

ОЦЕНКА НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ПРИ СЛУЧАЙНОМ ХАРАКТЕРЕ ИСКАЖЕНИЙ КРИВОЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Коломытцев А.Д.

Донецкий государственный технический университет

serguei@elf.dgtu.donetsk.ua

Coefficient estimation nonsinusoidality offers to make on size of operating effort (hindrances) distortions graph significance, got as difference between graphs of instantaneous effort curve significances and effort of basic frequency. Amplitude effort significance of basic frequency can be got by continuous averaging or inertial smoothing out of initial effort curve. The results can be used for estimation nonsinusoidality of effort in operating electric nets with accidental hindrances.

Искажения синусоиды напряжения, называемые в дальнейшем помехой, естественно определить как разность между мгновенными значениями напряжения $u(t)$ и его основной гармонической составляющей $u_{(1)}(t)$

$$u_{II}(t) = u(t) - u_{(1)}(t). \quad (1)$$

В соответствии с требованиями /1/ оценка несинусоидальности напряжения осуществляется по величине коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения (КИС)

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} \cdot 100, \quad (2)$$

определяемого через $U_{(n)}$ - действующие значения n -ых гармонических составляющих напряжения. Подкоренное выражение в формуле (2) фактически является действующим значением графика помехи (1) за цикл $t_f = 0,02$ с.

Рассмотрим способ вычисления КИС, основанный на более общей трактовке этого показателя, чем это принято в /1/. По смыслу КИС

$$K_U = \frac{U_{II}}{U_{(1)}} \cdot 100, \% \quad (3)$$

представляет собой отношение действующих значений напряжения U_{II} помехи и $U_{(1)}$ основной частоты, которые подлежат вычислению.

Если значение U_1 меняются во времени медленно, то можно принять следующие допущения: среднее значение мгновенных значений напряжения в пределах длительности $t_f = 1/f$ любого цикла равно нулю. Тогда корректно говорить о гармониках каждого цикла, величина и состав которых могут меняться от цикла к циклу.

В этом случае в выражении для первой гармоники

$$u_{(1)}(t) = U_{M1} \sin \omega_f t = \sqrt{2} U_1 \sin \omega_f t \quad (4)$$

с угловой частотой $\omega_f = 2\pi f$ амплитуда U_{M1} будет постоянной, а отсчет времени t удобно производить от начала цикла.

В проектной практике процесс (4) является известным, так как напряжение на шинах источника питания считается неизменным.

В случае периодического характера искажений действующее значение U_{II} может быть вычислено с помощью разложения графика $u_{II}(t)$ в ряд Фурье. Тогда величина КИС определяется по формуле (2). Но такой способ вычисления U_{II} довольно сложен, требует большого количества вычислений. Кроме того, в действующих электрических сетях помеха, как правило, носит случайный характер. Так как понятие гармоники в этом случае не имеет смысла, то применение формулы (2) становится неприемлемым.

Суть предлагаемого способа состоит в выделении помехи $u_{II}(t)$ и вычислении ее эффективного значения не по сумме квадратов действующих значений напряжений гармоник, а непосредственно по формуле

$$U_{\Pi} = \sqrt{\frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} u_{\Pi}^2(t) dt}, \quad (5)$$

не требующей предварительного вычисления коэффициентов ряда Фурье.

При вычислении на ЭВМ цикл разбивается на N ординат, считываемых с малым шагом квантования Δ . Тогда

$$U_{\Pi} \approx \sqrt{\frac{1}{t_f} \sum_{j=1}^N u_{\Pi}^2(j\Delta)}.$$

В случае, если положение начала цикла записанной в действующей сети осциллограммы напряжения определено и не вызывает сомнений, наименее трудоемким представляется следующий способ выделения помехи $u_{\Pi}(t)$. На график $u(t)$ наносится синусоида, амплитуда которой \tilde{U}_{M1} выбирается приблизительно. Затем строится график разности

$$\tilde{u}_{\Pi}(t) = u(t) - \tilde{U}_{M1} \sin \omega_f t,$$

по которой вычисляется первое приближение для среднего значения помехи $\tilde{u}_{\Pi C}$.

