

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

С. Е. Серов, В. А. Павлюк

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Л. Г. Бычкова

Несинусоидальные токи в цепях возникают при наличии в цепи нелинейных элементов. Значительные искажения синусоиды приводят к нежелательным последствиям: к возникновению резонансов, которые приводят к опасным для изоляции пиковым повышением напряжения; к дополнительным потерям электроэнергии, к помехам, возникающим в линиях связи.

При измерении используют приборы различных измерительных систем, показания которых могут дать неверные результаты. Неправильный выбор системы прибора для измерений, неверное толкование его показателей может привести к заниженным измерениям по отношению к реальным значениям токов и, как следствие, неверному выбору номиналов кабелей и защитных устройств. Задача измерения показателей несинусоидальных напряжений возникает и при выполнении лабораторных работ.

Рассмотрим на конкретных примерах способы расчета показателей несинусоидального напряжения и выбор приборов для их измерения.

Пример 1. На вход двухполюсника подключаются несинусоидальные сигналы, формы которых отличаются только знаком перед третьей гармоникой:

$$A) u(t) = 10 + 100\sqrt{2} \sin \omega t + 50\sqrt{2} \sin 2\omega t + 40\sqrt{2} \sin 3\omega t, \text{ В};$$

$$B) u(t) = 10 + 100\sqrt{2} \sin \omega t - 50\sqrt{2} \sin 2\omega t - 40\sqrt{2} \sin 3\omega t, \text{ В}.$$

Были рассчитаны показания вольтметров для трех случаев.

Прибор электромагнитной системы, показывающий действующее значение:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}.$$

Прибор электронной системы с открытым входом, реагирующий на среднее по модулю значение напряжения:

$$U_v = 1,11U_{cp}.$$

Прибор электронной системы с закрытым входом, реагирующий на среднее по модулю значение без постоянной составляющей:

$$U_v = 1,11(U_{cp} - U_0).$$

Действующее значение сигнала $U_d = 119,2$ В. Сравним его с показаниями приборов (см. таблицу).

Электромагнитный прибор показывает действующее значение. Показание оказалось одинаковым для случая А) и В), так как действующее значение не зависит от начальных фаз гармоник. Приборы электронной системы дают заниженные по отношению к действующему значению показания, причем для прибора с открытым входом показание составляет 0,95 от действующего, а с закрытым входом только 0,72.

Разница показаний электронных приборов одного типа для случая А и В объясняется тем, что среднее по модулю значение зависит от начальных фаз гармоник.

Значение		Прибор		
		электромагнитный	электронной системы с открытым входом	электронной системы с закрытым входом
А	Измеренное значение (В)	119,2	124,43	113,3
	Расхождение, %	0	4,3	4,5
Б	Измеренное значение (В)	119,2	97,8	86,7
	Расхождение, %	0	17,9	27,2

Наибольшее отклонение от действующего значения дает прибор электронной системы с закрытым входом.

Если известен коэффициент формы измеряемого напряжения, то показание электронного вольтметра, реагирующего, например, на средневыпрямленное напряжение, можно пересчитать к действующему:

$$U_v = \frac{U_{шк}}{C} = \frac{U_{шк}}{K_\Phi}. \quad (1)$$

Если известна форма кривой измеряемого напряжения или его $K_{\phi x}$, то средне-квадратическое значение измеряемого напряжения можно определить следующим образом:

$$U_{\text{ск}} = U_{\text{ср.в}} K_{\phi x} = \frac{K_{\phi x}}{K_{\phi}} U_{\text{шк}}. \quad (2)$$

Покажем это на конкретном примере.

Эксперимент. Рассмотрим сигнал, осциллограмма которого изображена на рис. 1.

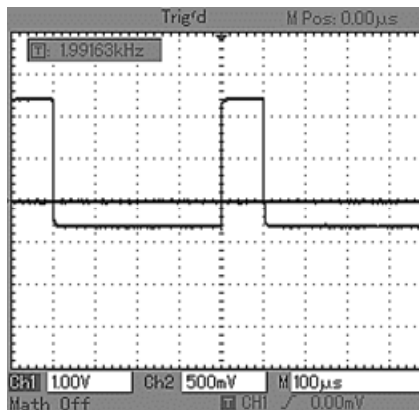


Рис. 1. Экспериментальная осциллограмма

Средневыпрямленное рассчитывается как среднее по модулю за период:

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |U_{(k)}| = 0,94 \text{ В}. \quad (3)$$

Действующее значение напряжения:

$$U_v = \sqrt{\frac{1}{2T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N U^2} = 1,16 \text{ В}. \quad (4)$$

Коэффициент формы несинусоидального сигнала:

$$K_{\phi} = \frac{U}{U_{\text{ср}}} = \frac{1,16}{0,94} = 1,234. \quad (5)$$

Электромагнитный прибор показал напряжение $U_{\text{д}} = 1,05 \text{ В}$. Найдем среднее значение напряжения, поделив показания прибора на коэффициент формы синусоидального напряжения $K_{\text{sin}} = 1,11$:

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{д}}}{K_{\text{sin}}} = \frac{1,05}{1,11} = 0,946 \text{ В}. \quad (6)$$

Найдем действующее значение напряжения с учетом коэффициента формы, по формуле

$$U_{\text{дк}} = U_{\text{ср}} K_{\text{ф}} = 0,9 \cdot 1,234 = 1,167 \text{ В.} \quad (7)$$

Относительная погрешность измерения напряжения несинусоидальной формы электромагнитным прибором:

$$\eta = \frac{U_v - U_d}{U_v} 100 \% = \frac{1,16 - 1,167}{1,16} 100 \% = 0,6 \%. \quad (8)$$

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Значение показателя несинусоидального напряжения, измеренного выпрямительными приборами, оказывается ниже действующего значения напряжения. Опасность заниженных показателей состоит в неправильном выборе допустимых сечений проводов, что приводит к аварийным режимам за счет их перегрева.

2. Зная коэффициент формы измеряемого напряжения, значение показателя, найденного по выпрямительному прибору, можно пересчитать к действующему.

Л и т е р а т у р а

1. Рачков, М. Ю. Технические измерения и приборы : учеб. и практикум для вузов / М. Ю. Рачков. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2018. – 201 с. – (Сер. Специалист).
2. Пелевин, В. Ф. Метрология и средства измерений : учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по техн. и технолог. специальностям / В. Ф. Пелевин. – Минск : Новое знание, 2013.
3. Соломахо, В. Л. Нормирование точности и технические измерения : учебник / В. Л. Соломахо, Б. В. Цитович, С. С. Соколовский. – Минск : Выш. шк., 2015. – 367 с.