

Литература

1. Пат. 48596 України, МКВ G01N27/22. Ємнісний вимірювальний перетворювач / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий (Україна). – № 2001107200; Заявл. 23.10.2001; Опубл. 16.08.2004, Бюл. №1. – 2 с.
2. Пат. 51222 України, МКВ G01N27/22. Ємнісний датчик вологості / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий (Україна). – № 2002020867; Заявл. 04.02.2002; Опубл. 15.10.2004, Бюл. №10. – 2 с.
3. Пат. 62125 України, МКВ G01N27/22. Ємнісний датчик вологості / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий (Україна). – № 20021210070; Заявл. 13.12.2002; Опубл. 15.12.2003, Бюл. №12. – 2 с.
4. Бухгольц В.П., Тисевич Э.Г. Ёмкостные преобразователи в системах автоматического контроля и управления. – М.: Энергия, 1972. – 79 с.
5. Заявка на изобретение Российской Федерации, МПК G01N27/22. Ёмкостной сорбционный датчик влажности газов / И.Г. Мишаев, А.В. Вострухин (Российская Федерация). – № 94030042; Заявл. 09.08.1994; Опубл. 20.06.1996, Бюл. №25. – 4 с.

УДК 621.317.3

# МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

*Запропоновано метод вимірювання повного опору, що дозволяє визначати значення повного опору на різних частотах при відомих параметрах невізаємного чотириполюсника шляхом вимірювання потужності сигналу на виході чотириполюсника при його прямому та інверсному включенні*

*Ключові слова: невізаємний чотириполюсник, метод вимірювання, повний опір*

*Предложен метод измерения полного сопротивления, позволяющий определять значения полного сопротивления на разных частотах при известных параметрах невязимного четырехполюсника путем измерения мощности сигнала на выходе четырехполюсника при его прямом и инверсном включении*

*Ключевые слова: невязимный четырехполюсник, метод измерения, полное сопротивление*

*A method of impedance measuring, which allows to determine the value of impedance at different frequencies with known parameters of the nonreciprocal two-port by measuring the signal power at the output of the two-port with its direct and inverse connection is proposed*

*Key words: nonreciprocal two-port, the method of measuring, impedance*

**Л.Б. Лищинская**

Кандидат технических наук, доцент  
Винницкий торгово-экономический институт КНТЭУ  
ул. Соборная, 87, г. Винница, Украина, 21100  
Контактный тел.: (0432) 53-05-27  
E-mail: L\_Fil1@mail.ru

**Е.В. Войцеховская**

Кандидат технических наук, старший преподаватель\*  
Контактный тел.: (0432) 35-63-29  
E-mail: pktavntu@mail.ru

**Р.Ю. Чехмestрук\***

Контактный тел.: (0432) 68-85-65  
E-mail: chehroma@yandex.ru  
\*Винницкий национальный технический университет  
Хмельницкое шоссе, 95; г. Винница, Украина, 21021

## 1. Введение

На низких частотах, где можно пренебречь реактивной составляющей нагрузки, широко используются различного типа омметры, измеряющие активную составляющую сопротивления методом “ампер-вольтметра” [1]. На высоких частотах, когда требуется определять как активную  $ReZ_x$ , так и реактивную  $ImZ_x$  составляющие полного сопротивления  $Z_x$ , процесс

измерения существенно усложняется. На относительно невысоких частотах (до сотни мегагерц) используются различные мостовые методы [2]. Также известен косвенный способ измерения активной составляющей комплексного сопротивления через инвариантный коэффициент устойчивости четырехполюсника [3]. На сверхвысоких частотах применяются специальные измерительные линии [4] и фазовые вольтметры [5]. Недостатком таких измерений является относительно

большая погрешность измерений (не менее 10%), трудоемкость и высокая стоимость аппаратуры.

## 2. Цель работы

Целью работы является разработка простого способа измерения полного сопротивления, исключая проведение фазовых измерений и имеющего погрешность измерений соизмеримую в диапазоне СВЧ с погрешностью измерительной линии.