Поскольку помеха имеет нулевое среднее значение, то отличие от нуля значения $\tilde{u}_{\Pi C}$ свидетельствует о необходимости уточнения амплитуды первой гармоники именно на величину $\tilde{u}_{\Pi C}$. Тогда окончательное значение амплитуды первой гармоники будет

$$U_{M1} = \tilde{U}_{M1} - \tilde{u}_{\Pi C}. \quad (6)$$

После этого строится график помехи

$$u_{\Pi}(t) = u(t) - U_{M1} \sin \omega_f t$$

и уже по этому графику, в соответствии с (5) и (4) определяются U_{Π} и K_U .

Если положение начала цикла является неопределенным, то в этом случае вычисление амплитуды и фазы первой гармоники с использованием формул для коэффициентов ряда Фурье может быть оправданным.

Кроме того, возможен и другой путь, основанный на непрерывном осреднении графика $u(t)$ за скользящий вдоль оси времени интервал времени $\theta/2$. Чтобы избежать сдвига фаз между исходной и осредненной синусоидами, текущие значения осредненного процесса u_{θ}

$$u_{\theta}(t) = \frac{1}{\theta} \int_{t-\theta/2}^{t+\theta/2} u(t) dt \quad (7)$$

будем относить к середине интервала осреднения.

Амплитуда U_{Mn} гармоники в результате осреднения (7) будет уменьшаться в

$$A_{\theta n} = \frac{1}{\pi n \theta_*} |\sin \pi n \theta_*|$$

раз, где $\theta_* = \theta/t_f$. Тогда для n -й гармоники после осреднения получим процесс

$$u_{\theta n}(t) = U_{Mn} A_{\theta n} \sin \omega_n t. \quad (8)$$

Соответствующим выбором длительности θ можно добиться того, что для любых $n > 1$ осредненные процессы (8) вырождаются в нулевую горизонталь, а останется лишь осредненный процесс первой гармоники:

$$u_{\theta 1}(t) = U_{M\theta 1} \sin \omega_f t = U_{M1} A_{\theta 1} \sin \omega_f t, \quad (9)$$

амплитуда которого $U_{M\theta 1}$ в $A_{\theta 1}$ раз меньше U_{M1} .

Таким образом, значение θ должно быть с одной стороны достаточно большим, чтобы гармоники с $n > 1$ в осредненном процессе практически отсутствовали, но с другой стороны не настолько, чтобы амплитуда $U_{M\theta 1}$ процесса (9) была бы близка к нулю.

Первое требование выполняется тогда, когда амплитуда процесса (8) окажется меньше заданной допустимой погрешности α считывания ординат первой гармоники, т.е. когда

$$A_{\theta n} < \alpha U_{(1)} / U_n. \quad (10)$$

Требования // для КИС выполняются при $U_n / U_{(1)} \leq 5\%$. Поэтому для обеспечения достоверности считывания ординат помехи должно обеспечиваться условие $\alpha \ll 0,05$.

Второе требование обеспечивается, если относительное уменьшение амплитуды процесса (9) не превышает заданной величины β , т.е.

$$A_{\theta 1} = \frac{|\sin \pi \theta_*|}{\pi \theta_*} > \beta. \quad (11)$$

Неравенства (10) и (11) можно решить графически, проводя горизонталы $A_{\theta n} = \alpha U_{(1)} / U_n$ и $A_{\theta 1} = \beta$.

При этом, горизонталь на графике $A_{\theta 1}(\theta_*)$ проводится один раз, а на графике $A_{\theta n}(\theta_*)$ они проводятся для различных значений α . В результате при фиксированном β получаются области возможных значений α и θ .

Полученный график процесса (7) дает не только положение момента $t = 0$, но и позволяет определить амплитуду первой гармоники

$$U_{M1} = U_{M1\theta} / A_{\theta 1}$$

без уточнения и использования (6).

