frac{\gamma_s}{100} \right), \tag{25}$$

где γ_s – относительная погрешность формирования частоты дискретизации f_s , %.

Тогда измеренные мгновенные значения напряжения в точках отсчета для модели напряжения (1)

$$u_i = U_m \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{n \cdot \left(1 \pm \frac{\gamma_s}{100} \right)} \cdot i - \frac{\pi}{n \cdot \left(1 \pm \frac{\gamma_s}{100} \right)} \pm \varphi \right]. \tag{26}$$

Мгновенные значения напряжения в точках отсчета при моделировании переменного напряжения в виде функции (2)

$$u_i = \sum_{k=1}^M \frac{1}{k} U_m \cdot \sin \left[\frac{k}{\left(1 \pm \frac{\gamma_s}{100} \right)} \cdot \left(\frac{2\pi}{n} \cdot i - \frac{\pi}{n} \right) \pm \varphi \right]. \tag{27}$$

На рисунке 5 приведены результаты вычисления методической погрешности ДЗН $\delta_U = f(\gamma_s)$ по выражениям (4) и (14) с учетом (26) и (27) для моделирующих функций напряжения (1) и (2) при $n = 36$, $M = 11$ и изменении γ_s в пределах ± 1 %.

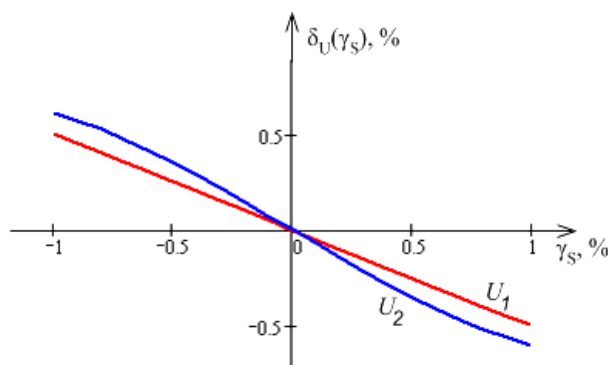


Рис. 5. Зависимость методической погрешности вычисления ДЗН $\delta_U = f(\gamma_s)$

Из рисунка 5 видно, что методическая погрешность вычисления ДЗН сильно зависит от точности синхронизации частоты дискретизации f_s с частотой сети f_c , что накладывает жесткие требования на точность работы множителя частоты.

Методические погрешности вычисления амплитуд гармоник при условии (25) можно оценить, используя (18), (19), (20), (21), (22), с учетом (27) для моделирующей функции напряжения (2) при $n = 36$, $M = 11$ и изменении γ_S в пределах $\pm 1\%$.

Результаты вычислений указанной погрешности амплитуд гармоник приведены на рисунке 6.

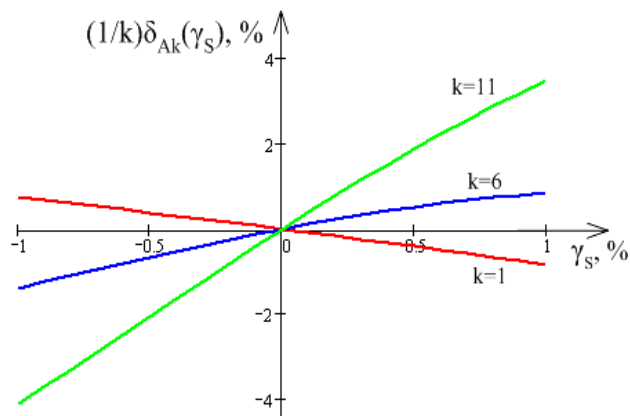


Рис. 6. Зависимость методической погрешности вычисления амплитуд гармоник $\delta_{Ak} = f(\gamma_S)$

Из рисунка 6 следует, что методическая погрешность вычисления амплитуды 1-й гармоники зависит от γ_S почти так же, как и ДЗН, но с ростом номера гармоники эта погрешность резко растет. Следовательно, требования к точности работы умножителя частоты еще больше возрастают.

Зависимости, приведенные на рисунках 5 и 6, могут быть использованы для определения необходимой точности синхронизации частоты дискретизации f_S с частотой сети f_C .

