

КИВВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ЮСЕФ АЛИ  
СИРИЯ

удк 621.3.087.92

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА  
МИКРОПРОЦЕССОРНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО  
ШИРОКОДИАПАЗОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ  
КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Специальность 05.11.05 - "Приборы и методы измерения электрических и магнитных величин".

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев 1994

Работой является рукопись

Работа выполнена на кафедре информационно-измерительной техники  
Киевского политехнического института.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор

Петр Павлович Орнатский

Официальные оппоненты: зав. лабораторией института электро-

динамики АН Украины, профессор, доктор  
технических наук

Михаил Николаевич Сурду

Старший научный сотрудник НИИ авто-  
матин экспериментальных исследований  
канд. тех. наук.

Шурпач Стислав Анатольевич

Ведущее предприятие - АК "РОСТОК", г. Киев

Защита состоится " 5 " мая 1994 г. , в \_\_\_\_\_ часов, на  
заседании Специализированного Совета К 068.14.14 в Киевском поли-  
техническом институте (252056, г. Киев 56, пр. Победы, 37, корп. 18).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского  
политехнического института.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенные печатью  
организации) просим присылать по адресу секретарю Специализирован-  
ного Совета К 068.14.14 по защите диссертации.

Автореферат разослан " 5 " апреля 1994 г.

Ученый секретарь Специализированного  
Совета К 068.14.14, кандидат технических  
наук, доцент

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

*Литвич*  
В.В. Литвич

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00801727 (P)

## АННОТАЦИЯ

Целью диссертационной работы является исследование и разработка измерителя параметров электрических цепей, обладающего высокими метрологическими характеристиками по точности, быстродействию и чувствительности.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие основные задачи:

- анализ особенностей измерителей RLC параметров прямого логометрического преобразования;

- разработка нового измерителя RLC параметров с итерационным интегрирующим преобразователем (ИИП), отличающимся лучшими метрологическими характеристиками;

- анализ погрешностей формирования вспомогательного сигнала при применении метода кусочно-линейной аппроксимации синусоидального сигнала;

- анализ погрешностей измерителя, вызванных неидеальностью элементов аналоговой памяти ИИП;

- анализ погрешностей измерителя параметров комплексного сопротивления, обусловленных неидеальностью операционного усилителя интегратора ИИП;

- анализ погрешностей измерителя параметров комплексного сопротивления, обусловленных неидеальностью дифференциального усилителя;

- анализ погрешностей измерителя параметров комплексного сопротивления, обусловленных неидеальностью преобразователя ток-напряжение.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ:** улучшение основных метрологических характеристик средств измерения параметров пассивных двухполосников является одной из основных задач современной ИИТ. Особое место среди них в последнее время занимают измерители RLC, использующие методы прямого преобразования, так как благодаря возможности современной микропроцессорной техники основные погрешности таких устройств могут быть скорректированы.

Однако в современных известных работах, посвященных совершенствованию метрологических характеристик измерителей параметров комплексного сопротивления RLC, недостаточное внимание уделяется использованию в них итерационных интегрирующих преобразователей, обладающих определенными преимуществами в отношении к точности и быстродействию.

Реферуемая работа посвящена разработке новых структур таких измерителей, анализу их погрешностей и способам их коррекции.

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ,** Теоретические исследования в работе проведены с использованием теории функции комплексного переменного, операционного исчисления, теории линейных импульсных систем, теории электрических цепей, теории точности измерительных устройств и численных методов с применением пакета программы MATLAB на ЭВМ.

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА** диссертационной работы заключена:

в анализе структуры микропроцессорного измерителя параметров комплексного сопротивления с использованием итерационного интегрирующего преобразователя и однокристалльной микро-ЭВМ;

в анализе погрешностей формирования тестового и вспомогательных сигналов с острой и плоской вершинами при использовании метода кусочно-линейной аппроксимации синусоидального сигнала;

в анализе системы дифференциальных неоднородных разностных уравнений второго порядка, описывающих переходные процессы в интегрирующих итерационных преобразователях с учетом реальных характеристик элементов аналоговой памяти и неидеальности операционного усилителя интегратора;

в анализе погрешностей измерителя параметров комплексного сопротивления, обусловленных неидеальностью дифференциального усилителя;

в анализе погрешностей измерителя параметров комплексного сопротивления, обусловленных неидеальностью преобразователя тока-напряжения.

