



УКРАИНСКОЕ РЕСПУБЛИКАНСКОЕ  
ПРАВЛЕНИЕ ВСЕСОЮЗНОГО  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО  
ОБЩЕСТВА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЕЙ  
ИМ. С. И. ВАВИЛОВА

ЗАКАРПАТСКОЕ ОБЛАСТНОЕ ПРАВЛЕНИЕ  
СОЮЗА НАУЧНЫХ  
И ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЩЕСТВ СССР

ЗАКАРПАТСКОЕ ОБЛАСТНОЕ  
ПРАВЛЕНИЕ НТО ПРИБОРОСТРОИТЕЛЕЙ  
ИМ. С. И. ВАВИЛОВА

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Научно-технический сборник

— 6 —

УЖГОРОД 1988 г.

## ИЗМЕРЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОВОДИМОСТИ НА ИНФРАКРАСНЫХ ЧАСТОТАХ

А. А. Горват, В. С. Наконечный, А. А. Молнар

При исследовании параметров электрических цепей, динамических свойств диэлектриков и электрохимических систем возникает задача измерения частотной зависимости их комплексной проводимости. Эти измерения проводятся мостовыми, резонансными, СВЧ методами или путем изучения теплового шума. Однако, они имеют существенные ограничения в области инфракрасных частот. Поэтому в последние годы при инфракрасночастотных измерениях комплексной проводимости широкое распространение получили методы, основанные на исследовании с помощью Фурье анализа отклика системы на внешнее воздействие [1], а также методы измерения действительной и мнимой частей тока через исследуемый объект фазочувствительными амперметрами или вольтметрами. Последний метод весьма прост с точки зрения аппаратных средств и допускает полную автоматизацию исследований с помощью мини- и персональных ЭВМ [2], поскольку не требует высокого быстродействия и большого объема оперативной памяти.

Принцип действия применяемого нами измерителя комплексной проводимости с использованием фазочувствительных вольтметров заключается в следующем. Напряжение  $U_0$  от опорного генератора поступает на последовательно соединенные неизвестное комплексное сопротивление  $Z_x$ , представленное схемой замещения в виде параллельно соединенных конденсатора емкостью  $C_x$  и резистора сопротивлением  $R_x$ , и эталонное сопротивление  $Z_0$ , которое в общем случае также комплексное (рис. 1, а). Последовательно соединенные  $Z_x$  и  $Z_0$  представляют собой простейший пассивный преобразователь с комплексным коэффициентом передачи  $S = S_1 + iS_2$ , зависящим при данном  $Z_0$  от  $R_x$  и  $C_x$ . При использовании активного преобразователя на базе интегральных операционных усилителей для параллельной схемы замещения, как показывает анализ, наиболее целесообразно исследуемый двухполюсник  $Z_x$  включить во входную цепь, а эталонное сопротивление  $Z_0$  в цепь обратной связи (рис. 1, б). Напряжение  $U_x$ , снимаемое с эталонного сопротивления  $Z_0$  при использовании пассивного преобразователя, или с выхода активного преобразователя подается на фазочувствительные вольтметры, выделяющие мнимую  $\text{Im } U_x$  и действительную  $\text{Re } U_x$  составляющие напряжения  $U_x$ .

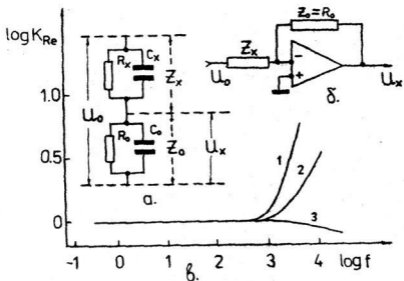


Рис. 1. Схема измерения комплексной проводимости с использованием пассивного (а) и активного (б) преобразователя; в - зависимость поправочного коэффициента  $K_{Re}$  от частоты при различных значениях  $\chi$ , с: 1-  $10^{-3}$ , 2-  $10^{-4}$ , 3-  $10^{-7}$ ; ( $\tau = 10^{-5}$  с).

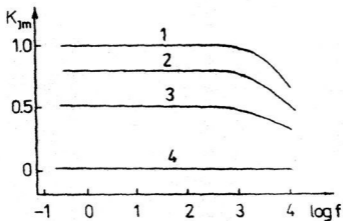


Рис. 2. Частотная зависимость поправочного коэффициента  $K_{fm}$  при различных значениях  $\chi$ , с: 1-  $10^{-3}$ , 2-  $5 \cdot 10^{-5}$ , 3-  $3 \cdot 10^{-5}$ , 4-  $10^{-5}$ ; ( $\tau = 10^{-5}$  с).

Легко показать, что для идеального операционного усилителя

$$ReU_x = \frac{U_0 R_0}{R_x} \cdot \frac{1 + \omega h x}{1 + \omega^2 h^2} = K_{Re} \frac{U_0}{g_0} g_x$$

$$ImU_x = U_0 R_0 \omega C_x \cdot \frac{1 - \frac{h}{x}}{1 + \omega^2 h^2} = K_{Im} \frac{U_0}{g_0} \omega C_x$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$$K_{Re} = \frac{1 + \omega h x}{1 + \omega^2 h^2}, \quad K_{Im} = \frac{1 - \frac{h}{x}}{1 + \omega^2 h^2},$$

где  $h = R_0 C_0$ ,  $x = R_x C_x$ ,  $g_0 = 1/R_0$ ,  $g_x = 1/R_x$ ,  $\omega$  - циклическая частота напряжения опорного генератора.

Очевидно, что при  $K_{Re} = K_{Im} = 1$  напряжения  $ReU_x$  и  $ImU_x$  пропорциональны соответственно проводимости  $g_x$  и емкости  $C_x$  исследуемого двухполосника и при постоянных  $U_0$  и  $\omega$  неизвестные  $C_x$  и  $g_x$  могут быть определены по формулам

$$C_x = g_0 \frac{ImU_x}{\omega U_0} \quad (1), \quad g_x = g_0 \frac{ReU_x}{U_0} \quad (2).$$

Для оценки границ применимости формул (1) и (2) рассчитаны значения коэффициентов  $K_{Re}$  и  $K_{Im}$  в диапазоне низких и инфранизких частот  $f = \omega/(2\pi) = 10^{-3} \dots 10^4$  Гц, для области значений  $R_x = 10^4 \dots 10^{11}$  Ом,  $C_x = 10^{-1} \dots 10^4$  пФ, характерных для параметров электрохимических ячеек и образцов исследуемых диэлектриков, и области значений  $R_0 = 10^4 \dots 10^6$  Ом,  $C_0 = 10^{-1} \dots 10^2$  пФ, определяемых условием  $|Z_0| \ll |Z_x|$  и параметрами современных интегральных операционных усилителей. Как пример, на рис.1, в и рис.2 приведены зависимости поправочных коэффициентов  $K_{Re}$  и  $K_{Im}$  от частоты при различных значениях  $X$ .

Анализ полученных результатов показывает, что  $K_{Re} = K_{Im} = 1$  в ограниченной области частот и значений  $h$  и  $x$ , причем пределы возможных значений  $x$  при заданном  $h$  увеличиваются с понижением частоты измерений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рябов В.В. Измерение параметров двухполосников электрических цепей по коэффициентам разложения сигнала в обобщенный ряд Фурье. // Изв. ВУЗов. Приборостроение, 1966, т.29, №3, с.59-63.
2. Voukamp В.А. A Microcomputer based system for frequency dependent impedance/admittance measurements. // Sol.State Ionik, 1984, v.11, №4, p.339-346.