УДК 656.259.9 **С.В. Бушуев,** канд. техн. наук, **А.Н. Попов,** Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург

ПРОБЛЕМЫ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛОВ В УСТРОЙСТВАХ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

овышение качества обслуживания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) требует высокой сходимости и воспроизводимости результатов измерений. Важной измеряемой характеристикой для устройств ЖАТ является среднеквадратическое (действующее) значение (СКЗ) переменных токов и напряжений. СКЗ характеризует энергию сигнала, его используют для диагностики технического состояния большинства устройств ЖАТ.

В настоящее время имеется множество измерительных средств, использующих разнообразные методы и способы для измерений СКЗ, — ручные приборы и сложные автоматизированные системы диагностики. Поэтому встает вопрос степени сходимости и воспроизводимости результатов измерений выполненных разными измерительными средствами.

В литературе имеются исследования, посвященные вопросам измерений сигналов в тональных рельсовых цепях. Эти исследования показывают, что измерительные приборы с различным принципом действия дают существенно различающиеся результаты измерений действующих значений [1-3].

Причинами значительного расхождения показаний авторы считают разное входное сопротивление приборов, операции дискретизации и квантования и сложную форму сигнала ТРЦ (рис. 1).

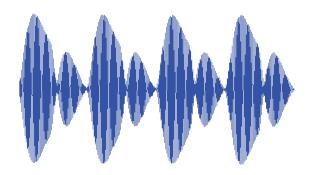


Рис. 1. Сигнал ТРЦ

Влияние входного сопротивления на результат измерений актуально только для приборов типа Ц4380 с входным сопротивлением 1360 Ом; механизм влияния подробно рассмотрен в работе [4]. Цифровые приборы имеют сопротивление 1 МОм.

Влияние формы сигналов ТРЦ и операций дискретизации и квантования в литературе рассматриваются слабо, в лучшем случае, автор просто их упоминает и высказывает догадку о механизме влияния.

Для выявления механизма влияния формы сигнала ТРЦ необходимо рассмотреть процесс получения результата измерения. СКЗ определяется согласно выражению

$$S = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{t_0}^{t_0 + \tau} s^2(t) dt}.$$
 (1)

Так как основу сигналов применяемых в устройствах ЖАТ составляет сигнал синусоидальной формы (например, сигнал ТРЦ представляет собой манипулированную синусоиду) рассмотрим сначала процесс определения СКЗ именно такого сигнала. Выражение (1) примет вид

$$S = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{t_0}^{t_0 + \tau} \left[U_m \sin(2\pi F_c t + \varphi_0) \right]^2 dt}.$$
 (2)

После выполнения интегрирования и преобразований получим

$$U = \sqrt{\frac{U_m^2}{2} \left[1 + \frac{\sin(4\pi F_c t_0 + 2\phi_0) - \sin(4\pi F_c t_0 + 2\phi_0 + 4\pi F_c \tau)}{4\pi F_c \tau} \right]}$$
 (3)

Из полученного выражения видно, что результат измерения СКЗ синусоидального сигнала будет зависеть от времени начала измерений t_0 , начальной фазы сигнала ϕ_0 и продолжительности измерений τ . Причем, если $\tau = nT$, где n — целое число, тогда получим выражение (4), которое соответствует истинному СКЗ измеряемого сигнала:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. (4)$$

Таким образом, отклонение времени измерения от значений, кратных периоду измеряемого сигнала, приводит к дополнительной методической погрешности измерений (рис. 2). Продолжительность измерений одинакова, но полученные результаты будут различаться, так как $S1 \neq S2$.

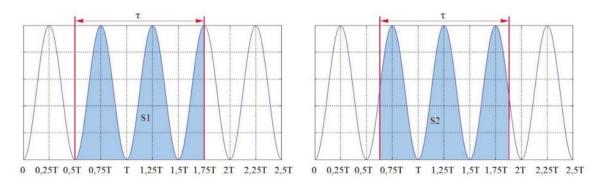


Рис. 2. Измерение СКЗ синусоидального сигнала

Найдем зависимость величины относительной погрешности $E(\tau)$ от времени измерения СКЗ:

$$E(\tau) = \left(\frac{U}{U'} - 1\right) \cdot 100\%,\tag{5}$$

где U — измеренное значение СКЗ, при фиксированном времени измерения; U' — истинное значение СКЗ исследуемого сигнала (для сигнала синусоидальной формы $U' = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$).

Заменим переменные $\psi = (4\pi F_c t_0 + 2\phi_0)$ и подставим (3) в (5):

$$E(\psi,\tau) = \left(\sqrt{1 + \frac{\sin(\psi) - \sin(\psi + 4\pi F_c \tau)}{4\pi F_c \tau}} - 1\right) \cdot 100\%. \tag{6}$$

При любом фиксированном времени измерения τ зависимость погрешности измерения выражена периодической функцией с периодом 2π . Из графического представления функции $E(\psi, \tau)$ видно (рис. 3), что функция имеет локальные максимумы и минимумы, а также нулевые значения в любом сечении вдоль осей ψ и τ [5].

