

УДК 621.317.725.621.385.621.317.75

СИГНАЛЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ ОТ ФОРМЫ ЗНАКОПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Г. П. ТРОФИМОВ, А. А. ПЕТРИЦЕВ

(Представлена научным семинаром кафедры радиотехники)

Влияние формы измеряемого сигнала на показания вольтметров переменного напряжения лучше всего можно оценить экспериментально, подавая на вольтметр сигналы некоторых типовых, строго известных форм. Рассмотрены возможности ряда таких сигналов для решения поставленной задачи. Показано, что наиболее широкий диапазон регулирования пикфактора и формфактора — основных характеристик формы сигнала — обеспечивается при использовании трапецеидального знакопеременного напряжения с регулированием скважности и длительностей фронтов.

Таблиц 3, библиографий 4.

Одна из важных задач обеспечения единства измерений на переменном токе связана с необходимостью учета влияния формы измеряемого напряжения на показания электронных вольтметров. Перспективный путь ее решения состоит в создании генераторов сигналов типовых идеализированных форм (синусоидальной, прямоугольной, треугольной и др.) и в экспериментальном определении реакции вольтметров на их воздействия. В статье рассмотрены возможности ряда таких сигналов для решения поставленной задачи.

Измерение интенсивности переменных электрических колебаний осуществляется путем их преобразования в постоянное напряжение. В электронных вольтметрах применяются преобразователи амплитудных, эффективных и средневыпрямленных значений, коэффициент передачи которых обычно калибруется в эффективных значениях синусоидального напряжения (шкалы большинства вольтметров градуируются в эффективных значениях измеряемой величины)*. При отклонении формы преобразуемого сигнала от синусоидального это приводит к появлению дополнительной погрешности преобразователя, а следовательно, и вольтметра. Для преобразователей амплитудного значения согласно [1] погрешность от формы

$$\delta_a = \frac{K_a}{K_{a0}} - 1, \quad (1)$$

где K_a и K_{a0} — пикфакторы измеряемого и калибровочного напряжения. Преобразователи средневыпрямленных ($n = 1$) и эффективных ($n = 2$) значений реализуют зависимость

* В дальнейшем подразумевается именно этот случай преобразования.

$$U_{\text{ср,эфф}} = \left[\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} |U(t)|^n dt \right]^{1/n}, \quad (2)$$

где T — период. С учетом отклонения показателя степени Δn от номинального погрешность преобразователей средневыпрямленного значения

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{K_{\Phi 0}}{K_{\Phi}} [1 + \Delta n (b + l_n K_{\Phi})] - 1, \quad (3)$$

где $K_{\Phi 0}$ и K_{Φ} — формфакторы калибровочного и преобразуемого напряжения; b — коэффициент, зависящий от формы кривой этих же напряжений. В преобразователях эффективного напряжения согласно (2) осуществляется операция квадрирования. Квадраторы на электротепловых элементах (термисторы, термопреобразователи, вакуумные диоды с введением мощности в цепь накала) не имеют погрешности от формы воздействующего сигнала.

Для всех других квадраторов погрешность от формы

$$\delta = \Delta n (a + l_n K_{\Phi}) \quad (4)$$

имеет место только при отклонении передаточных характеристик от квадратичного закона, причем выражение (4) справедливо при $\Delta n \ll 1$. Параметр a зависит от формы кривой преобразуемого и калибровочного напряжений.

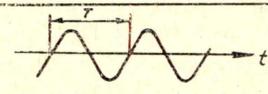
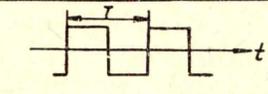
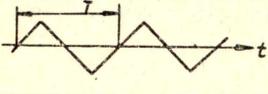
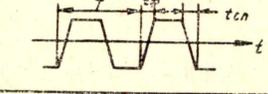
Таким образом, погрешности вольтметров от формы напряжений с учетом отклонения от реализуемого закона преобразования, определяемого Δn , зависят от пикфакторов или формфакторов.

Изменение пикфактора и формфактора можно реализовать двумя путями:

- используя набор кривых с известными значениями K_a и K_{Φ} ;
- регулируя скважность калибровочного сигнала при неизменной форме импульса.

