

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ГИБРИДНЫХ ИМПЕДАНСНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТИЛЯ-СМОЛЛА ДЛЯ НУЖД МОЛОЧНОЙ АНАЛИТИКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КСЕНОБИОТИКОВ И БИОАКТИВНЫХ ДОБАВОК В МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

Орехов Ф.К.

Институт Химической Физики РАН,

Отдел динамики химических и биологических процессов

АННОТАЦИЯ / АБСТРАКТ

Впервые в аналитической практике предложено использование производных параметров Тиля-Смолла для анализа молочнохозяйственной продукции на ксенобиотики, биоактивные добавки и субституенты. Предложена, обоснована и программно апробирована простейшая система импедансных измерений для молочных продуктов и определения ксеногенных компонент в них. Даны общие представления о новых методах, используемых параллельно с подобной импедансометрией или спектроскопией импеданса, с использованием той же физической схемы измерений.

Ключевые слова: электромеханические измерения, импеданс, добротность, фазовая и магнитудная электрохимическая спектроскопия, АЧХ, ФЧХ, импульсные характеристики

ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестно, что полярография является достоверным методом определения минерального состава молока в озоленном состоянии и качественным способом индикации бактериальной обсемененности молока. Начиная с 1950-х гг. [1, 2], разрабатываются методы полярографического анализа молока. В частности, полярографические методы используются для: исследования казеина в составе молока [2], определения тяжелых металлов [3, 4], иода [5, 6], нитроксинила [7], циануровой [8] и оротовой (витамина В13) кислот [9], сульфамидина (сульфаметазина) [10], меланина [11, 12], дихлофоса [13], диацетила (в молокопродуктах йогуртного типа) [14], хрома [15] в молоке и молокопродуктах. Существует также ряд специфических биохимических задач, имеющих непосредственное отношение к молочной промышленности и решаемых с использованием полярографии, к которым относятся, в частности, исследование лактопероксидазных процессов [16], электрокаталитического эффекта казеина при определении общего содержания белка в молоке [17], взаимодействия между различными белками в нем [18], изучения электрохимии белков молока [19]. Кроме того, возможно исследование бактерицидных свойств молока и - как коррелят - его бактериальной обсемененности полярографическим путем [20], так как его окислительно-восстановительный потенциал является косвенным индикатором микробной контаминации.

Для аналогичных целей зачастую используются и иные электрохимические методы - в особенности, импедансометрия. Начиная с 1970-х гг. [21], развиваются методы микробиологической импедансометрии, позволяющие качественно оценивать бактериологическое качество молока [22] и детектировать релевантные отклонения с целью недопущения использования контаминированных патологическими агентами молокопродуктов [23]. Подобными методами можно, в частности, детектировать колиформных микроорганизмов [24], сальмонелл [25], бактериофагов [26] и общее (тотальное) содержание бактерий в молоке и молокопродуктах [27, 28]. Недавние технологические разработки [29] придают уверенность в возможности повсеместного распространения подобных методов на основе новейших массовых сенсорных технологий. С позиций молочной индустрии, это означает также широкое внедрение методов детектирования лактобактерий и бифидобактерий для мониторингового изучения их активности в ходе изготовления соответствующих молокопродуктов [30-33].

С другой стороны, методы, базирующиеся на измерении импеданса, используются и для биохимических измерений. В частности, они находят применение для: электрохимического определения антиоксидантов в молоке [34], прогнозирования сроков хранения и сохранения нормальной кислотности свежей молочной субстанции [35], определения липидных глобул (мицелл) [36], детектирования меланина [37] (ср. с [11, 12]) и фторхинолонов [38] и т.п. Следует отметить, что, в силу комплексного характера импеданса, возможно использование для эквивалентных целей как емкостных измерений как таковых [39], так и отдельно измерений адмиттанса [40, 41], однако это, скорее, будет соответствовать разным формам тестовых контролей [42], чем различным методам измерений однозначно единых параметров. С целью повышения селективности необходимо и рекомендуется рядом авторов (см., напр., [43]) не только измерять локальный или аддитивный импеданс в среде, но и строить частотную импедансную зависимость, то есть, в сущности, производить электроимпедансную спектроскопию [44, 45] молока или аналогичный биологический / клеточный анализ [46, 47].

Это также является критерием качества, так как здоровый молочный скот обладает нормальным клеточным импедансом. Это соответствует классической теории клеточной (целлюлярной) патологии Вирхова [48] и новейшим технико-методическим трендам в ней [49]. Известно, что продуктивность по молоку демонстрирует корреляцию с импедансом тканей и секрета репродуктивных органов молочного скота в период течки [50], что дает возможность индцировать тренды удойности по электрохимическим критериям в связи с известной периодичностью соответствующих процессов. Импеданс может индцировать иммунный статус коров, так как известна корреляция между тканевым импедансом точек рефлексной активности и показателями иммунного отклика в молоке [51]. Известна связь между сопротивлением (импедансом) и клиническими состояниями секреторирующих желез у молочного скота [52], сказывающаяся, в силу апокринового типа секреции, на качестве и электрофизических характеристиках молока [53, 54].

Это, в свою очередь сказывается (и не может не сказываться) на восприятии соответствующего продукта человеком, особенно - в младенческом возрасте: так как электрические свойства молока напрямую сопряжены с окислительно-восстановительными характеристиками, коровье молоко способно вызывать слабокислый рефлюкс и связанное с ним неспецифическое аллергическое отторжение [55] у детей. Помимо подобных неспецифических (неиммунологических аллергических или псевдоаллергических) реакций, в педиатрии давно известна связь между инфицированием при лактационном мастите [56, 57]. В связи с этим необходимы прецизионные измерения импеданса и сопутствующих факторов качества молока и его источников на всех стадиях молочного производства: от доения и предшествующей ему диагностики состояния скота до обработки и приготовления в пищу - в особенности в организациях детского питания, на молочных кухнях. Существует ряд аппаратных средств и относительно стандартизированных методов измерения импеданса молока [58-60], однако в большинстве случаев это требует достаточно дорогих по меркам отечественного пользователя приборов и комплектующих. В ряде случаев рекомендуется сопрягать импедансометрию с мониторингом pH / Eh и точки замерзания [61, 62]. Вместе с тем, как было показано ранее [63], регистрацию последней логично сопрягать с лазерной регистрацией процессов кристаллизации, демонстрирующей жидкостную механику среды [64] и её фракционно-деформационную подвижность в рамках фазового перехода [65] для получения одновременно электрохимических/электрофизических и оптико-механических данных об исследуемом образце. Поэтому необходим прибор, позволяющий параллельно исследовать данные характеристики в едином образце, доступный для использования при массовом внедрении в практических условиях.

ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД

Нами предлагается использование для указанных целей систем электроакустических измерений, предназначенных для исследования параметров Тилля-Смолла. В обобщенном

виде характеристическими параметрами электроакустических измерений являются: масса подвижной системы, эквивалентный объём, резонансная частота, двигательная мощность, полная, механическая и электрическая добротность, сопротивление постоянному току и механическое сопротивление, индуктивность, импеданс, относительная жесткость, RMS - пиковая мощность и чувствительность [66, 67]. Очевидно, что возможности измерения этих параметров говорят о потенциале использования промеряемых динамиков в функции механических сенсоров [68], наряду с прямым измерением импеданса и т.п. электрических характеристик с использованием электродов в объеме динамика, а значит и локализуемого в нем жидкофазного анализата.

Рассмотрим подробнее вопросы сопоставления характеристик электроакустических систем и анализаторов молока на электрофизических принципах, построенных на основе измерительных устройств, предназначенных для тестирования первых. Допустим, что в нашем распоряжении имеется динамическая головка эквивалентным объемом V_{as} , то есть таким объёмом, пригодным для локализации среды-аналита, который при воздействии на него поршня, эквивалентного по площади S площади S_d диффузора данной головки, имеет гибкость, равную гибкости её подвеса. Тогда эквивалентный объём будет определяться в случае каждого конкретного анализата плотностью последнего и скоростью звука в нем как в среде. Для контрольной газовой среды, конкретнее - воздуха верно умноженное на 10^3 решение

$$V_{as} = \rho \cdot c^2 \cdot S_d^2 \cdot C_{ms},$$

где ρ — плотность воздуха (1,184 кг/м³ при 25 °С), и c — скорость звука (346,1 м/с при 25 °С). Гибкость подвеса подвижной системы динамической головки, которой должна быть равна гибкость эквивалентного объёма анализата, является характеристикой, которая входит, наряду с массой подвижной системы M_{ms} , включающей в себя массу движущихся сред в динамической головке, в уравнение резонансной частоты последней:

$$F_s = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C_{ms} \cdot M_{ms}}}$$

Отсюда следует, что техническая система, создаваемая на основе аппаратуры Тилля-Смолла, обладает в потенциале одновременно и функцией весов для анализируемых сред (в нашем случае - молока или молокопродуктов) по резонансной частоте при известной гибкости, а также многочастотного вибрационного вискозиметра и реометра, так как электроакустические параметры Тилля-Смолла в области низких частот, лежащие в основе подобных измерений, представлены следующими позициями:

1. S_d — Эффективная площадь диффузора, см².
2. M_{ms} — Масса подвижной системы (включая массу движущегося воздуха), г.
3. C_{ms} — Гибкость подвеса подвижной системы динамика, м/Н.
4. R_{ms} — Механическое сопротивление подвеса подвижной системы (определяет «потери» в подвесе), Н·с/м.
5. L_e — Индуктивность катушки (зависит от частоты, как правило, измеряется на частоте 1 кГц), мГн.
6. R_e — Активное сопротивление катушки, Ом.
7. Bl — Коэффициент электромеханической связи (индукция поля в магнитном зазоре умноженная на длину провода катушки), Тл·м.