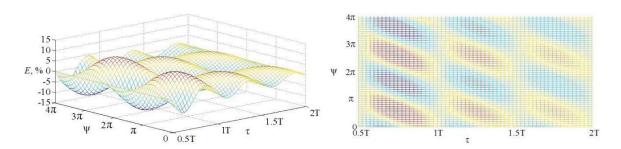
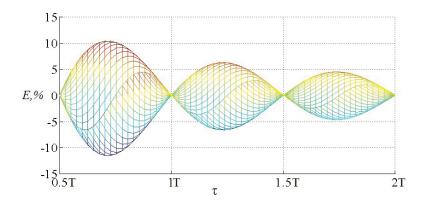
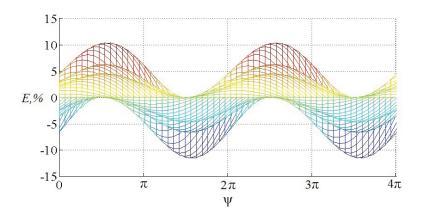


Рис. 3. Зависимость погрешности измерения $E(\psi, \tau)$

Рассмотрим множество сечений в плоскостях $\psi = \text{const}$ (рис. 4) и $\tau = \text{const}$ (рис. 5).



Puc. 4. Зависимость $E(\psi, \tau)$ в плоскостях $\psi = \text{const}$



Puc. 5. Зависимость $E(\psi, \tau)$ в плоскостях $\tau = \text{const}$

Как видно по рис. 4 и 5, результатом неправильного выбора длительности измерения может стать дополнительная погрешность достаточно большой величины, при этом показания прибора будут «плавать» в зависимости от фазы сигнала в момент начала измерения. Время измерения прибора можно определить экспериментально, подавая на его вход сигналы разной частоты с некоторым шагом. Разность между частотами входного сигнала, на которых показания будут стабильными, соответствует времени измерения прибора. Следует отметить, что это утверждение справедливо только при условии, что фаза сигнала в момент начала каждого последующего измерения будет отличаться от предыдущих измерений.

Рассмотрим теперь влияние формы сигнала ТРЦ на точность измерений, для этого выполним вычислительный эксперимент. Оценим разброс СКЗ сигнала ТРЦ, фрагмент которого представлен на рис. 1, при различной длительности измерения (рис. 6).

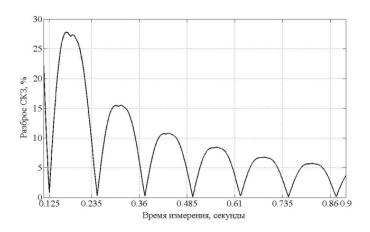


Рис. 6. Разброс показаний СКЗ сигнала ТРЦ 480/8

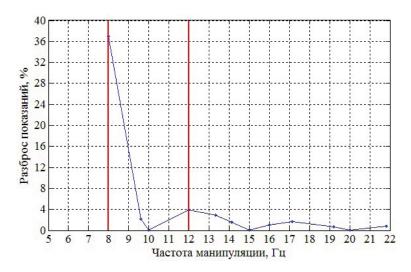
По рис. 6 видно, что если для времени измерения не обеспечивается кратность периоду сигнала, то разброс показаний менее 5% получим при длительности измерения около 1 с. Представленный сигнал имеет частоту манипуляции 8 Гц, для сигнала с частотой манипуляции 12 Гц минимальный разброс показаний будет наблюдаться в других точках. Поэтому длительность измерений СКЗ сигналов ТРЦ должна обеспечивать минимальный разброс на обеих частотах манипуляции.

Исследуем существующие измерители СКЗ сигналов ТРЦ. Для определения времени измерения реальных приборов проведем эксперимент (рис. 7): на вход подаются синусоидальные сигналы 420 Гц с изменяющейся частотой манипуляции, при этом среднеквадратическое значение генерируемого сигнала остается постоянным [6]. Форма испытательных сигналов отличается от реальных сигналов ТРЦ, однако для поверки измерителей СКЗ сигналов ТРЦ применяются сигналы именно такой формы [4]. При разных частотах манипуляции в течение длительного времени регистрируются максимальное и минимальное значение оценки СКЗ, полученное испытуемым прибором.