## 3. Теоретическое обоснование метода

Известно [6], что при включении в общий вывод четырехполюсника, образованного трехполюсником (рис. 1), искомого сопротивления  $Z_x$  матрица сопротивлений вновь образованного четырехполюсника равна

$$[Z^\Sigma] = \begin{bmatrix} Z_{11}^\Sigma & Z_{12}^\Sigma \\ Z_{21}^\Sigma & Z_{22}^\Sigma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} + Z_x & Z_{12} - Z_x \\ Z_{21} + Z_x & Z_{22} - Z_x \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $Z_{11}$ ,  $Z_{12}$ ,  $Z_{21}$ ,  $Z_{22}$  - параметры матрицы сопротивлений известного четырехполюсника.

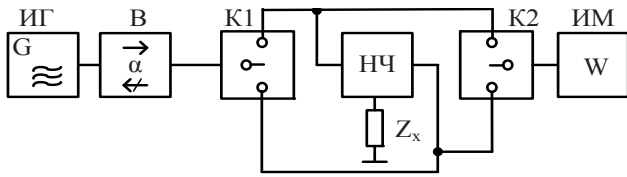


Рис. 1. Схема измерительной установки с включенным трехполюсником и искомым сопротивлением  $Z_x$

Максимально достижимый коэффициент устойчивой передачи по мощности такого четырехполюсника с учетом (1) равен

$$K_{ms} = \left| \frac{Z_{21}^\Sigma}{Z_{12}^\Sigma} \right| = \left| \frac{Z_{21} + Z_x}{Z_{12} - Z_x} \right| = \left| \frac{\frac{Z_{21}}{Z_{12}} + \frac{Z_x}{Z_{12}}}{1 - \frac{Z_x}{Z_{12}}} \right| = \left| \frac{Z_{12} K_{ms0} + Z_x}{Z_{12} - Z_x} \right|, \quad (2)$$

где  $K_{ms0} = |Z_{21}/Z_{12}|$  - максимально-достижимый коэффициент передачи четырехполюсника, когда  $Z_x = 0$  [7].

На низких частотах, где можно пренебречь реактивной составляющей сопротивлений, решая (2), находим:

$$\text{Re}Z_x = \text{Re}Z_{12} \frac{K_{ms} - K_{ms0}}{1 + K_{ms}}. \quad (3)$$

Учитывая, что  $K_{ms} = \sqrt{P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}}$  [8], из (3) находим

$$\text{Re}Z_x = \text{Re}Z_{12} \frac{\sqrt{P_{\text{вых}}} - K_{ms0} \sqrt{P_{\text{вх}}}}{\sqrt{P_{\text{вх}}} + \sqrt{P_{\text{вых}}}}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{вх}}$  и  $P_{\text{вых}}$  - мощности сигнала, выделяемые в нагрузку при прохождении сигнала в прямом и обратном направлениях, когда выполняются условия:  $P_r = \text{const}$ ,  $Z_n = Z_r$ .

Из (4) следует, что при известных параметрах невязимого четырехполюсника, образованного ак-

тивным трехполюсником, измерение  $\text{Re}Z_x$  состоит в измерении только мощностей сигнала  $P_{\text{вх}}$  и  $P_{\text{вых}}$  и реализуется с помощью измерительной установки, структурную схему которой представлено на рис. 1. Она состоит из измерительного генератора ИГ, вентили В, невязимого четырехполюсника НЧ с известными параметрами  $\text{Re}Z_{12}$ ,  $\text{Im}Z_{12}$  и  $K_{ms0}$ , измерителя мощности ИМ, коммутаторов K1 и K2 и искомого полного сопротивления  $Z_x$ .