Определение их осуществляется измерением входного импеданса¹ в районе резонансной частоты на малых уровнях сигнала (в линейной области с прямой пропорциональностью отклика поступающему воздействию). А именно, определяются:

1. F_s — Резонансная частота динамической головки.

2. Q_{es} — Электрическая добротность на частоте F_s

$$Q_{es} = \frac{2\pi \cdot F_s \cdot M_{ms} \cdot R_e}{(Bl)^2}$$

3. Q_{ms} — Механическая добротность на частоте F_s

$$Q_{ms} = \frac{2\pi \cdot F_s \cdot M_{ms}}{R_{ms}}$$

4. Q_{ts} — Полная добротность на частоте F_s

$$Q_{ts} = \frac{Q_{ms} \cdot Q_{es}}{Q_{ms} + Q_{es}}$$

При этом полная добротность является безразмерной величиной, характеризующей относительные потери в системе. Чем она ниже, тем больше подавлен резонанс излучения и тем выше пик сопротивления на импедансной кривой. Следует учитывать, что установка в измерительный бокс (ящик) увеличивает данную величину. Частота основного резонанса также возрастает при установке в любой объём. Эквивалентный объём в данном случае равен объёму воздуха с такой же жёсткостью, что и у подвеса, однако при одной и той же жёсткости данная величина растёт с ростом площади диффузора.

Максимальное значение полного сопротивления регистрируется на резонансной частоте в свободном поле (Free Air Resonance Frequency – FARF), поэтому измерение аддитивного сопротивления (DCR) нецелесообразно.

Электрическая составляющая полной добротности характеризует мощность электрического тормоза, препятствующего раскату диффузора вблизи резонансной частоты. Электрическая компонента полной добротности зависит от мощности: чем мощнее магнитная часть, тем сильнее демпфирование и меньше величина электрической компоненты полной добротности. Механическая компонента полной добротности, характеризующая потери в упругих элементах подвеса, не обладает такого типа зависимостью и существенно больше электрической компоненты. Таким образом, возможно использование методов и приборов многочастотной Q-метрии в детектировании спектров молокопродуктов с добавками или субституирующими компонентами.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА

Измерения производятся с помощью системы Тиля-Смолла на звуковой карте при частоте сбора данных (сэмплирования / дискретизации) от 40 кГц (кбит/сек) до 192 кГц (кбит/сек), хотя верхнюю границу поддерживают не все программы и карты (поддерживает, например, LoudSpeaker Lab 3.1). Используется, оптимально, линейный вход и выход. Используется программный свипирующий (перестраиваемый по частоте) генератор (в зависимости от ПО, свипирование осуществляется в низкочастотном или высокочастотном

¹ Следует отметить, что до последнего времени акустический импеданс регистрировался в молочно-хозяйственной сфере только для определения эффективности очистки молочных загрязнений, как это следует, в частности, из доклада E. Wallhäüßer от 23 марта 2010 года на конференции "Fouling and Cleaning in Food Processing" в Кембридже (Wallhäüßer E., Hussein M., Becker T., Hinrichs J. Acoustic impedance analysis for determining presence and cleaning success of dairy fouling. FCFP, Cambridge, UK 22-24 March 2010).

направлении). Для компенсации нелинейности звуковой карты предварительно осуществляется её калибровка (линейная) по уровню с использованием индикатора уровня (обычно эта процедура обозначается в ПО как «Calibrate Linearity»). Возможно использование в качестве сигнала белого шума (как правило, сэмпелированные MLS-последовательности, но возможна и генерация / прямой синтез шумов). Калибровка с использованием безындукционного калибровочного резистора осуществляется по фиксированному постоянному току (constant current); характеристика его как активного сопротивления – горизонтальная прямая. Измерение осуществляется модифицированным методом добавочной массы: сначала измеряются параметрики катушки, подвеса и связанной с ними пассивной системы, а затем – с использованием калиброванного по массе образца (молокопродукта); при этом – возможно относительное (компаративное) измерение, в котором нормальный «опорный» молокопродукт используется в качестве калибровочного, а продукт с добавками или субституентами – в качестве анализируемого по дельте параметров. Ввод массы образца, если не предусмотрено иное, осуществляется вручную, равно как и ход и диаметр диффузора и активное (ранее замеренное) сопротивление.

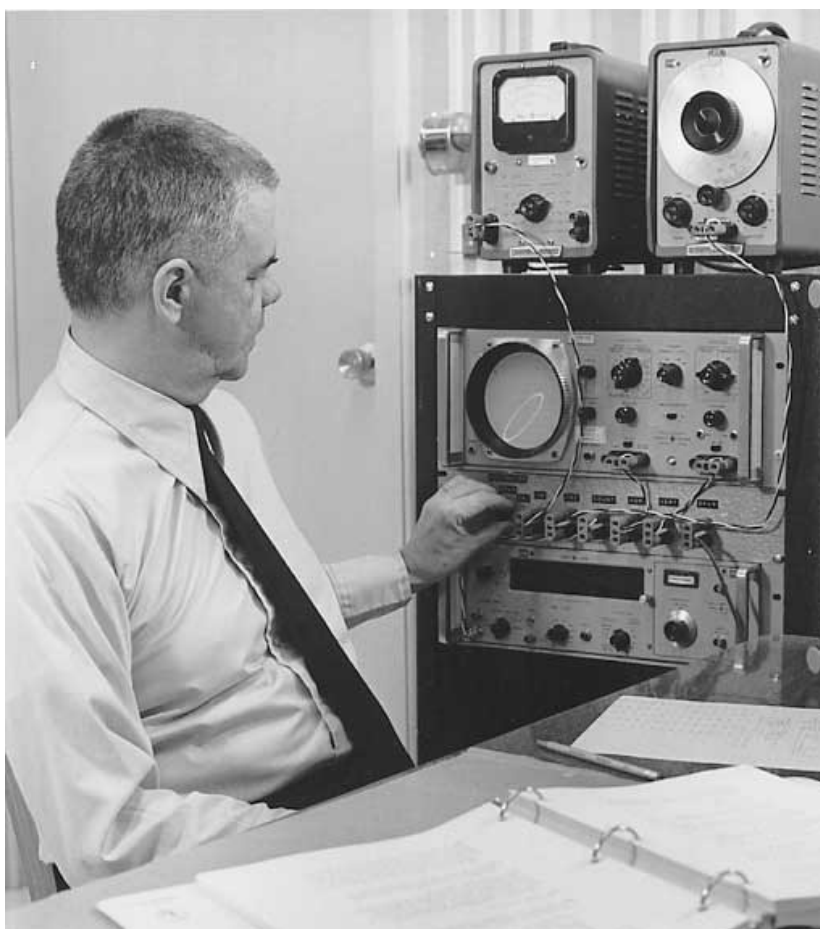


Рис. 1: Аналоговое измерение параметров Тия-Смолла, конец 1960-х – начало 1970-х гг. (пояснение с сайта-источника {<http://www.roger-russell.com/lsd2.htm>} : «This test setup is used to measure ... Thiele-Small parameters. It includes an AC voltmeter, oscillator, frequency counter, oscilloscope and test box ...»). Как можно видеть на экране осциллографа, измерение параметров Тия-Смолла на данной аналоговой установке может сопровождаться визуализацией стереогониометрического, фазографического, коррелометрического портрета.

До 1990-х гг. исследования параметров Тия-Смолла производилось аналоговым путем с помощью осциллографов, частотомеров, генераторов частоты и вольтметров, как это показано на рис. 1. Как можно видеть на экране осциллографа, измерение параметров Ти-

ля-Смолла на данной аналоговой установке может сопровождается визуализацией стереогеометрического, фазографического, коррелометрического портрета.



Рис. 2: Устройства для измерения электроакустического импеданса с использованием ПК.