#### АВТОР ЗАЩИЩАЕТ:

анализ особенностей измерителей RLC параметров комплексного сопротивления;

новый измеритель RLC параметров с итерационным интегрирующим преобразователем;

анализ погрешностей измерителя RLC параметров комплексного сопротивления, обусловленных неидеальностью формирования тестового сигнала и вспомогательных сигналов, неидеальностью элементов аналоговой памяти и неидеальностью операционного усилителя интегратора ИИП.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ** полученных в работе результатов: доказана возможность микропроцессорного малогабаритного широкодиапазонного измерителя параметров комплексного со-

ротвления , обладающего повышенной точностью по отношению к серийно выпускаемому прибору Б7-15.

**РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.** Основные результаты теоретического анализа ИИП проведены экспериментально, что подтверждает пригодность предлагаемой структуры микропроцессорного малогабаритного широкодиапазонного измерителя параметров комплексного сопротивления.

**АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ.** Основные положения проведенных исследований докладывались на:

научнотехнической конференции "Памяти академика М.П.Кравчука", г.Киев, 1992 г.;

республиканской научно-технической конференции "Применение вычислительной техники и математических методов в научных исследованиях", г.Львов, 1992 г.

**ПУБЛИКАЦИИ.**Основное содержание работы раскрыто в одной публикации.

**СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИССЕРТАЦИИ.** работа состоит из введения , четырех глав и заключения , содержание которых изложена на 176 страницах машинного текста,60 рисунках и 4 таблицах; списка литературы , включающего 36 наименований.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**ВО ВВЕДЕНИИ** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, определена совокупность требований, предъявляемых к микропроцессорным малогабаритным широкодиапазонным измерителям параметров комплексных сопротивлений: высокая точность и чувствительность, аппаратурная минимальность и высокое быстродействие.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ приведен обзор методов измерительных преобразователей параметров комплексного сопротивления, получивших широкое распространение: методов уравнивающих измерительных преобразований или мостовых методов, и методов прямых логометрических измерительных преобразований. Рассмотрены особенности их основных структур, их достоинства и недостатки. Также рассмотрены методы прямого логометрического преобразования, выполнен их сравнительный анализ.

Как известно RC-мосты переменного тока получили широкое распространение благодаря множеству их достоинств. Однако этим мостам присущи ряд недостатков, в первую очередь это паразитная проводимость между элементами моста, влияние паразитных емкостей при повышенной частоте, что требует дополнительных мер для их исключения, увеличенное число применяемых образцовых мер, что отражается на объеме и стоимости. В мостах с индуктивно-связанными плечами повышение чувствительности не приводит к увеличению числа образцовых мер, однако вызывает значительное увеличение количества коммутирующих ключей, которые должны обладать малым дифференциальным сопротивлением, что приводит к увеличению аппаратных затрат.

Мосты с цифровым генератором двухфазных ступенчатых синусоидальных сигналов лишены этих недостатков, однако частотный диапазон этих мостов ограничен, так как частота ступенчатого синусоидального сигнала должна быть в  $2^n$  раз меньше частоты тактовых импульсов (где  $n = (8, 10, 12, \dots, 16)$ ) - разрядность цифрового аналогового генератора). Такие мосты имеют следующие преимущества: возможность использования чисто активных образцовых сопротивлений при измерении активных и реактивных сопротивлений;

малая погрешность (до  $10^{-4}$ ); возможность непосредственной связи с ПЭВМ. Однако их применение ограничивается высокой стоимостью быстродействующих прецизионных цифро-аналоговых преобразователей.

Логометрические измерители параметров комплексного сопротивления на основе аналоговых интегральных микросхем свободны от многих недостатков, присущих ранее упомянутым методам. Они пригодны для определения параметров комплексного сопротивления любого типа и в широких диапазонах их изменения при широком частотном диапазоне, а также при малых уровнях тестового сигнала и с достаточно высокой точностью. Они оказываются наиболее целесообразными для построения малогабаритных широкодиапазонных, достаточно точных измерительных приборов для определения параметров комплексного сопротивления в широком частотном диапазоне.

Схема предлагаемого микропроцессорного измерителя параметров комплексного сопротивления показана на рис.1. На этой схеме ГВС-генератор тестового и вспомогательных сигналов, содержащий делитель частоты ДЧ, фазорасщепитель, мультиплексор МХ1, преобразователь прямоугольного сигнала в трапециевидный, а затем в кусочно-линейный синусоидальный сигнал, ППС - преобразователь параметров комплексного сопротивления, содержащий преобразователь ток-напряжения ПТН и дифференциальный усилитель ДУ, мультиплексор МХ2, фильтр верхних частот ФВЧ, фазочувствительный детектор, итерационный интегрирующий преобразователь ИИП, преобразователь напряжения в частоту ПНЧ и однокристалльную микро-ЭВМ.

