

Ю. А. СКРИПНИК, Ю. П. ЮРЧЕНКО

(Киев)

### ОБ ОДНОКАНАЛЬНОМ ЦИФРОВОМ КОРРЕЛЯЦИОННОМ ИЗМЕРИТЕЛЕ ТАНГЕНСА УГЛА ПОТЕРЬ

Важнейшей величиной, характеризующей свойства различных электротехнических материалов (диэлектриков и магнитных материалов) и в связи с этим привлекающей постоянное внимание измерителей (см., например, [1—5]), является тангенс угла потерь  $\operatorname{tg} \delta$ . Для измерения этой величины в широком диапазоне частот (эта задача возникает, как известно, при исследовании частотных свойств материалов) перспективным представилось применение корреляционного метода.

Общие возможности корреляционного метода в применении к подобному рода задачам рассмотрены в [6, 7]. Однако всем предложенным схемам устройств, реализующих этот метод, присущ общий недостаток двухканальных устройств: значительная погрешность из-за неидентичности и нестабильности характеристик отдельных звеньев преобразовательных каналов. При этом основными составляющими погрешностями являются аддитивная погрешность, обусловленная дрейфом нуля множительного устройства и интегратора, а также погрешность из-за неидентичности частотных характеристик указанных устройств.

Ниже рассматривается возможность построения одноканального измерителя тангенса угла потерь, в котором значительно уменьшены инструментальные погрешности, обусловленные изменением параметров преобразовательных звеньев.

В рассматриваемом измерителе (рис. 1) выходные напряжения  $U_1 = U_m \cos \omega t$  и  $U_2 = U_m \sin \omega t$  квадратурного генератора КГ через автоматический переключатель  $\Pi_\Omega$ , управляемый тактовыми импульсами от схемы управления СУ, поочередно подаются на один из входов множительного устройства МУ. Кроме того, напряжение  $U_2$  питает исследуемый четырехполюсник ИЧ, на выходе которого устанавливается напряжение

$$U_4 = \alpha U_m \sin(\omega t + \varphi) + n(t),$$

где  $\alpha$  — коэффициент передачи ИЧ;  $\varphi$  — фазовый сдвиг, вносимый ИЧ;  $n(t)$  — помеха, представляющая собой случайную функцию; напряжение  $U_4$  постоянно воздействует на второй вход МУ.

В первый полупериод коммутации  $\Pi_\Omega$  на МУ подается  $U_1$  и на выходе МУ действует напряжение

$$U'_5 = S_{МУ} U_1 U_4 = \frac{\alpha S_{МУ} U_m^2}{2} [\sin \varphi + \sin(2\omega t + \varphi)] + S_{МУ} U_m n(t) \cos \omega t,$$

где  $S_{МУ}$  — крутизна преобразования МУ. Интегратором И напряжение  $U'_5$  интегрируется в течение времени  $T_{\text{инт}} = nT = \frac{2\pi n}{\omega}$ ; число ( $n$ ) периодов интегрирования можно выбрать исходя из интервала корреляции помехи  $n(t)$ . Выходное напряжение интегратора И к концу  $T_{\text{инт}}$  будет составлять

$$U'_6 = \frac{S_{\text{и}}}{T_{\text{инт}}} \int_0^{T_{\text{инт}}} \left\{ \frac{\alpha S_{МУ} U_m^2}{2} [\sin \varphi + \sin(2\omega t + \varphi)] + S_{МУ} U_m n(t) \cos \omega t \right\} dt,$$

где  $S_{\text{и}}$  — крутизна интегратора И. Поскольку интервал интегрирования кратен периоду выделяемого напряжения, то интеграл от члена, содержащего  $\sin 2\omega t$ , обращается в нуль. Кроме того, при достаточно боль-

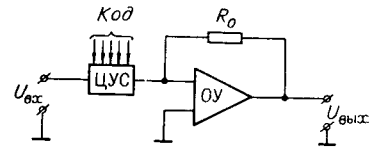
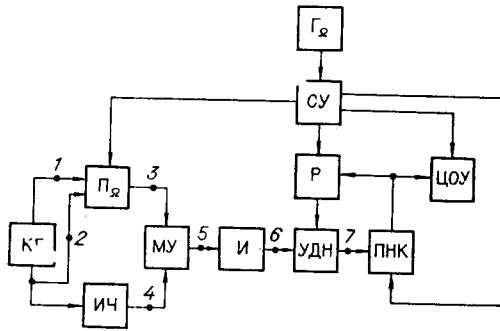


Рис. 1.

Рис. 2.