Мы также испытывали данную технику измерений в смежном институте (смежная группа готовит статью в настоящее время), однако нами был сделан выбор в пользу цифровой регистрации, несмотря на то, что это уменьшает число измеряемых характеристик в

силу ограниченности основных имеющихся программ. Впоследствии, соответственно мировому опыту, был осуществлен переход к более компактным автоматизированным схемам измерений. В частности, планировался переход на один из типов устройств для электроакустических импедансных измерений, показанных в таблице на рис. 2.

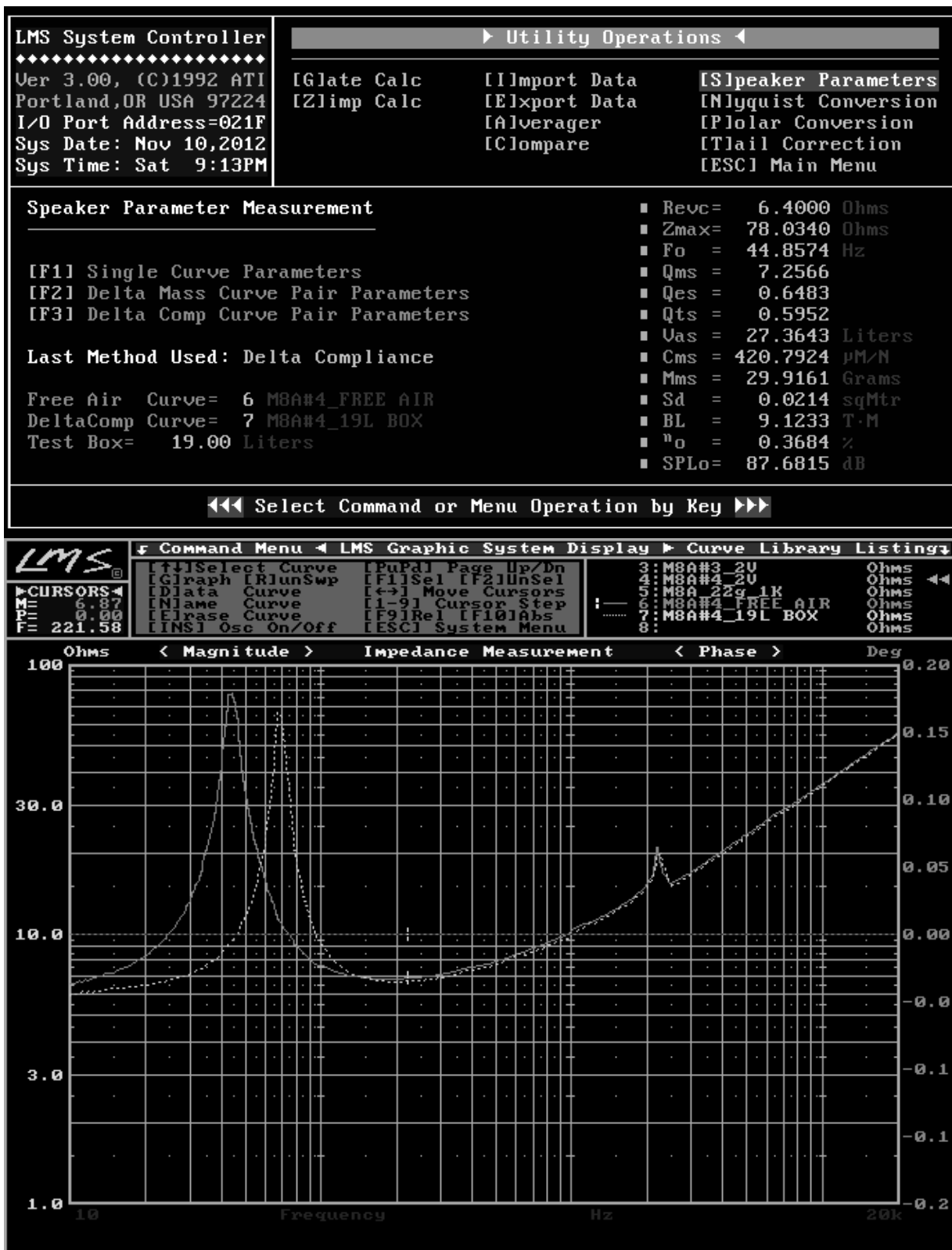


Рис. 3: Утилита LMS SYSTEM CONTROL под доменной операционной системой (DOS) не является оптимальной системой для электромеханических импедансных измерений.

Были выбраны в качестве средств измерений несколько опорных программных анализаторов, включая ARTA, имеющая собственные аппаратные средства: например, ARTA BOX (мод. 3.2 показана на рис. 4-а) и ARTA MEASURING BOX (рис. 4-б) и указанный LS LAB. Измерения производились с помощью встроенных GUI – ARTA, LIMP, STEPS.



а



б

Рис. 4: Корпусированные метрологические средства для ARTA, LIMP, STEPS.

При использовании программного обеспечения типа ARTA (Ivo Mateljan, J. Rodina 4, Kastel Luksic, Croatia), допускающем также измерение нелинейных искажений, возможно модифицировать и контролировать, оптимизируя измерения, следующие показатели: FFT length – количество (кило-)выборок / «сэмплов» быстрого преобразования Фурье (БПФ, FFT); Sequence length – количество сэмплов на период тестового сигнала; Soundcard full scale output (mV) – напряжение, необходимое для параметрического тестирования. Если эксперимент производится в безэховой камере или же в контролируемых по минимизации реверберационных эффектов условиях, то насыщения сигнала поздними (запаздывающими) отражениями, возникающего при неоптимальных частотах дискретизации, может не быть в случае расширения полосы пропускания вниз. При калибровке на одной длине волны, как правило, по умолчанию, используется синусоидальный сигнал 400 Гц. В окне импульсной переходной характеристики фиксируется импульсный отклик, из которого, как правило, производится расчет кумулятивных характеристик, графика затухания («распада сигнала»), характеристик (АЧХ – амплитудно-частотных (хотя измеряется магнитуа, а не амплитуда) и ФЧХ – фазово-частотных характеристик). Фазово-частотные характеристики вычисляются при условии установления значения задержки от заданной точки до

экстремума импульса. Затухание для данных значений фазы, определенных с том же эксперименте, определяется в мс (Delay for phase estimation (ms)). Амплитудных измерений в сущности не производится, так как речь визуализируется магнитудное распределение, хотя в российской терминологии может быть правильно говорить об АЧХ. Групповое время замедления (ГВЗ – GD) не ограничивает возможности регистрации данного типа переменных, так как в визуализирующем интерфейсе программы есть возможность измерения как энергетического затухания (Energy decay window with user interface for acoustical parameters estimation), так и кумулятивного спектрального затухания (Cumulative Spectral Decay) и затухания сигналов / последовательностей сигналов специальной формы (Shaped Burst Decay response) при калибровке по падению напряжения на калибровочном резисторе (как рекомендуемое правило – 27 Ом). Изображения всех базовых окон, включая не описанное выше и бессмысленное для молочного анализа окно диаграммы направденности (рис. 11) приведены с сайта производителя на рис. 5-13.

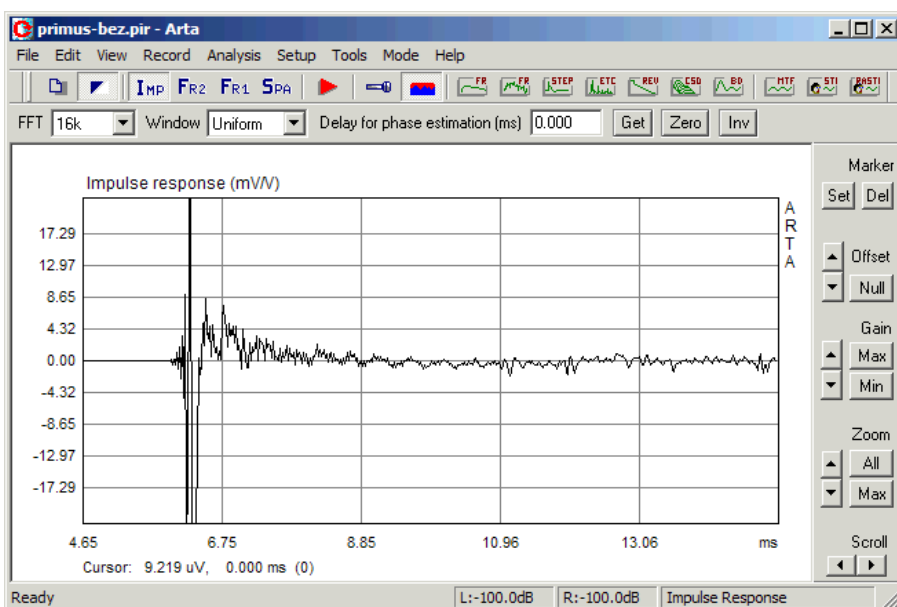


Рис. 5. «The ARTA impulse response window».