Рис. 7. Опыт по определению времени измерения СКЗ

При испытаниях мультиметра Fluke 867В получены следующие результаты (рис. 8): при частоте манипуляции 10, 15 и 20 Гц разброс показаний стремится к минимуму, откуда можно сделать вывод, во-первых, что время измерения 0,2 с, во-вторых, что данный прибор категорически не подходит для измерений сигналов ТРЦ (при частотах манипуляции входного сигнала 8 и 12 Гц разброс показаний будет не менее 20% и 2% соответственно). Для тональных рельсовых цепей нужны специальные приборы.



Puc. 8. Исследование Fluke 867B

Рассмотрим прибор B7-63. Результаты экспериментов в неселективном режиме (рис. 9) показывают, что он существенно лучше, чем Fluke 867B, подходит для измерений в ТРЦ. Разброс показаний, связанный с неудачным выбором длительности измерения СКЗ, не превысит 5%.

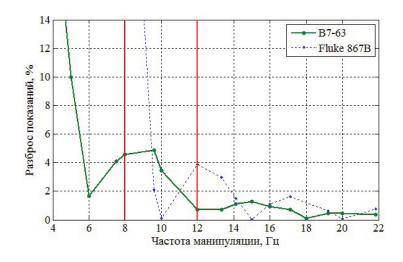


Рис. 9. Исследование В7-63

В модификации прибора B7-63/1 разброс показаний (рис. 10) остался примерно таким же, а при частоте манипуляции 12 Гц даже увеличился. Снятая характеристика отличается, что говорит об изменении времени измерения, однако для 12 Гц результаты даже ухудшились. Это показывает, что производители рекомендованных для сигналов ТРЦ средств измерения не учитывают рассмотренных эффектов.



Puc. 10. Исследование B7-63/1

Однако надо понимать, что мы рассматривали только одну составляющую погрешности измерений — дополнительную погрешность, связанную с неверным выбором длительности измерения сигнала. Для определения конечной точности измерений необходимо также учитывать влияние элементов измерительных каналов (преобразователей, АЦП), влияние точности калибровки, помех в измеряемом сигнале, входного сопротивления прибора и других факторов.

Учет физических свойств сигнала и измерителя при проектировании прибора или измерительной системы позволяет исключить влияние рассмотренных процессов на точность измерения с минимальными затратами.

Литература

- 1. Мартынчук П. П. Измерения в рельсовых цепях тональной частоты // Автоматика, связь, информатика. 2004. № 12. С. 16. ISSN 0005-2329.
- 2. Молодцов А. Н. Измерения напряжения и силы тока цифровым мультиметром B7-63 // Автоматика, связь, информатика. 2003. № 9. С. 39—41. ISSN 0005-2329.
- 3. Терентьев В.Л. Особенности измерения напряжения в тональных рельсовых цепях // Автоматика, связь, информатика. 2008. № 4. С. 19—21. ISSN 0005-2329.

- 4. Сепетый А. А., Кольцов В. В., Прищепа В. С. и др. Измерительно-вычислительные средства в системе автоматизации диагностирования и контроля устройств СЦБ: учеб. для вузов. Ростов-на-Дону: Рост. гос. ун-т путей сообщения. 2009. 416 с. ISBN 978-5-88814-214-1.
- 5. Бушуев С. В., Попов А. Н. Исследование точности измерений среднеквадратических значений электрических сигналов на ограниченных интервалах времени // Транспорт Урала. 2011. № 2 (29). С. 46—50. ISSN 1815-9400.
- 6. Попов А. Н., Бушуев С. В. О точности измерений в системах железнодорожной автоматики и физических свойствах измеряемых сигналов / Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: матер. конференции «Неделя науки—2011» / Под ред. Т. С. Титовой. СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2011. С. 39—44.

Р.Ш. Валиев, канд. техн. наук, **Л.А. Агаджанов**, Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург

СПОСОБ КОНТРОЛЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДНОЙ МАТРИЦЫ В РЕЖИМЕ НОРМАЛЬНОГО ГОРЕНИЯ И РЕЖИМЕ «ХОЛОДНОГО» СОСТОЯНИЯ^{*}

гория применения светодиодов в системах сигнализации на железных дорогах берет свое начало с 1997 г., когда Департамент сигнализации, связи и вычислительной техники утвердил задание на разработку светодиодного источника красного, желтого и зеленого цвета; («Светодиодная оптическая система мачтовых железнодорожных светофоров» ССС). Необходимость такой разработки была обусловлена преимуществами светодиодных систем сигнализации над классическими системами, основанными на лампах накаливания. Светодиодные головки светофоров являются малообслуживаемыми и обеспечивают: снижение эксплуатационных расходов в десять раз за счет исключения регламентной замены ламп накаливания; снижение затрат на ремонтно-восстановительные работы благодаря высокой надежности светодиодных элементов; снижение частоты регулировки оптической системы за счет более широкой диаграммы направленности; улучшение светотехнических параметров, таких как различимость и дальность видимости заградительного огня, повыше-

752

^{*}Публикуется в авторской редакции.