Более целесообразным представляется использовать инерционное сглаживание процесса $u(t)$ апериодическим звеном первого порядка с постоянной инерции T . При подаче на вход звена n -й гармоники на выходе наблюдается инерционный процесс

$$u_{Tn}(t) = U_{MTn} \sin \omega_n t,$$

амплитуда U_{MTn} которого в

$$A_{Tn} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega_n^2 T^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 4\pi^2 T_*^2}}$$

раз меньше U_{Mn} , где $T_* = T / t_f$.

При больших постоянных инерции звеном будет выделяться только инерционный процесс от первой гармоники

$$u_{T1}(t) = U_{MT1} \sin \omega_f t$$

с фазой

$$\varphi_{T1} = -\arctg \omega_f T = -\arctg 2\pi T_*.$$

Амплитуда первой гармоники может быть вычислена по формуле

$$U_{M1} = U_{M1} / A_{T1} = U_{MT1} \sqrt{1 + \omega_f^2 T^2}.$$

Выбор постоянной инерции производится из тех же соображений, что и длительность осреднения. Но в отличие от (10) и (11) решение здесь получается в конечном виде:

$$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{U_n}{\alpha U_1} - 1} < T_* < \frac{1}{2\pi\beta} \sqrt{1 - \beta^2},$$

а области возможных значений T_* и α при заданном β непрерывны (рис. 1).

Необходимо отметить, что инерционное сглаживание менее удобно для проведения расчетов, чем осреднение.

В случае, если действующее значение помехи U_{Π} меняется во времени, то график изменения $U_{\Pi}(t)$ можно получить путем последовательной обработки каждого цикла процесса $u(t)$.

Таким образом, (для обеспечения объективности оценки величины коэффициента искажения синусоиды напряжения) при случайном характере искажений напряжения метод вычитания напряжения основной частоты позволяет осуществить оценку несинусоидальности без гармонического анализа кривой напряжения, что значительно облегчает такую оценку и обеспечивает ее объективность.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Киев: Госстандарт Украины, 1999. – 31 с. Введ. с 01.01.2000.
- Куренный Э.Г., Коломытцев А.Д. Оценка несинусоидальности напряжения без разложения в ряд Фурье. – Донецк, 1986. – 10 с. Осн. В Укр. НИИНТИ 15.01.87.
- Шидловский А.К., Куренный Э.Г. Введение в статическую динамику систем электроснабжения. – Киев: Наук. Думка, 1984. – 273 с.

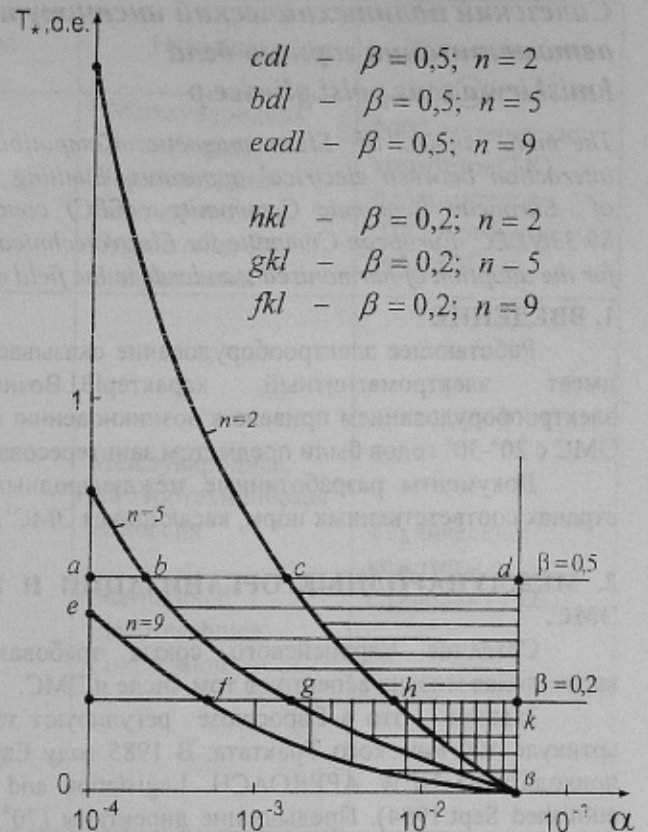


Рисунок 1 – Определение областей возможных значений T_* и α для различных гармоник напряжения