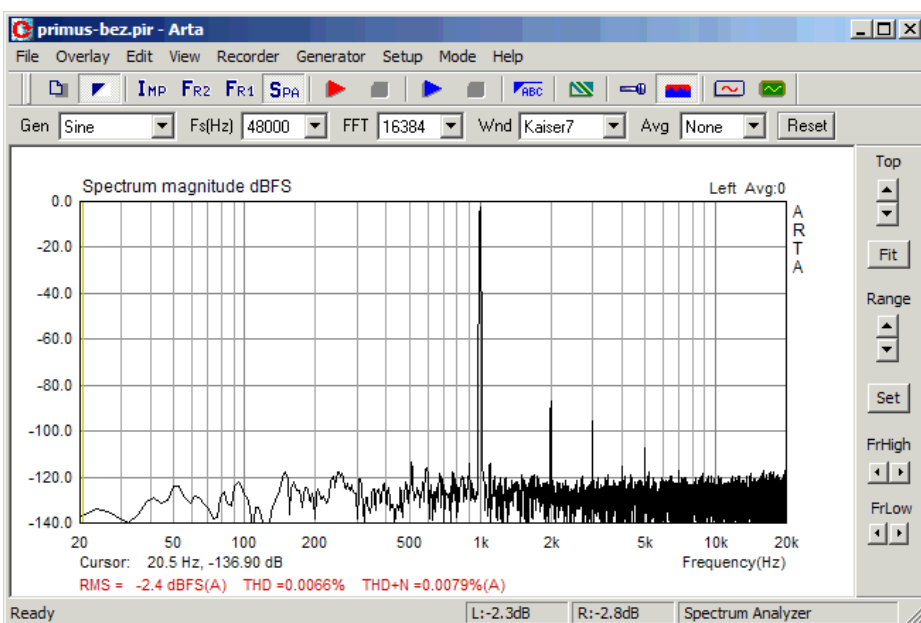


Рис. 6. «The ARTA spectrum analyzer window»

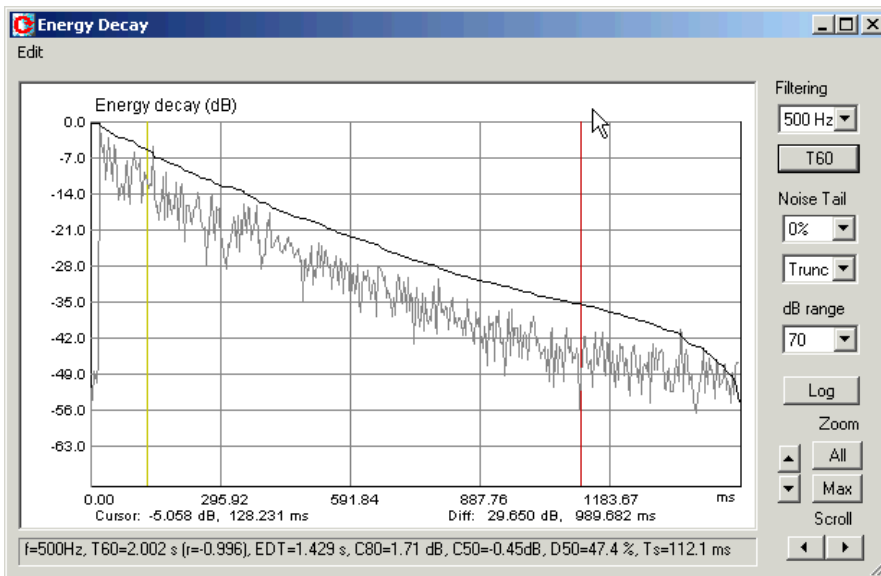


Рис. 7. «The Energy decay window with user interface for acoustical parameters estimation»

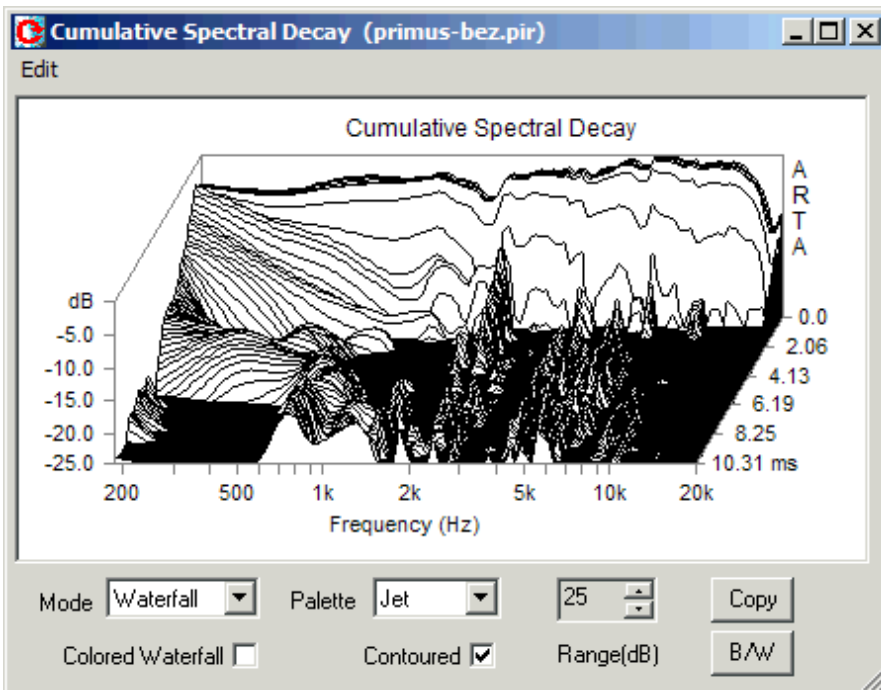


Рис. 8. «The Cumulative Spectral Decay».

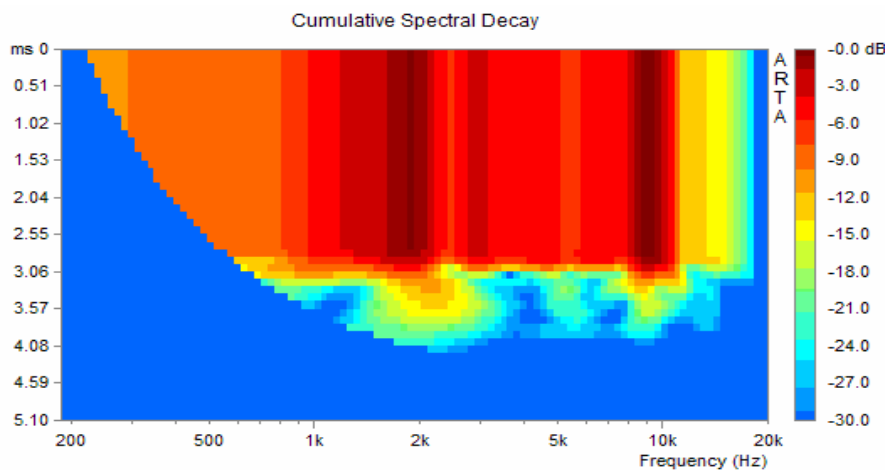


Рис. 9. «The Cumulative Spectral Decay». MAP.

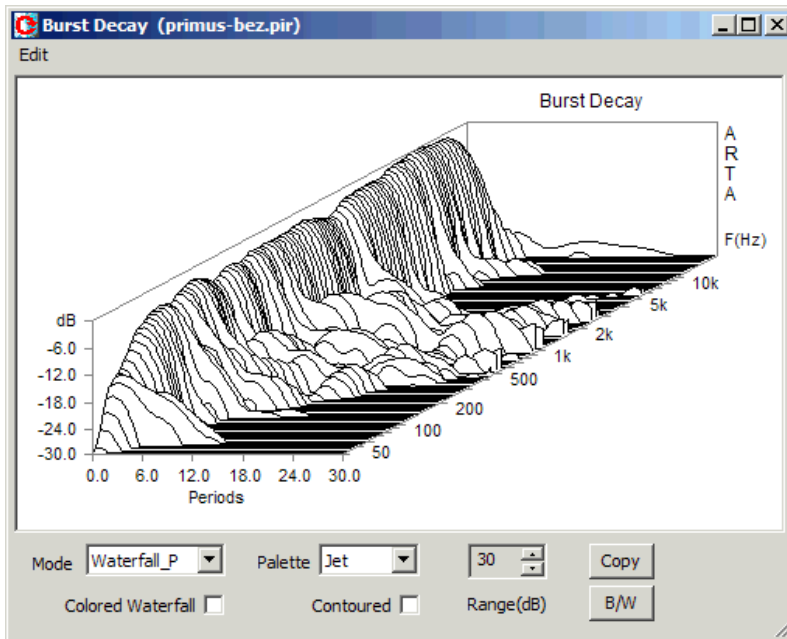


Рис. 10. «The Shaped Burst Decay response»

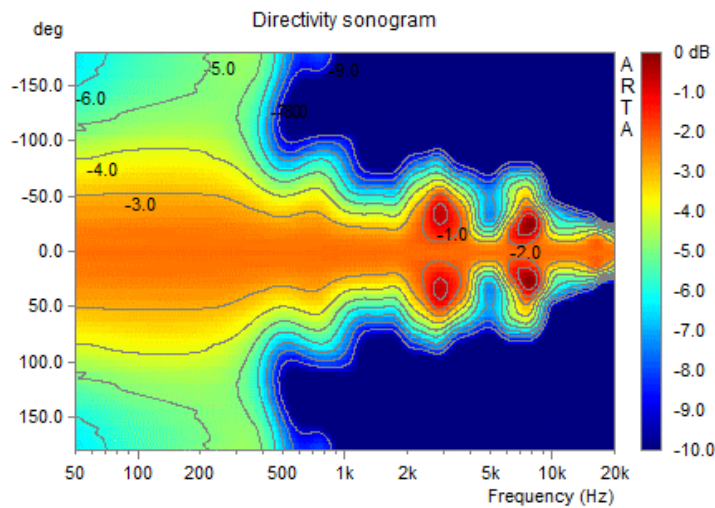


Рис. 11. «Directivity sonogram».