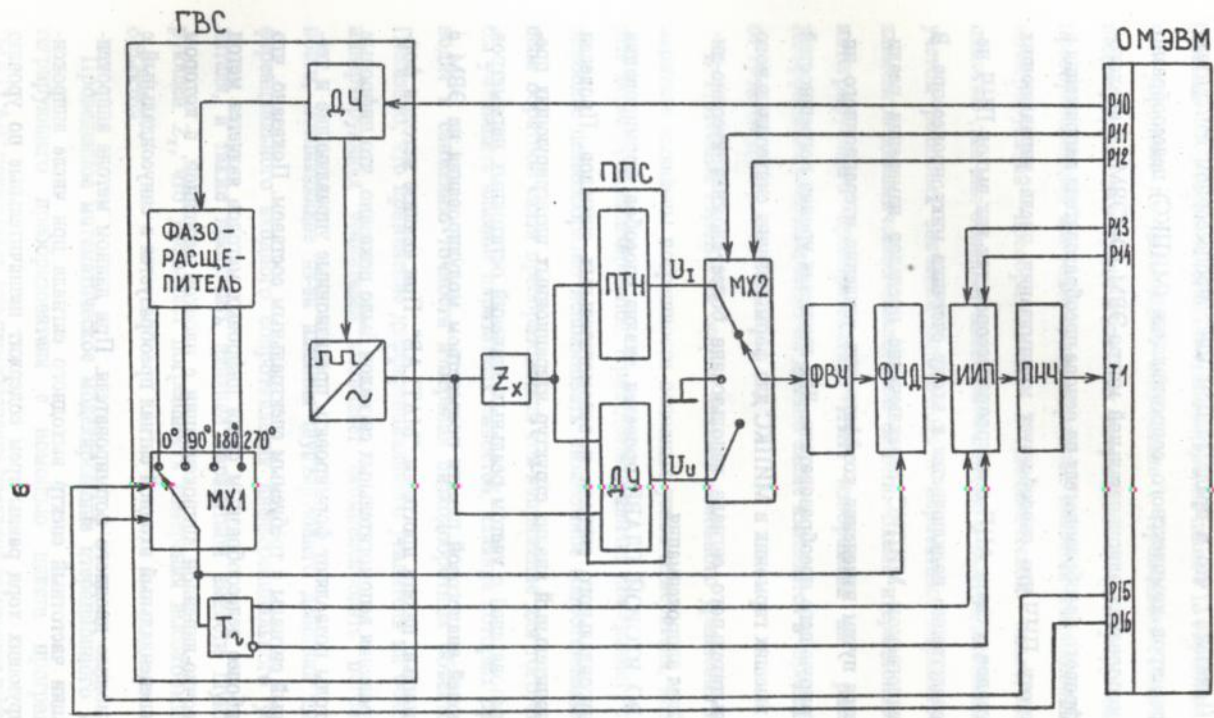


Рис. 1

Показано, что в предлагаемом микропроцессорном измерителе параметров комплексного сопротивления (МИПКС) целесообразно использование однокристалльной микро-ЭВМ (ОМЭВМ) и аналого-цифрового преобразователя на основе преобразователя напряжения в частоту ПНЧ, что способствует минимизации числа управляющих сигналов и связи АЦП с микропроцессором, так как выход ПНЧ непосредственно подключается к входу счетчика микропроцессора. В предлагаемом МИПКС переключение пределов измерения реализуется путем изменения коэффициента усиления итерационного интегрирующего преобразователя. Для снижения уровня погрешностей от высших гармоник в МИПКС для формирования синусоидального испытательного сигнала использована более сложная кусочно-линейная аппроксимация.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ проведен анализ способов формирования синусоидального сигнала и вспомогательных сигналов. Проведен сравнительный анализ структур итерационных интегрирующих преобразователей с учетом реальных значений остаточных параметров ключей аналоговой памяти посредством модулирования на ЭВМ с помощью пакета программ "MATLAB". При анализе методов формирования вспомогательных сигналов было показано, что цифровые методы позволяют формировать прецизионные управляющие и тестовый сигналы с требуемым спектральным составом. Показано, что наиболее целесообразным среди цифровых методов является метод кусочно-линейной аппроксимации с плоской вершиной, в котором трапециевидный входной сигнал преобразуется в синусоидальный с помощью диодного формирователя. При данном методе аппроксимации частотный спектр выходного сигнала при числе аппроксимирующих хорд равен трем содержит незначительные по уровню

