

УДК 621.317.7

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И ИЗМЕРЯЕМЫЕ С ИХ ПОМОЩЬЮ ОБЪЕКТЫ

© П.В. Сапронов

Sapronov P.V. Field of application of measurement facilities of alternating-current circuit parameters and objects measured by them. Alternating-current circuit parameters (ACCP) define information about important characteristics of the objects and processes of diverse physical nature. The article considers the measurement tasks in which ACCP are used and gives the examples of ACCP measurement facilities for concrete measurement tasks solution.

ВВЕДЕНИЕ

Параметры цепей переменного тока, такие как активная и реактивная составляющие импеданса, добротность, тангенс угла потерь и некоторые другие часто используются во многих современных областях науки и техники как показатели свойств объекта исследования или характеристики процессов различной физической природы.

Предварительно поясним, что измерение ПЦПТ осуществляется по последовательной (*s* – serial) или параллельной (*p* – parallel) схемам замещения, применяемым в качестве моделей объектов измерения.

К ПЦПТ, измеряемым современными приборами, относятся следующие величины (в скобках приводится международное обозначение и единицы измерения): импеданс (*Z*, Ом), модуль импеданса ($|Z|$, Ом), активная составляющая импеданса (*R*_s(*p*), Ом), реактивная составляющая импеданса (*X*_s(*p*), Ом), адмиттанс (величина обратная импедансу, *Y*, См), модуль адмиттанса ($|Y|$, См), активная составляющая адмиттанса (*G*_p, См), реактивная составляющая адмиттанса (*B*_p, См), сопротивление (*R*, Ом), параллельно включенное сопротивление (*R*_p, Ом), емкость (*C*, Ф), последовательно включенная емкость (*C*_s, Ф), параллельно включенная емкость (*C*_p, Ф), индуктивность (*L*, Гн), индуктивность последовательно включенная (*L*_s, Гн), параллельно включенная индуктивность (*L*_p, Гн), добротность (*Q*, безразмерная), тангенс угла потерь (величина обратная добротности, *D*, *DF*, *tg δ* или *tg φ* (принятое в нашей стране), безразмерная), фазовый угол между активной и реактивной составляющими импеданса или адмиттанса (*φ*, градусы или радианы) [1].

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПЦПТ

Решаемые с помощью измерителей ПЦПТ задачи можно разделить на четыре большие группы [2] (*курсивом выделены задачи, которым в последнее время уделяется особое внимание*):

- 1) научные исследования:
 - кинетика электрохимических реакций,
 - процессы в диэлектриках и полупроводниках,

- коррозия металлов,
- свойства живых тканей и организмов [1, 3, 4],
- физические и биологические процессы [5–7];
- 2) контроль параметров устройств, элементов и материалов:
 - фильтров,
 - электромашин,
 - линий связи (определение паразитных параметров),
 - Ethernet-сетей (импульсная характеристика и фильтрация),
 - антенн (при тестировании и настройке),
 - датчиков (преобразование выходных величин),
 - интегральных микросхем,
 - транзисторов и диодов,
 - конденсаторов (например, зависимости емкости от напряжения кремниевых подложек),
 - индуктивностей,
 - элементов на основе МОП-, МДП-структур,
 - пьезоэлектрических резонаторов,
 - трансформаторов,
 - изоляционных материалов,
 - кварцевых кристаллов и полимеров,
 - термопластиков,
 - материалов для жидкокристаллических мониторов [1, 4];
- 3) восприятие информации емкостными, резистивными и индуктивными датчиками:
 - измерение влажности и температуры [8],
 - электрометрия жидкостей,
 - диэлектromетрия (диэлькометрия) [9],
 - кондуктометрия;
- 4) медицинская диагностика и исследования:
 - электроплетизмография (интенсивность кровотока в органе, импедансная кардиография),
 - реоэнцефалография (сопротивление головного мозга),
 - импедансная пневмография (импеданс грудной клетки в процессе дыхания),
 - контроль состояния организма по комплексному импедансу кожи [3, 10, 11],
 - контроль количества кислорода в трансплантатных органах,

– диагностика параметров импеданса и потенциалов тканей полости носа (в ринологии) [12, 13], полости рта [14],

– исследование влияния лекарств на эффективность лечения (по импедансу кожи).

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЦПТ И ИЗМЕРЯЕМЫЕ С ИХ ПОМОЩЬЮ ОБЪЕКТЫ

Для измерения ПЦПТ предназначены измерители и анализаторы импеданса, измерители и анализаторы иммитанса, RLC-измерители, а также анализаторы цепей (Network Analyzers), измеряющие активные (ток и напряжения) и пассивные параметры цепей (активная и реактивная составляющие комплексного сопротивления, емкость, индуктивность, тангенс угла потерь и т. д.) [15]. Анализаторы цепей и портативные приборы в статье не рассматриваются.