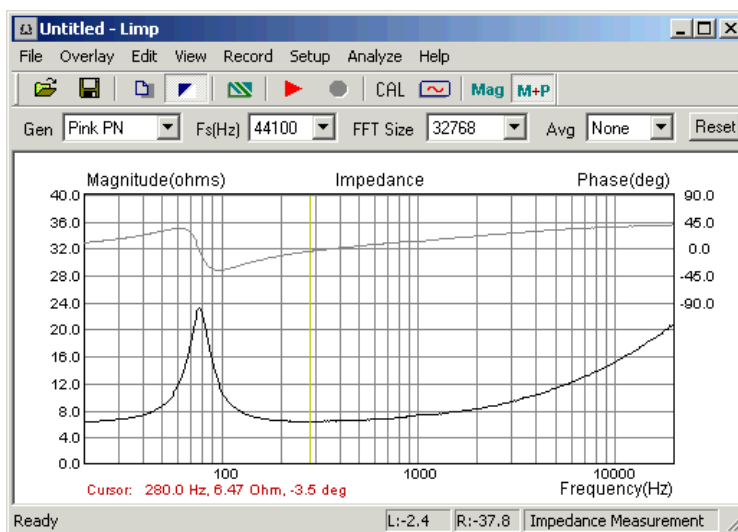


Рис. 12. «The LIMP impedance plot window».

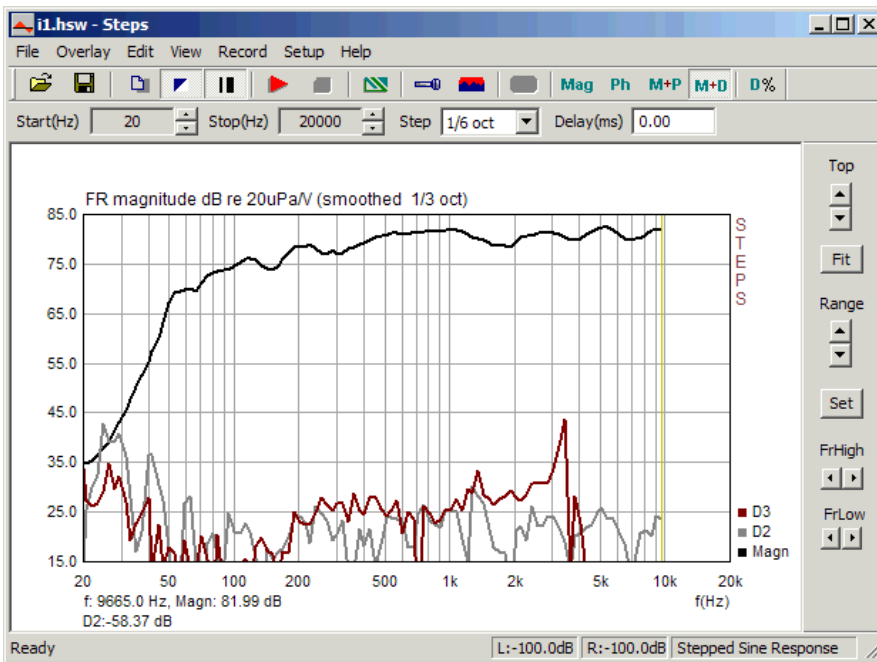


Рис. 13. «The STEPS plot of frequency response, 2nd and 3rd harmonic distortion, measured with stepped-sine».

В нашем случае измерения производились на самодельной установке по схеме, подобной показанной на рис. 14 (а-в), так как закупка любых промышленно изготавливаемых устройств была недоступна для лаборатории по финансовым соображениям. Так как принципы работы low-cost-системы при этом не менялись, а точность или прецизионность измерений и в том, и в другом случае определялась параметрами звуковых карт (включая использовавшиеся нами в одном из случаев USB-карты, подключающиеся по универсальной серийной шине и автоопределяющиеся аналогично принципам plug-and-play), разницы между промышленно изготовленной и самодельной установкой установлено не было.

Measurement circuit test

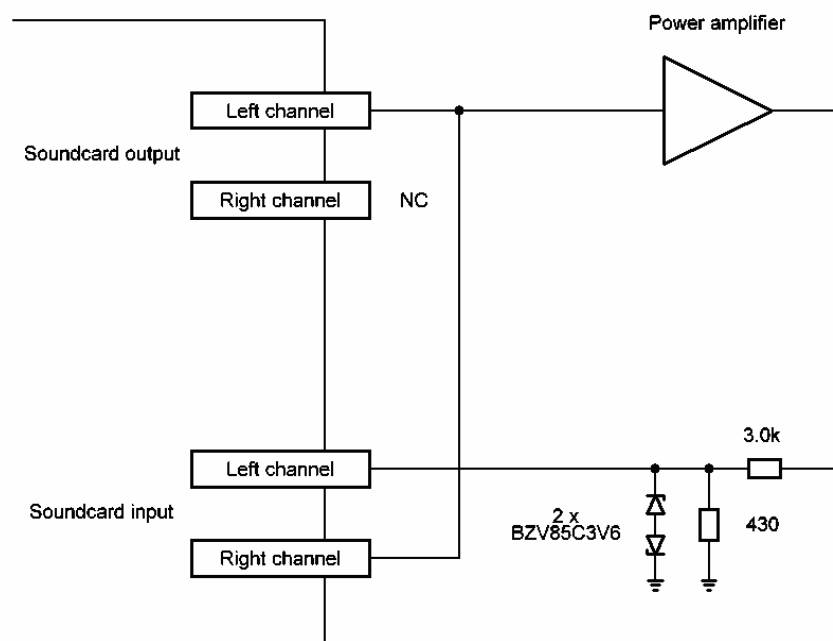


Рис. 14-а.

Single channel measurement mode

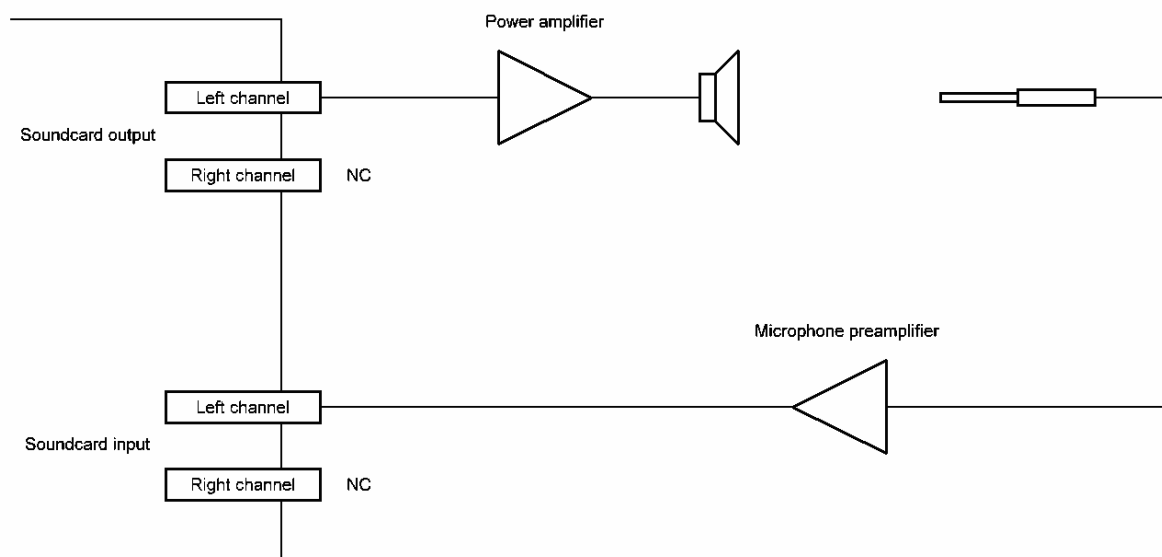


Рис. 14-б.