шом  $n$  ввиду отсутствия корреляции между помехой и напряжением питания последний член, стоящий под знаком интеграла, также дает нуль. Следовательно,

$$U'_6 = \frac{\alpha S_{МУ} S_{\text{и}} U_m^2}{2} \sin \varphi. \quad (1)$$

В другой полупериод коммутации  $\Pi_{\Omega}^-$  на МУ подается  $U_2$  и на выходе интегратора будет действовать

$$U''_6 = \frac{\alpha S_{МУ} S_{\text{и}} U_m^2}{2} \cos \varphi. \quad (2)$$

Для получения отношения  $U''_6/U'_6$ , представляющего искомый тангенс угла потерь, применена схема с управляемым делителем напряжения УДН, коэффициент деления которого устанавливается пропорциональным коду  $N$ , записанному в регистре Р. Один из вариантов выполнения УДН приведен на рис. 2. Схема представляет собой операционный усилитель в режиме масштабного усилителя — инвертора с цифровым управляемым сопротивлением ЦУС в качестве входного сопротивления [8]. Коэффициент передачи такого УДН выражается формулой

$$K_{\text{п}} = \frac{R_0}{R_{\text{ЦУС}}} = \frac{R_0}{mN}, \quad (3)$$

где  $m$  — масштабный коэффициент.

Перед началом измерения в регистре Р (см. рис. 1) устанавливается код  $N_0 = R_0/m$ , благодаря чему  $K_{\text{п}} = 1$  и напряжение  $U'_6$ , сформированное в первом полупериоде коммутации, целиком приложено к входу ПНК.

По сигналу СУ, задержанному относительно импульса переключения  $\Pi_{\Omega}$  на время переходных процессов, запускается ПНК и  $U'_7 = U'_6$  [см. (1)] преобразуется в код

$$M'_{\text{ПНК}} = \frac{K U'_6}{m N'} = \frac{1}{m K S_{\text{МУ}}} \frac{S_{\text{И}} \approx I/2 \sin \alpha}{S_{\text{И}} \alpha U_m^2 \sin \varphi} \quad (4)$$

Следовательно, во втором полупериоде коммутации для напряжения  $U''_7 = K_{\text{П}} U''_6$ , приложенного к входу ПНК, с учетом (2) получаем формулу

$$U''_7 = \frac{R_0}{m K} \operatorname{ctg} \varphi = \frac{R_0}{m K} \operatorname{tg} \delta.$$

Это напряжение преобразуется в код

$$N'' = K U''_7 = \frac{R_0}{m} \operatorname{tg} \delta, \quad (5)$$

и результат с коэффициентом  $R_0/m$  по сигналу СУ индицируется в цифровом отсчетном устройстве ЦОУ.

Новое измерение начинается сбросом ПНК в нуль и установкой в регистре Р кода  $N_0$ .

Из выражения (5) следует, что на конечный результат не оказывает влияния нестабильность коэффициента  $K$  преобразования ПНК, крутизны преобразования множительного устройства и крутизны интегратора. Это достигнуто применением в измерителе принципа временного разделения вычислительно-преобразовательных операций [9]. Использование УДН для деления двух напряжений позволяет производить операцию деления с точностью подгонки сопротивлений УДН.

Благодаря применению одного корреляционного преобразователя, состоящего из множительного устройства и интегратора, исключается аддитивная погрешность, что позволяет достоверно измерять малые углы потерь. Отсутствие погрешности, обусловленной неидентичностью частотных характеристик указанных устройств, обеспечивает широкополосность всего измерителя в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Михайлов, К. Б. Карандеев, В. Т. Ренне. Испытания электроизолирующих материалов. Под ред. М. М. Михайлова. Л., ГОНТИ, 1936.
2. Д. М. Казарновский. Испытание радиотехнических материалов и деталей. М. — Л., Госэнергоиздат, 1953.
3. М. С. Микитинский. К теории реактивного метода измерения диэлектрических потерь. — Измерительная техника, 1961, № 5.
4. Ф. Б. Гриневич, А. Л. Грохольский, К. М. Соболевский, М. П. Цапенко. Трансформаторные измерительные мосты. М., «Энергия», 1970.
5. С. Л. Эпштейн. Измерение характеристик конденсаторов. М. — Л., «Энергия», 1965.
6. Ф. Б. Гриневич, К. Б. Карандеев, Г. А. Штамберггер. О принципах построения измерительной аппаратуры для электроразведки методом естественных электромагнитных полей. — Автометрия, 1965, № 4.

7. Ю. П. Леонов, Л. Н. Липатов. Применение статистических методов для определения характеристик объектов.— Автоматика и телемеханика, 1959, т. XX, № 9.
8. В. Б. Смоллов и др. Полупроводниковые кодирующие и декодирующие преобразователи напряжений. Л., «Энергия», 1967.
9. Ю. А. Скрипник. Методы измерительных преобразований и структура электронных приборов.— Измерительная техника, 1969, № 4.

*Поступила в редакцию  
3 июля 1970 г.,  
окончательный вариант —  
18 мая 1971 г.*

---