При выборе средства измерения ПЦПТ для конкретного применения необходимо учитывать особен-

ности задачи измерения в прикладной области, тип и количество измеряемых параметров, условия измерения (частотный диапазон, ток на объекте измерения и др.), а также дополнительные функциональные и сервисные возможности приборов, включая программное обеспечение для них [16]. Важно также принимать во внимание тот факт, чтобы с помощью выбираемого прибора можно было охватить возможно большее количество задач и обеспечить удобство их решения [5].

По функциональным возможностям приборы разделяют на функционально ориентированные, предназначенные для измерения некоторого набора ПЦПТ без указания объекта измерения, и проблемно ориентированные, предназначенные для выполнения типовых задач при исследовании определенного класса объектов [5].

Наиболее распространенные области функционально ориентированных приборов для измерения ПЦПТ приведены в таблице 1.

Примеры объектов измерения приведены в табл. 2 [1].

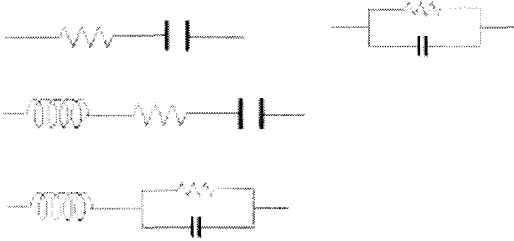
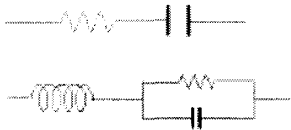
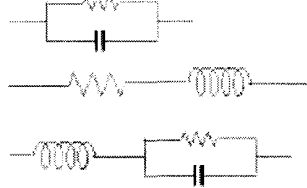
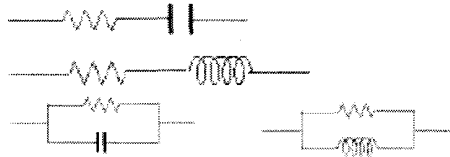
Таблица 1

Приборы ведущих фирм и области их применения

Область применения	Разработка, контроль, производственное тестирование радиоэлектронных компонентов	Исследование полупроводниковых компонентов: • анализ C(U)-характеристик диодов от различных факторов; • анализ паразитных эффектов диодов, транзисторов и интегральных микросхем. Измерение входного/выходного импеданса усилителя. Оценка импеданса печатных плат, реле, переключателей, кабелей, аккумуляторов	Оценка диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь ферритов, аморфных и др. магнитных материалов, пластиков, керамики, печатных плат
Приборы			
1910 Inductance Analyzer, Series 1692 RLC Tester, 1715, 1730, 1920, 7000 LCR Meters (QuadTech, США) CT30R, DB236 (Danbridge, США) 252,253,254, 3525 (TEGAM INC., США) SR715, SR 720 (Stanford Research Systems, США) PM 6306 (Fluke, США)	+		
AH 2700A Detection of contaminants in refrigerants (Andeen-Hagerling, США) 3522, 3535	+		
LCR HiTESTER (HIOKI, Япония)	+	+	
4291A, 4294A (Agilent Technologies Co. Ltd, США) LCR-816, LCR-826, LCR-821 (GOOD WILL Instrument Co., Ltd., Тайвань) MT 4090D (MOTEC INDUSTRIES Inc., Тайвань) Z9216, Z8200 (Protek, США)	+	+	+
4287A, 4284A, 4285B, 4263B, (Agilent Technologies Co. Ltd, США) E7-14, E7-15 (завод «Калибр», Белоруссия) 6440B (Wayne Kerr, Великобритания)	+	+	
TE1000 RF Impedance Analyzer (Tomco Technologies, Австралия)	+		

Таблица 2

Примеры объектов измерения

Объект измерения	Применяемые схемы замещения	Измеряемые величины
Конденсаторы неэлектролитические		—
Конденсаторы электролитические, неполяризованные		$C, D (\operatorname{tg} \varphi)$
Катушки индуктивности без сердечника		L, Q, R_s
Катушки индуктивности с сердечником		L, G, R
Резисторы малого номинала		R, Q, L
Датчики		C, D, L, Q, R_s, R_p

Кратко рассмотрим проблемно ориентированные приборы, круг потребителей которых более узок [15].

Для электрохимических исследований разработаны прибор BAS-Zahner IM6e Impedance Analyzer (Bioanalytical Systems, Inc., США) и интерфейсы 1260 и 1287 Electrochemical Interface (Solartron Analytical, Великобритания), предназначенные для исследования переноса ионов и электронов, изучения свойств электроактивных пленок, например, в золь-гельевых технологиях, гальванопокрытиях и при контроле за коррозией.