Dual channel measurement mode

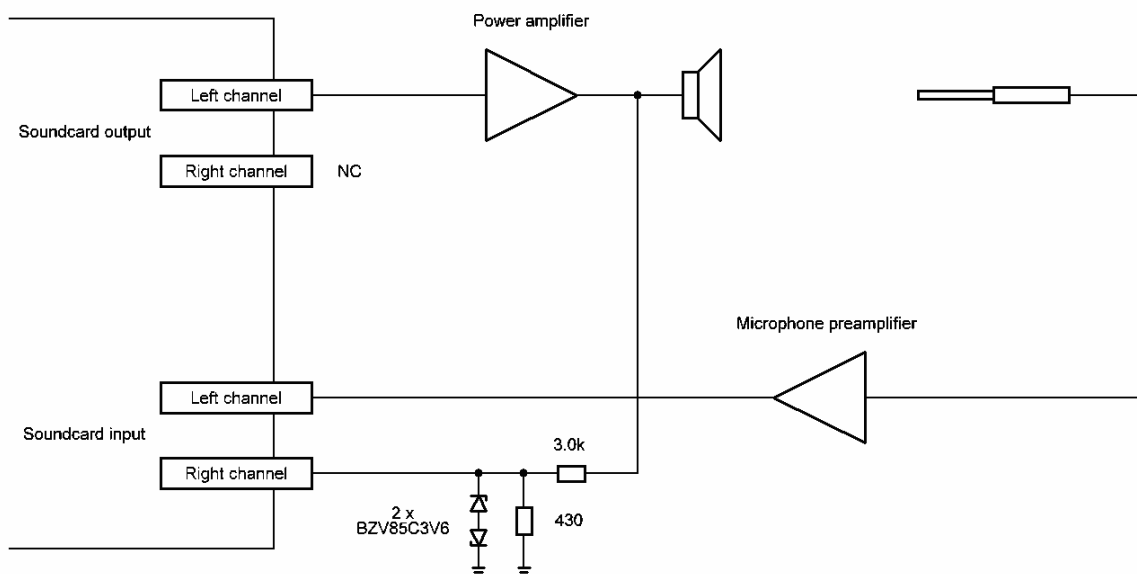


Рис. 14-в.

Вместо динамика на данных схемах следует считать головку в кюветой, в которой находится аналит. Повреждение кюветной части в случае использования данной системы исключено, поэтому предупреждения о невозможности измерений на периодическом шуме импеданса высокочастотных систем (измеряемых шаговым синусоидальным сигналом в предварительно заданном диапазоне частот) в данном случае почти не имеет силы. Если говорить об амплитуде тока через катушку, то, как правило, при нелинейности параметров при различном токе, рекомендуется использовать токи от 40 мА до 50 мА, которые почти

не способны пробить и повредить измерительную систему, учитывая, что к фиксаторам на измерительном боксе фиксирован резистор с номиналом, адекватным сопротивлению самой метрируемой системы. Для измерений в высокочастотной области параллельно с резистором подключается вольтметр, адекватно рис. 1.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ Q-МЕТРА

Как упоминалось выше, в измерениях параметров Тилля-Смолла большую роль играет добротность, входящая в соответствующие выражения как:

- Q_{es} — Электрическая добротность на частоте F_s

$$Q_{es} = \frac{2\pi \cdot F_s \cdot M_{ms} \cdot R_e}{(Bl)^2}$$

- Q_{ms} — Механическая добротность на частоте F_s

$$Q_{ms} = \frac{2\pi \cdot F_s \cdot M_{ms}}{R_{ms}}$$

- Q_{ts} — Полная добротность на частоте F_s

$$Q_{ts} = \frac{Q_{ms} \cdot Q_{es}}{Q_{ms} + Q_{es}}$$

Было указано, что «полная добротность является безразмерной величиной, характеризующей относительные потери в системе. Чем она ниже, тем больше подавлен резонанс излучения и тем выше пик сопротивления на импедансной кривой. Следует учитывать, что установка в измерительный бокс (ящик) увеличивает данную величину. Электрическая составляющая полной добротности характеризует мощность электрического тормоза, препятствующего раскачке диффузора вблизи резонансной частоты. Электрическая компонента полной добротности зависит от мощности: чем мощнее магнитная часть, тем сильнее демпфирование и меньше величина электрической компоненты полной добротности. Механическая компонента полной добротности, характеризующая потери в упругих элементах подвеса, не обладает такого типа зависимостью и существенно больше электрической компоненты». Таким образом, оказалось возможным использование методов и приборов для многочастотной Q-метрии в регистрации электроакустических импедансных спектров и сопутствующих графических характеристик (рис. 5-13).

Нами при поддержке коллег (О.В.Г., Е.Д.А. и П.Л.А., которым выражается большая благодарность) были изготовлены и модифицированы несколько единиц приборов данного назначения. О них речь ниже:

- a) многоканальный компаративный многочастотный Q-метр с регулировкой диапазонов и процентной индикацией² [системы Е.Д. Адамовича] (Рис. 15);
- b) модифицированный (био-)акустический Q-метр системы ОБГ-4 с использованием звуковой карты, подключаемой по универсальной серийной шине – USB (рис. 16);
- c) осциллографируемая гравиметрическая / динамометрическая ячейка (рис. 17);
- d) модуль ЭВМ-опосредованного аналогового отображения с возможностью индикации радикальных, дробных и процентных показателей и переходов между диапазонами [системы Е.Д. Адамовича] (рис. 18);
- e) параллельный измеритель мощности (RMS-метр) с перестройкой по частоте на ПК с GUI – ARTA / LIMP / STEPS (рис. 19).

² В англоязычной Википедии рекомендуется индексировать эффективность в процентах: « η_0 - Reference Efficiency Specified in percent (%). Comparing drivers by their calculated reference efficiency is often more useful than using 'sensitivity' since manufacturer sensitivity figures are too often optimistic» <https://en.wikipedia.org/wiki/Thiele/Small>.



Рис. 15: Многоканальный компаративный многочастотный Q-метр с регулицией диапазонов и процентной индикацией.



Рис. 16: Модифицированный (био-)акустический Q-метр системы ОВГ-4.

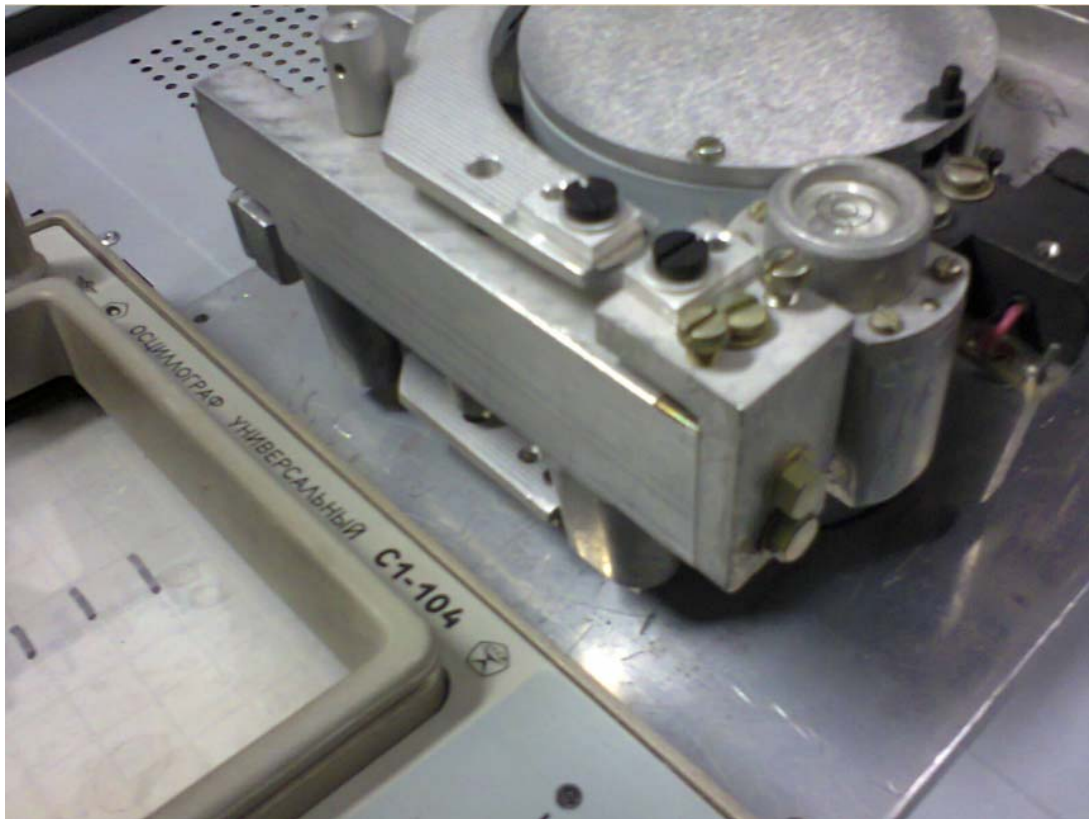


Рис. 17: Осциллографируемая гравиметрическая / динамометрическая ячейка.