На частотах, где невозможно пренебречь реактивными составляющими сопротивлений, если предположить, что

$$\frac{Z_{21}}{Z_{12}} \gg \frac{Z_x}{Z_{12}} \text{ и } \frac{Z_x}{Z_{12}} \gg 1, \text{ то есть } Z_{21} \gg Z_x \gg Z_{12}, \quad (5)$$

выражение (2) будет иметь вид:

$$K_{ms} \approx \left| \frac{Z_{21}}{Z_x} \right| = \frac{\sqrt{\text{Re}^2 Z_{21} + \text{Im}^2 Z_{21}}}{\sqrt{\text{Re}^2 Z_x + \text{Im}^2 Z_x}}. \quad (6)$$

Решая (6), получаем:

$$\text{Re}Z_x = \frac{\text{Re}Z_{21}}{K_{ms}}, \quad \text{Im}Z_x = \frac{\text{Im}Z_{21}}{K_{ms}}. \quad (7)$$

Откуда находим

$$\text{Re}Z_x = \text{Re}Z_{21} \sqrt{\frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}}}, \quad \text{Im}Z_x = \text{Im}Z_{21} \sqrt{\frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}}}. \quad (8)$$

Анализ (8) показывает, что нахождение составляющих сопротивления  $Z_x$  сводится к измерению мощностей сигнала  $P_{\text{вх}}$  и  $P_{\text{вых}}$ , выделяемого в нагрузку после прохождения через четырехполюсник при его прямом и инверсном включении. Эти измерения, как показано в [5], не зависят от параметров пассивных цепей, подключаемых к входу и выходу четырехполюсника, что также повышает точность измерения сопротивления  $Z_x$ .

## 4. Экспериментальная проверка метода и оценка погрешности измерения

Для проведения экспериментальных исследований в качестве невязимого четырехполюсника использован биполярный транзистор, включенный по схеме с общей базой. Матрица  $Z$  - параметров такого четырехполюсника имеет вид [9]:

$$[Z_B] = \begin{bmatrix} r_{B1} + (1 - \alpha) r_{B2} & r_{B1} \\ r_{B1} + \frac{\alpha}{i\omega C_K} & r_{B1} + \frac{1}{i\omega C_K} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где  $r_{B1}$ ,  $r_{B2}$  - составляющие омического сопротивления базы,  $C_K$  - емкость коллекторного перехода,  $\alpha = \frac{\alpha_0}{1 + jf/f_T}$  - комплексный коэффициент передачи транзистора по току,  $\alpha_0$  - его низкочастотное значение,  $f_T$  - граничная частота транзистора.

Для транзистора КТ640 входящие в матрицу (9) параметры следующие:  $r_{B1} = 1,21$  Ом,  $r_{B2} = 2,79$  Ом,

$C_k = 0,5 \text{ пФ}$ ,  $\alpha_0 \approx 0,98$ ,  $f_T = 3 \text{ ГГц}$  [10]. К измерительной установке (рис. 1) подключается искомое сопротивление, значение которого, найденное из условия (5), равно  $Z_x = 10 + 100i \text{ Ом}$ .

В результате проведения измерений величины этого сопротивления с использованием экспериментальной установки (рис. 1) на частоте  $0,1f_T$  получено значение  $K_{ms} = 10,03$ .

Тогда в соответствии с выражениями (7) и параметрами матрицы (9) экспериментальные значения активной и реактивной составляющих искомого сопротивления равны

$$\text{Re}Z_x^* = \frac{\text{Re}Z_{21}}{K_{ms}} = \frac{103,896}{10,03} = 10,359 \text{ Ом},$$

$$\text{Im}Z_x^* = \frac{\text{Im}Z_{21}}{K_{ms}} = \frac{1095}{10,03} = 109,172 \text{ Ом}.$$

Таким образом, относительная погрешность измерений составляет:

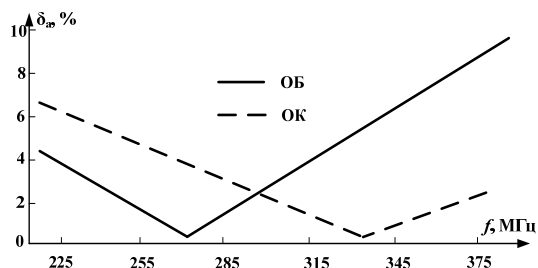
- для активной составляющей сопротивления:

$$\delta_a = \frac{\text{Re}Z_x^* - \text{Re}Z_x}{\text{Re}Z_x} \cdot 100\% = 3,6\%$$