Для биологических исследований разработан интерфейс 1294 Biological Interface (Solartron Analytical, Великобритания), предназначенный для исследований ишемии в тканях, например, во время трансплантации, обнаружения и исследования опухолей в тканях и влияния температуры на рост опухоли, изучения состава жировых отложений, стоматологических исследова-

ний, изучения в области дерматологии, для анализа клеток крови и вирусных инфекций, для определения свежести (качества) фруктов и продуктов питания, для изучения роста растений и деревьев, для гелелектродных исследований.

Для исследований материалов различной природы разработан интерфейс 1294 Impedance Interface (Solartron Analytical, Великобритания), предназначенный для исследования смесей цемента, содержания и прочности бетонных смесей (в гражданском строительстве), для изучения связывающих свойств эпоксидной смолы и термостойких полимеров, для исследования биоматериалов (при изучении ишемии и опухолей, гниения зубов, кожного покрова, свежести фруктов), для изучения керамики и композитов при контроле за датчиками газа, за твердыми окисями в топливе, за состоянием мембран для отделения газа.

В Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН разработан универсальный базовый вариант виртуального измерителя-анализатора параметров импеданса [5], на основе которого возможно создание как функционально, так и проблемно ориентированных приборов, предназначенных для проведения исследований свойств твердых тел (ионообменные, каталитические, проводимость, сорбционные и др.), тонкопленочных структур, изучения кислорододефицитных криолитов, сегнетоэлектрических явлений, ионной и суперионной проводимости и т. д. Такая возможность достаточно просто и легко реализуется за счет внесения изменений в аппаратную часть и программное обеспечение прибора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в статье данные предназначены для разработчиков подобных средств измерения при определении круга их функциональных возможностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. A Guide to LCR Measurements. Application Note. QUARDTECH <http://www.navicpmart.com/webdata/appnote/1268.PDF>.
2. Кнеллер В.Ю., Боровских Л.П. Определение параметров многоэлементных двухполюсников. М.: Энергоатомиздат, 1986. С. 5-9.
3. Хасцаев Б.Д. Импедансный метод в медико-биологических исследованиях и его приборное оснащение // Медицинская техника. 1996. №3. С. 34-40.
4. Kazunari Okada, Toshimasa Sekino. The Impedance Measurement Handbook. A Guide to Measurement Technology and Techniques. Agilent Technologies Co. Ltd., 2003.
5. Агамазов Ю.Р., Бобылев Д.А., Кнеллер В.Ю. Виртуальные измерители-анализаторы параметров импеданса // Датчики и системы. 2004. №5. С. 14-18.
6. Ryan O'Hayre, Gang Feng, William D. Nix, Fritz B. Prinz Quantitative impedance measurement using atomic force microscopy // Journal Of Applied Physics. 2004. V. 96. № 6 (15). Sep. P. 3540-3549.
7. Wawerla M., Stolle A., Schalch B. and Eisgruber H. Impedance Microbiology: Applications in Food Hygiene // Journal of Food Protection. 1999. V. 62. № 12. Dec. P. 1488-1496(9).
8. Ивченко Ю.А., Федоров А.А. Импедансные гигрометры фирмы «Michell Instruments» // Датчики и системы. 2003. №9. С. 24-25.
9. Malmivuo J., Plonsey R. Bioelectromagnetism. Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields // N. Y.; Oxford, 1995. P. 405-425.
10. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Тарнакин А.Г., Гвоздиков Е.А. Применение биоимпедансных технологий в медицинской практике // Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы: IV науч.-практ. конф. 2002. Научно-технический центр «Медасс». С. 198-204.
11. Rigaud B., Morucci J.P., Chauveau N. Bioelectrical impedance techniques in medicine. Part I: Bioimpedance measurement. Second section: impedance spectrometry // Crit Rev Biomed Eng. 1996. № 24(4-6). P. 257-351.
12. Давыдов А.В. Использование импедансометрии в диагностике острого синусита // Бюллетень сибирской медицины. 2002. № 1. С. 101-107.
13. Покровский А.Н. Математическая модель импеданса слоя параллельных дендритов // Нейроинформатика и ее приложения: Материалы XI Всероссийского семинара. 3-5 октября 2003 г. / под ред. А.Н. Горбана, Е.М. Миркеса; отв. за вып. Г.М. Садовская. ИВМ СО РАН. Красноярск, 2003. С. 126-127.
14. Lemaitre L., Moors M., Van Peteghem A.P. An application of impedance techniques to corrosion research on dental amalgam // J. Oral Rehabil. 1986. Sep. № 13(5). P. 479-85.
15. Сапронов П.В. Средства измерения параметров цепей переменного тока (приборы) // Электронные компоненты. 2005. №5. С. 138-141.
16. Сапронов П.В. Средства измерения параметров цепей переменного тока (программные) // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр. / под ред. А.И. Громыко, А.В. Сарафанова; отв. за вып. В.И. Ризуненко. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. С. 417-420.

БЛАГОДАРНОСТИ: Статья выполнена при поддержке РФФИ, проект №05-08-18222-а.

Поступила в редакцию 12 июля 2006 г.