Рис. 18: Модуль ЭВМ-опосредованного аналогового отображения с возможностью индикации радикальных, дробных и процентных показателей и перехода между диапазонами (модифицированный).

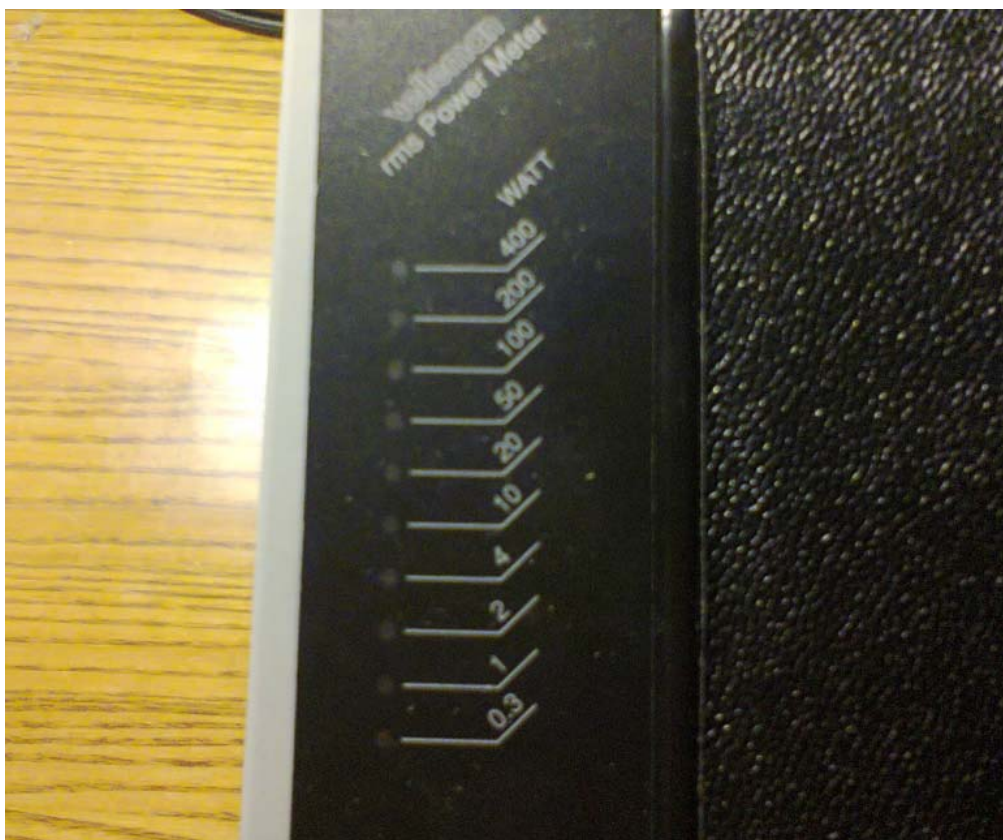


Рис. 19: RMS-метр с перестройкой по частоте на ПК с GUI – ARTA / LIMP / STEPS.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тестирование метрологической базы завершено. Апробация метода запланирована в 2017 г., так как в настоящее время отсутствует ряд комплектующих. Теоретических предпосылок для неработоспособности методики не выявлено. Технически (без нагрузки) ПО и минимальное аппаратное обеспечение действуют в штатном режиме. В качестве терминологических ремарок следует заметить, что электроакустические импедансные измерения по схеме, подобной схеме Тиля-Смолла, не могут аббревиироваться как EIS (electric impedance spectroscopy; в том числе - potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy – PDEIS [69-79]), так как их принципы кардинально различны и не могут быть сопоставлены по исходящим данным.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) Bolstridge L.J. The Application of Polarography in Milk Analysis. University of Maine, 1950, 82 p.
- 2) Snow N.S. A Polarographic and Turbidimetric Investigation of the Caseins in Cows Milk. University of Sydney, 1956.
- 3) Cornell D.G., Pallansch M.J. Cadmium analysis of dried milk by pulse polarographic techniques. Journ. Dairy Sci., Vol. 56, No. 12, pp. 1479-1485 (1973).
- 4) Tokuşoglu O., Aycan S., Akalin S., Koçak S., Ersoy N. Simultaneous differential pulse polarographic determination of cadmium, lead, and copper in milk and dairy products. Journ. Agric. Food Chem., Vol. 52, No. 7, pp. 1795-1799 (2004).
- 5) Curtis A.R., Hamming P. Differential pulse polarographic determination of total iodine in milk. Journ. Assoc. Off. Anal. Chem., Vol. 65, No. 1, pp. 20-23 (1982)

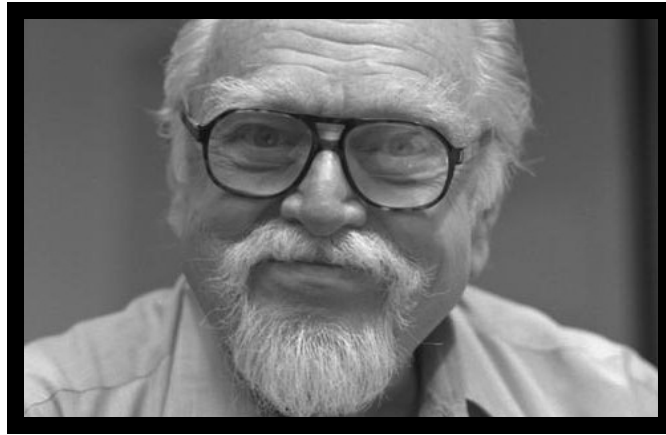
- 6) Koops J., Klomp H., Kerkhov-Mogot M.F. Iodine in Dutch Milk. Determination by Cathodicscan Differential-pulse Polarography After Ashing. Nederlands Instituut voor Zuivelonderzoek, 1987, 13 p.
- 7) Parnell M.J. Determination of nitroxynil in milk and dairy products. Pesticide Science, Vol. 3, Issue 6, pp. 685–688 (1972).
- 8) Yilmaz U.T., Yazar Z. Determination of Cyanuric Acid in Swimming Pool Water and Milk by Differential Pulse Polarography. CLEAN – Soil, Air, Water, Vol. 38, Issue 9, pp. 816–821 (2010).
- 9) Blazquet L.C., Flores J.R., Jara F.V., Misiego A.S. Determination of orotic acid (vitamin B13) in milk by differential pulse polarography (DPP), Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, Vol. 338, No. 1, Pages 80-81 (1990).
- 10) Ng W.Y., Wong S.K. Adsorptive-stripping determination of sulfamethazine in milk. Journ. AOAC Int., Vol. 76, No. 3, pp. 540-543 (1993).
- 11) Yilmaz U.T., Yazar Z. Determination of Melamine by Differential Pulse Polarography / Application to Milk and Milk Powder. Food Analytical Methods, Vol. 5, No. 1, pp. 119-125 (2012).
- 12) Liu Z.-L., Nie Z.L., Chen Y., Mei Y. Determination of Melanine in Milk in Saturated Borax Medium by Polarographic Analysis, Modern Preventive Medicine, Vol. 37, No. 2 (2010). Англ. абстракт. Оригинальная статья на китайском: 刘兆霖, 聂忠菊, 陈宇, 梅玉琴. 饱和硼砂介质下极谱法测定原乳及乳制品中三聚氰胺. 现代预防医学, 卷 37, 期 2 (2010).
- 13) Davidek J., Seifert J., Dolezalova Z. The determination of dichlorvos in milk by using classical and square-wave polarography. Milchwissenschaft, Vol 31, No. 5, pp. 267-270 (1976)
- 14) Esteve M.J., Frígola A., Rodrigo M.C., Rodrigo M. Use of polarography as a quality-control method for determining diacetyl in citrus and vegetable juices, yoghurt and butter. Food Addit. Contam., Vol. 19, No. 6, 519-523 (2012)
- 15) Wang J., Sun T., Zhang J.-D. Determination of chromium in milk powder by differential pulse catalytic polarography and ICP emission spectroscopy. China Dairy Industry, No. 2 (2001). Англ. абстракт. Оригинальная статья на китайском: 王静, 孙涛, 张景东. 微分脉冲催化极谱法及等离子发射光谱法测定奶粉中铬含量. 期 2 (2010).
- 16) Pruitt K.M., Tenovuo J., Andrews R.W., McKane T. Lactoperoxidase-catalyzed oxidation of thiocyanate: polarographic study of the oxidation products. Biochemistry, Vol. 21, No. 3, pp. 562-567 (1982)
- 17) Perez A.S., Zamarreno M.M.D., Nieves M.B.T., Mendez J.H. Study of the electrocatalytic effect of casein on the polarographic reduction of nickel(II). Determination of total proteins in milk by polarographic chronoamperometry. Analyst, Vol. 120, pp. 139-142 (1995).
- 18) Ito M. Polarographic studies on proteins and enzymes. IV. Protein double waves of protein mixtures with special reference to protein interaction. Mie Med. Journ., Vol. 16, Issue 3, pp. 137-192 (1967).
- 19) Влодавец И.Н., Жданова Е.А. Изучение электрохимических свойств белков молока методом электрофореза и полярографии. // Биохимия. М., 1959. - Т.24. - Вып.3. - с.393-395.
- 20) Альшева Т.А., Брусиловский Л.П., Семухина В.Ф. Полярографический метод определения бактериальной контаминации молока. Труды Всесоюзного Научно-Исследовательского Института Молочной Промышленности (ВНИИМП), № 40, с. 66-69 (1976).
- 21) Calpe E.H.B. Microbiological Evaluation of Non-fat Dried Milk by Impedance Measurement. Washington State University, 1978, 82 p.