В таблице (1) приведены некоторые наиболее легко реализуемые на практике кривые и соответствующие им значения K_a , K_{Φ} . Из сравнения этих форм колебаний следует, что наибольшими значениями K_a

Таблица №1

Вид сигнала	U	$U_{\text{ср}}$	$K_a = \frac{U_M}{U}$	$K_{\Phi} = \frac{U}{U_{\text{ср}}}$
	$\frac{U_M}{\sqrt{2}}$	$\frac{2U_M}{\pi}$	$\sqrt{2}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$
	U_M	U_M	1	1
	$\frac{U_M}{\sqrt{3}}$	$\frac{U_M}{2}$	$\sqrt{3}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$
	$U_M \sqrt{1-2\delta/3}$	$U_M (1-\delta/2)$	$\frac{1}{\sqrt{1-2\delta/3}}$	$\frac{\sqrt{1-2\delta/3}}{1-\delta/2}$

и K_{Φ} обладает треугольное напряжение ($K_a = 1,73$; $K_{\Phi} = 1,15$) и наименьшими — прямоугольное ($K_a = K_{\Phi} = 1$). Поэтому эти две кривые позволяют найти предельное значение погрешностей вольтметров от формы знакопеременных сигналов.

Можно показать, что пикфакторы и формфакторы гладких кривых (параболической, колоколообразной, косинусоквадратной и др. подобных форм) занимают промежуточные положения в диапазоне указанных крайних значений. Получение этих кривых на повышенных частотах (десятки килогерц) связано с большими трудностями. Поэтому для расширения числа градаций K_a и K_ϕ в диапазоне крайних значений, образуемых прямоугольной и треугольной формами, целесообразно использовать трапецеидальное напряжение с регулируемым параметром

$$\gamma = \frac{t_\phi + t_{сп}}{t_n} \quad (5)$$

В настоящее время имеются генераторы импульсов с регулировкой времени нарастания и спада не только для микросекундного, но и наносекундного диапазона [2].

При оценке $\delta_{ср}$ и δ путем воздействия разных кривых последние должны иметь разную амплитуду. В противном случае изменение $U_{ср}$ или U может скрыть влияние формы калибровочного сигнала. Соотношения между амплитудами различных кривых видны непосредственно из выражений во втором и третьем столбцах табл. 1. В случае использования трапецеидального напряжения амплитуду его для поддержания $U = \text{const}$ требуется изменять в соответствии с зависимостью

$$U_m(\gamma) = \frac{U_{мо}}{\sqrt{1 - 2\gamma/3}}, \quad (6)$$

а для поддержания $U_{ср} = \text{const}$ согласно выражению

$$U_m(\gamma) = \frac{U_{мо}}{1 - \gamma/2}. \quad (7)$$

Здесь $U_{мо}$ — амплитуда сигнала при $\gamma = 0$.

В практических ситуациях встречаются кривые с гораздо большими коэффициентами K_a и K_ϕ , чем могут обеспечить типовые кривые, и первый способ оценки погрешностей вольтметров от формы сигналов оказывается недостаточным.

Более широкий диапазон изменения K_a K_ϕ реализуется при помощи тех же кривых с переменной скважностью (табл. 2)*. Как и при первом способе, для оценки погрешности ЭВ от формы сигнала необходимо менять K_ϕ без изменения U или $U_{ср}$. Тогда отклонение показаний вольтметра будет отражать только δ или $\delta_{ср}$. Из табл. 2 видно, что при изменении скважности для поддержания $U = \text{const}$ необходимо изменять амплитуду калибровочного сигнала пропорционально \sqrt{Q} , а для поддержания $U_{ср} = \text{const}$ — пропорционально Q . При этом закон изменения $K_\phi(Q)$ остается прежним в соответствии с выражениями табл. 2.

Диапазон регулирования скважности определяется допустимым пикфактором преобразуемого сигнала ($K_a \leq 5$). Как видно из табл. 2, максимальную скважность должны иметь несимметричный ($Q = 26$) и симметричный ($Q = 25$) прямоугольные сигналы.

Минимальный диапазон регулирования скважности получается при треугольной форме ($Q = 8$). Учитывая достоинства прямоугольного напряжения для решения ряда важных задач метрологии и измерительной техники [3, 4], желательно иметь в наборе генерируемых функций прямоугольный сигнал. Наиболее широкий круг задач решается при наличии трапецеидального напряжения с регулируемыми параметрами.

* Вопросы практической реализации генераторов таких сигналов должны рассматриваться в отдельной статье.

Нестабильность скважности сигналов приводит к искажениям результатов оценки погрешностей от формы. В табл. 3 приведены выра-