Выводы:

1. При точной синхронизации частоты дискретизации f_S к частоте сети f_C для функции переменного напряжения, не содержащей высшие гармоники, методическая погрешность вычисления ДЗН, и ряда ПКЭ независимо от начальной фазы равна нулю даже при малом числе отсчетов n на периоде, если $n \geq 3$.

2. При точной синхронизации частоты дискретизации f_S к частоте сети f_C для функции переменного напряжения, содержащей высшие гармоники, методическая погрешность вычисления ДЗН и ряда ПКЭ независимо от начальной фазы равна нулю, если число отсчетов на периоде удовлетворяет условию (17).

3. При точной синхронизации частоты дискретизации f_S к частоте сети f_C методическая погрешность вычисления амплитуд гармоник независимо от начальной фазы равна нулю, если число отсчетов на периоде удовлетворяет условию (23).

4. Смещение сетки отсчетов мгновенных значений напряжений относительно начала периода не вносит погрешности при вычислении действующих значений и амплитуд гармоник напряжений, а значит и соответствующих ПКЭ.

5. При наличии ошибки синхронизации γ_S частоты дискретизации f_S к частоте сети f_C методическая погрешность вычисления действующего значения напряжения и ряда ПКЭ для чисто синусоидального напряжения равна $\delta_U = -0,5\gamma_S$, а для напряжения, содержащего смесь гармоник, эта погрешность равна примерно $\delta_U = -0,62\gamma_S$.

6. При наличии ошибки синхронизации γ_S частоты дискретизации f_S к частоте сети f_C методическая погрешность вычисления амплитуд гармоник напряжения для высших гармоник резко растет пропорционально номеру гармоники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. – Минск: Изд-во Межгосстандарт, 1997. – 30 с.

2. Power measuring techniques for nonsinusoidal conditions, Stefan Svensson, Göteborg, 1999, ISBN: 91-7197-760-0, ISSN: 0346-718X, Doktorsavhandlingar vid, Chalmers Tekniska Högskola, Ny serie Nr 1470.
3. Многофункциональный эталонный прибор «Энергомонитор 3.1» для калибровки и поверки средств измерений электроэнергетических величин / Е.З. Шапиро [и др.] // Метрология электрических измерений в энергетике: информ. материалы 1-й науч.-практ. конф. – М.: НЦ ЭНАС, 2001.
4. Волович, Г. Аналого-цифровое измерение переменного напряжения и теорема Котельникова / Г. Волович // Компоненты и технологии. – 2010. – № 7. – С. 144 – 149.
5. Вьюхин, В.Н. Исследование метода когерентной выборки для тестирования высокократных АЦП / В.Н. Вьюхин, Ю.А. Попов, Ю.Л. Тани // Автометрия. – 1997. – № 5.
6. Гублер, Г.Б. Алгоритмы цифровой обработки сигналов многофункционального эталонного прибора для измерений электроэнергетических величин / Г.Б. Гублер, В.С. Гутников // Метрология электрических измерений в энергетике: информ. материалы 1-й науч.-практ. конф. – М.: НЦ ЭНАС, 2001.
7. Алгоритмы вычислительного метода определения показателей качества электроэнергии / В.С. Каханович [и др.] // Системы управления в энергетике: сб. тр. – М.: ГНИЭИ им. Г.М. Кржижановского. – 1980. – С. 13 – 18.

Поступила 02.06.2011

**THE INFLUENCE OF NUMBER AND STABILITY
OF INSTANTANEOUS INDICATION OF VOLTAGE ON THE ERRORS AT THE CALCULATION
OF UNIFIED POWER QUALITY INDEX (UPQI)**

A. VERSHININ, V. AVDEYKO

The results of the investigation of the error of method at the calculation of Unified Power Quality Index in digital meters of UPQI depending on number and stability of instantaneous indication of voltage on the period of the system frequency under synchronous frequency of discretization. The findings are verified with the help of methods of MathCad package for two modelling functions of system voltage with different initial phases in the form of ideal sinusoid and in the form of harmonics mixture under ideal synchronizing and under synchronizing with an error of discretization frequency. The calculation results of the given errors of method are presented in the form of diagrams of relative calculation errors of vertical voltage values and harmonic amplitudes from the number of indications on the period of system frequency, and from synchronizing accuracy of discretization. Conclusions are drawn and requirements to the choice of discretization frequency as well as to the accuracy of its synchronization to the system frequency are formulated on the basis of these results.