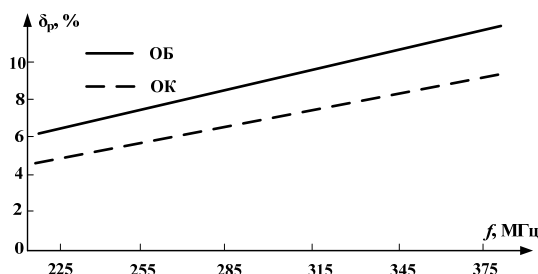
- для реактивной составляющей сопротивления:

$$\delta_p = \frac{\text{Im}Z_x^* - \text{Im}Z_x}{\text{Im}Z_x} \cdot 100\% = 9,2\% .$$

Зависимости относительных погрешностей измерения для активной и реактивной составляющих сопротивления от частоты приведены на рис. 2.



а)



б)

Рис. 2. Зависимости относительных погрешностей измерения активной (а) и реактивной (б) составляющих сопротивления  $Z_x$  при использовании четырехполосников на биполярном транзисторе с общей базой (ОБ) и общим коллектором (ОК)

Из графиков следует, что погрешность измерений в диапазоне частот  $(0,25 \div 0,35)f_T$  не превышает 10% для активной и реактивной составляющих искомого полного сопротивления.

При применении четырехполосников, использующих включение транзисторов с общим коллектором, погрешность измерений реактивной составляющей возрастает до 15% в диапазоне частот  $(0,1 \div 0,14)f_T$  для активной и реактивной составляющих.

## 5. Выводы

1. Разработанный метод измерения полного сопротивления позволяет определить значения активного сопротивления  $\text{Re}Z_x$  на частотах, где можно пренебречь реактивной составляющей сопротивления, при известных параметрах невязимного четырехполосника путем измерения только мощностей сигнала  $P_{вх}$ .

2. Определение значений полного сопротивления  $Z_x$  на частотах, где невозможно пренебречь реактивными составляющими сопротивления, также сводится только к измерению мощностей сигнала  $P_{вх}$  и  $P_{вых}$ , что упрощает процесс измерения при сохранении его высокой точности. При этом необходимо обеспечить выполнение граничных условий  $Z_{21} \gg Z_x \gg Z_{12}$ .

3. Проведенная экспериментальная проверка метода и оценка погрешности показали, что погрешности измерений на частоте  $f = 0,1f_T$  составляют 3,6% - для активной составляющей и 9,2% - для реактивной составляющей искомого сопротивления.

4. Анализ зависимостей относительных погрешностей измерений от частоты показал их увеличение с ростом частоты, что требует при выборе диапазона измерений обязательного подбора параметров исходного четырехполосника и проверки условия (5).

## Литература

1. Электрические измерения : учеб. для вузов / Под ред. А. В. Фремке, Е. М. Душина. – Л. : Энергия, 1980. – 302 с.
2. Атамалян, Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин : учеб, пособие / Э. Г. Атамалян. – М. : Высшая школа, 1982. – 223 с.
3. А. с. 1644048 СССР, МКИ G 01 R 27/26. Способ измерения активной составляющей комплексного сопротивления / Филинюк Н.А. (СССР). – 3453753/24-09 ; заявл. 19.12.89 ; опубл. 23.04.91, Бюл. № 15 – 3с.
4. Валитов, Р. А. Радиотехнические измерения / Р. А. Валитов, В. Н. Сретенский. – М. : Сов. радио, 1980. – 360 с.
5. Філінюк, М. А. Метрологічні основи негatronіки / М. А. Філінюк, Д. В. Гаврилов. – Вінниця : Універсум–Вінниця, 2006. – 188 с.– Бібліогр. : с. 186–187. – ISBN 966-641-168-7.
6. Транзисторы. Параметры, методы измерений и испытаний / Под ред. И. Г. Бергельсона, Ю. А. Каменецкого, И. Ф. Николаевского. – М. : Сов. радио, 1968. – 504с.
7. Філінюк, М. А. Інформаційні пристрої на основі потенційно-нестійких багатоелектродних напівпровідникових структур Шотткі / М. А. Філінюк, О. М. Куземко, Л. Б. Ліщинська. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 274 с. – Бібліогр. : с. 272–273. – ISBN 97 8–966–641–332–4.