Таблица N2

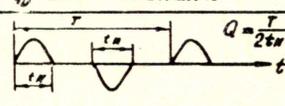
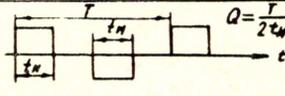
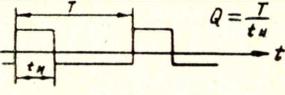
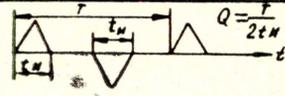
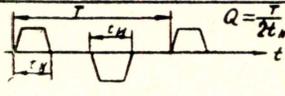
Вид сигнала	U	U_{cp}	K_a	K_{ϕ}
	$\frac{U_m}{\sqrt{2} \sqrt{Q}}$	$\frac{2U_m}{\pi Q}$	$\sqrt{2} \sqrt{Q}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} \sqrt{Q}$
	$\frac{U_m}{\sqrt{Q}}$	$\frac{U_m}{Q}$	\sqrt{Q}	\sqrt{Q}
	$\frac{2U_m \sqrt{Q-1}}{Q}$	$\frac{4U_m(Q-1)}{Q^2}$	$\frac{Q}{2\sqrt{Q-1}}$	$\frac{Q}{2\sqrt{Q-1}}$
	$\frac{U_m}{\sqrt{3} \sqrt{Q}}$	$\frac{U_m}{2Q}$	$\sqrt{3} \sqrt{Q}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{Q}$
	$\frac{U_m \sqrt{1-2\gamma/3}}{\sqrt{Q}}$	$\frac{U_m(1-\gamma/2)}{Q}$	$\frac{\sqrt{Q}}{\sqrt{1-2\gamma/3}}$	$\frac{\sqrt{1-2\gamma/3}}{1-\gamma/2}$

Таблица N3

Вид сигнала *	$\frac{dU}{dQ}$	$\frac{dU_{cp}}{dQ}$	$\frac{dK_a}{dQ}$	$\frac{dK_{\phi}}{dQ}$
Синусоидальный	$-\frac{U_m}{\sqrt{2} \sqrt{Q^3}}$	$-\frac{2U_m}{\pi Q^2}$	$\frac{1}{\sqrt{2} \sqrt{Q}}$	$\frac{\pi}{4\sqrt{2} \sqrt{Q}}$
Симметричный прямоугольный	$-\frac{U_m}{2\sqrt{Q^3}}$	$-\frac{U_m}{Q^2}$	$\frac{1}{2\sqrt{Q}}$	$\frac{1}{2\sqrt{Q}}$
Несимметричный прямоугольный *	$\frac{U_m(2-Q)}{Q^2 \sqrt{Q-1}}$	$\frac{2-Q}{Q^3} 4U_m$	$\frac{Q-2}{4\sqrt{Q-1}^3}$	$\frac{Q-2}{4\sqrt{Q-1}^3}$
Треугольный	$-\frac{U_m}{\sqrt{6} \sqrt{Q^3}}$	$-\frac{U_m}{2Q^2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{Q}}$	$\frac{1}{\sqrt{3} \sqrt{Q}}$
Трапецидальный *	$\frac{U_m \sqrt{1-2\gamma/3}}{2\sqrt{Q^3}}$	$-\frac{U_m(1-\gamma/2)}{Q^2}$	$\frac{1}{2\sqrt{Q} \sqrt{1-2\gamma/3}}$	$\frac{\sqrt{1-2\gamma/3}}{2(1-\gamma/2)\sqrt{Q}}$

* Соответственно табл. 2

** Для этого сигнала $Q = \frac{T}{t_n}$

жения производных U , U_{cp} , K_a и K_{ϕ} по скважности. По этим результатам видно, что нестабильность скважности более существенно изменяет U и U_{cp} , нежели K_a и K_{ϕ} , т. е. отклонения показаний вольтметров в основном обусловлены изменениями энергетических характеристик сигнала, а не характеристик формы. Следовательно, даже при

наличии некоторой нестабильности скважности результаты (1), (3) и (4) оказываются достаточно достоверными, а изложенный метод — достаточно эффективным.

Выводы

1. Для экспериментального определения погрешности показаний электронных вольтметров от формы напряжения целесообразно использовать типовые несинусоидальные сигналы знакопеременного тока с регулируемой скважностью.

2. Результаты оценки погрешностей вольтметров от формы кривой напряжения слабо зависят от колебаний скважности, т. е. изложенный в статье подход оказывается достаточно эффективным.

3. Для определения погрешностей вольтметров от формы кривой напряжения лучше других представляется трапецеидальный сигнал с регулированием скважности и длительностей фронтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Волгин. Линейные электрические преобразователи для измерительных приборов и систем. М., «Советское радио», 1971.

2. Н. И. Докукина. Генераторы импульсов с регулируемой длительностью, временем нарастания и спада. Обзоры по электронной технике. Серия—контрольно-измерительная аппаратура. Вып. 16 (85), ВИНТИ, М., 1969.

3. М. С. Ройтман, В. Р. Цибульский, Г. П. Трофимов, А. В. Соколов. Экспериментальное определение погрешности перехода термо- и фотоэлектрических компараторов действующего значения. «Метрология», 1973, № 6.

4. Ю. М. Туз. Новый метод калибровки милливольтметров амплитудных, действующих и средних значений. Известия вузов СССР, «Радиотехника», 1964, № 4.