(меньше 0.5%) гармонические составляющие, начиная с 13 гармоники, что упрощает их дальнейшее подавление. Приведенный анализ подтверждает, что среди известных итерационных интегрирующих преобразователей наиболее целесообразным является итерационный интегрирующий преобразователь с динамической аналоговой памятью, так как обладает высокой точностью и быстродействием с учетом реальных значений остаточных и паразитных параметров элементов динамической аналоговой памяти. Схема итерационного интегрирующего преобразователя ИИП изображена на рис.2. Коэффициент усиления ИИП на данной схеме изменяется в пределах от 10 до 60 ДБ.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ на основе анализа основного уравнения измерителя выявлены погрешности основных узлов измерителя, которые затем проанализированы. Приведенный анализ показывает, что наиболее целесообразно использовать низкоомное сопротивление в цепи обратной связи преобразователя ток-напряжение для того, чтобы уменьшить влияние паразитных емкостей, влияние которых приводит к снижению точности измерения низкочастотных объектов. Показано, что применение дифференциального усилителя на основе инвертирующих усилителей позволяет скомпенсировать погрешности, возникающие из-за влияния шунтирующего действия дифференциального входного сопротивления дифференциального усилителя, а также исключить влияние паразитной емкости шунтирующей  $Z_{\mu}$ , что уменьшает погрешность измерения высокоомных объектов.

Проведенное математическое моделирование итерационного интегрирующего преобразователя с помощью пакета программ "MATLAB" показывает, что переключение пределов измерения путем



изменения коэффициента передачи итерационного интегрирующего преобразователя вызывает в десятки раз меньшую погрешность измерений по сравнению с применением для этой цели регулируемого усилителя переменного тока так, как это было сделано в В 7-15 или изменением коэффициента передачи преобразователя ток-напряжение, как это было сделано в приборе типа НР4261. Показано, что суммарная погрешность может быть снижена до 0.05%.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ представлено описание и результаты испытания разработанного автором макета итерационного интегрирующего преобразователя с регулируемым коэффициентом передачи на основе выполненного во второй и третьей главах анализа погрешностей ИИП. Показано, что макет итерационного интегрирующего преобразователя с регулируемым коэффициентом усиления по своим техническим характеристикам соответствует выполненному анализу.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основе сравнительного анализа различных структур измерителей параметров RLC комплексного сопротивления показаны преимущества предложенного автором МИПКС благодаря использованию в нем однокристалльной микро-ЭВМ и итерационного интегрирующего преобразователя.

Проведенный анализ формирования вспомогательных сигналов позволяет утверждать, что остаточная погрешность используемого формирователя не превышает нескольких долей процента.

Выполненный анализ остаточных погрешностей измерителя от неидеальности аналоговой памяти ИИП, позволяет отдать предпочтение схеме с динамическим запоминающим устройством так, как она обладает значительно меньшими инструментальными погрешностями (при равных остальных условиях).

Выполненный анализ характеристик точности и быстродействия ИИП с учетом неидеальности операционного усилителя интегратора, позволяет сделать вывод о необходимости для сохранения основных характеристик ИИП изменять резистор обратной связи  $R_2$  и одновременно изменять емкость в петле обратной связи интегратора  $C_1$ , так, чтобы сохранилось их соотношение  $R_2 C_1 = T$ , где  $T$ -период тестового сигнала.

Анализ погрешностей входных преобразователей измерителя RLC параметров позволяет сделать выводы о целесообразности построения дифференциального усилителя на основе инвертирующих усилителей при малых входных сопротивлениях преобразователя ток-напряжение.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Д.П.Орнатский, Али Юсеф . "Анализ погрешностей аналого-дискретных рекурсивных структур в пакете программ МАТЛАВ - В кн.: Научно-техническая конференция "Памяти академика М.П.Кравчука". Республ. научн. конф.: Тез. докл. -Киев, 1992 г.

2.Частотно-импульсное вычислительное устройство Авторское свидетельство № 1732361. Сергеев И. Ю., Али Юсеф.

3.Функциональный преобразователь Авторское свидетельство № 1764064. Сергеев И. Ю., Али Юсеф.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України



Подписано в печать 25.03.94г формат 60x84/16  
Бумага писчая. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 534  
Отпечатано ЦУОП ГНПП "Плодвинконсерв" г. Киев, Саксаганского ,1

AB 29.585