8. Філінюк, М. А. Методи та засоби вимірювання параметрів потенційно-нестійких чотириполюсників / М. А. Філінюк, К. В. Огородник, Л. Б. Ліщинська. Вінниця : ВНТУ, 2010. – 176 с. – Бібліогр. : с. 173–175. – ISBN 978-966-641-342-3.
9. Богачев, В. М. Транзисторные усилители мощности / В. М. Богачев, В. В. Никифоров – М. : Энергия, 1978. – 344 с.
10. Брежнева, К. М. Транзисторы для аппаратуры широкого применения : справочник / К. М. Брежнева, Е. И. Гантман, Т. И. Давыдова и др. ; под ред. Б. Л. Перельмана. – М. : Радио и связь, 1981. – 656 с.

*Стаття присвячена застосуванню метода алгоритмічного стиснення за Колмогоровим для визначення складності поведінки добового серцевого ритму*

*Ключові слова: алгоритмічна складність за Колмогоровим, динаміка серцевого ритму, нелінійна динаміка, алгоритм стиснення Lempel-Ziv-Welch (LZW)*

*Стаття посвящена применению метода алгоритмического сжатия по Колмогорову для определения сложности поведения суточного сердечного ритма*

*Ключевые слова: алгоритмическая сложность по Колмогорову, динамика сердечного ритма, нелинейная динамика, алгоритм сжатия Lempel-Ziv-Welch (LZW)*

*This paper describes the possibility of Kolmogorov algorithmic complexity method using for definition of heart rate complexity*

*Keywords: Kolmogorov complexity, the heart rate dynamics, nonlinear dynamics, Lempel-Ziv-Welch compression algorithm (LZW)*

УДК 612.17

# HEART RATE COMPLEXITY DEFINITION USING KOLMOGOROV ALGORITHMIC COMPLEXITY METHOD

**O. Kyselova**

Senior Lecturer in Computer Science\*

Tel.: +38-050-443-02-82

E-mail: olga.mmif@gmail.com

**Ie. Nastenکو**

Dr.Sci.Biol., Head of Informatics and Computational Physiology Department  
Amosov National Institute of Cardiovascular Surgery of National Academy of Medical Science of Ukraine  
6, Amosov street, 252601 GSP, Kyiv, Ukraine  
E -mail: nastenko@inbox.ru

**M. Gerasymchuk\***

E-mail: maxgerasimchuk@gmail.com

\*Department of Therapeutical Diagnostic Complexes  
Intercollegiate College of Medical Engineering  
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"  
prospect Peremogy, 37, Kyiv, Ukraine, 03056

## Introduction

The Kolmogorov algorithmic complexity of an object, such as a piece of text, is a measure of the computational resources needed to specify the object. Kolmogorov complexity of a bit string  $x$  is the length of the shortest program that computes  $x$  and halts.

One can draw an analogy with the archiving. Thus we understand the complexity of the file as the size of the smallest archive that after unpacking is this file. In other

words Kolmogorov complexity is the minimum number of bits into which a string can be compressed without losing information.

The Kolmogorov complexity decline especially when combined with a variability of a numerical sequence reduction is rather serious indication of the body regulatory redundancy reduce. And it can be regarded as indication of increasing probability of sudden cardiac death occurrence. Such situations are often observed in coronary care units in patients with high severity of conditions