- 22) O'Connor F. An Impedance Method for the Determination of Bacteriological Quality of Raw Milk. *Irish Journal of Food Science and Technology*, Vol. 3, No. 2, pp. 93-100 (1979).
- 23) Khayat F.A., Richardson G.H. Detection of abnormal milk with impedance microbiology instrumentation. *Journ. Food Protect.*, Vol. 49, Issue 7, pp. 519-522 (1986).
- 24) Madden R.H., Gilmour A. Impedance as an alternative to MPN enumeration of coliforms in pasteurized milks. *Lett Appl Microbiol.*, Vol. 21, Issue 6, pp. 387-388 (1995).
- 25) Liébana S, Lermo A, Campoy S, Cortés MP, Alegret S, Pividori MI. Rapid detection of Salmonella in milk by electrochemical magneto-immunosensing. *Biosens. Bioelectron.*, Vol. 25, No. 2, pp. 510-513 (2009)
- 26) García-Aljaro C., Muñoz-Berbel X., Muñoz F.J. On-chip impedimetric detection of bacteriophages in dairy samples. *Biosens Bioelectron.*, Vol. 24, No. 6, 1712-1716 (2009).
- 27) Grossi M., Lazzarini R., Pompei A., Matteuzzi D., Ricco B., Lanzoni M. Total Bacterial Count in Soft-Frozen Dairy Products by Impedance Biosensor System. *IEEE Sensors Journal*, Vol. 9, Issue 10, pp. 1270-1276 (2009).
- 28) Aiping Z., Ruifeng M., Shijuan H., Jianil T., Donghong L. Rapid Detection of Total Bacteria Count in Milk by the Impedance Method. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, No. 2 (in press, 2012).
- 29) Zhou Z., Wang J., Qin Y. Design of signal conditioning circuits for impedance detection of milk bacteria. *6th Int. Forum on Strat. Tech. (22-24 Aug. 2011)*, Vol. 2, pp. 818 - 821 (2011)
- 30) Okigbo L.M., Oberg C.J., Richardson G.H. Lactic Culture Activity Tests Using pH and Impedance Instrumentation, *Journal of Dairy Science*, Vol. 68, Issue 10, pp. 2521-2526 (1985).
- 31) Tsai K.-P., Luedecke L.O. Impedance Measurement of Changes in Activity of Lactic Cheese Starter Culture After Storage at 4°C. *Journal of Dairy Science*, Vol. 72, Issue 9, pp. 2239-2241 (1989).
- 32) Curda L., Plockova M. Impedance Measurement of Growth of Lactic Acid Bacteria in Dairy Cultures with Honey. *International Dairy Journal*, Vol. 5, No. 7, pp. 727-733 (1995)
- 33) Walker K., Ripandel N., Flint S. Rapid enumeration of *Bifidobacterium lactis* in milk powders using impedance. *International Dairy Journal*, Vol. 15, issue 2, pp. 183-188 (2005).
- 34) Chen J., Gorton L., Åkesson B. Electrochemical studies on antioxidants in bovine milk. *Analytica Chimica Acta*, Vol. 474, pp. 137-146 (2002).
- 35) Zhiyong L, Minying Y, Jianting G. Rapid impedance method for predicting the potential shelf life of packaged pasteurized milk. *Journ. AOAC*, Vol. 86, Issue 5, pp. 998-1002 (2003)
- 36) Hillbrick G.C., McMahon D.J., Deeth H.C. Electrical impedance particle size method (Coulter Counter) detects the large fat globules in poorly homogenised UHT processed milk. *The Australian Journal of Dairy Technology*, Vol. 53, No. 1, pp. 17-21 (2004).
- 37) Zhu Y., Zhang Y., Li J., Han Y., Dong G., Zhang H. Determination of Melamine in Fresh Milk by Electrochemistry with Solid Phase Microextraction at Bismuthyl Chloride Modified Graphite Epoxy Composite Electrode, *American Journal of Analytical Chemistry*, Vol. 2 No. 5, pp. 612-618 (2011).
- 38) Tsekenis G., Garifallou G.Z., Davis F., Millner P.A., Pinacho D.G., Sanchez-Baeza F., Marco M.P., Gibson T.D., Higson S.P. Detection of fluoroquinolone antibiotics in milk via a labelless immunoassay based upon an alternating current impedance protocol. *Anal. Chem.*, Vol. 80, Issue 23, pp. 9233-9239 (2008).
- 39) Felice C.J., Madrid R.E., Olivera J.M., Rotger V.I., Valentinuzzi M.E. Impedance microbiology: quantification of bacterial content in milk by means of capacitance growth curves. *Journ. Microbiol. Methods*, Vol. 35, No. 1, pp. 37-42 (1999).

- 40) Mabrook M.F., Petty M.C. Application of electrical admittance measurements to the quality control of milk. *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 84, Issues 2–3, pp. 136–141 (2002).
- 41) Mabrook M.F., Petty M.C. A novel technique for the detection of added water to full fat milk using single frequency admittance measurements. *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 96, Iss. 1-2, pp. 215-218 (2003).
- 42) Patel M.N., Sannabhadti S.S., Dave J.M. Impedance measurement as a keeping quality test for pasteurized buffalo milk and its relation with selected quality control tests. *Brief Communications of the XXIII International Dairy Congress, Montreal, October 8-12, 1990*, Vol. I., pp. 143 (1990).
- 43) Zajančauskas A., Savilionis A., Bičius E., Petrauskas V., Aniulis E. Investigation of temperature influence on milk impedance frequency characteristics. *Veterinar. ir Zootech.*, Vol. 29, No. 51, pp. 108-111 (2005)
- 44) Orazem M.E., Tribollet B. *Electrochemical Impedance Spectroscopy*, 560 p., Wiley-Interscience, 2008.
- 45) Lvovich V. *Impedance Spectroscopy: Applications to Electrochemical and Dielectric Phenomena*, 368 p., Wiley, 2012.
- 46) Malleo D. *Impedance Spectroscopy for Cellular Analysis: Novel electrode materials and device designs for single cell analysis*, 220 p., Lambert Academic Publishing, 2010.
- 47) Nevill J.T. *Impedance spectroscopy-based biosensors*. 226 p., UMI, 2011.
- 48) Virchow R. *Cellular Pathology*. 554 p., Dover Publications Inc., 1972.
- 49) Cook D.J. *Cellular Pathology: An Introduction to Techniques and Applications*, 384 p., Sci. Publishing Ltd., 2006.
- 50) Schofield S.A., Phillips C.J.C., Owens A.R. Variation in the milk production, activity rate and electrical impedance of cervical mucus over the oestrous period of dairy cows. *Animal Reproduction Science*, Vol. 24, Issue 3, pp. 231-248 (1991)
- 51) Bosma R.H., Savelkoul H.F.J., Frankena K., Baars T., Laarakker E. Dairy herd health, impedance on six acupuncture points and immune response factors in milk: A pilot study. *Livestock Science*, Vol. 99, Issue 2, pp. 285-290 (2006).
- 52) Seguya A.G., Mansell P.D. An evaluation of a hand-held electrical resistance meter for the diagnosis of bovine subclinical mastitis in late lactation under Australian conditions. *Aust. Vet. Journ.*, Vol. 78, No. 9, pp. 608-611 (2000).
- 53) Shoshani E., Berman A. Subclinical mastitis assessed by deviations in milk yield and electrical resistance. *Journ. Dairy Res.*, Vol. 65, No. 1, pp. 31-41 (1998).
- 54) Ahmed W.M., Abd El-Moez S.I., Nabil G.M. Observations on Sub-Clinical Mastitis in Buffalo-Cows with Emphasis on Measuring of Milk Electrical Resistance For its Early Detection. *Global Veterinaria*, Vol. 2, No. 1, pp. 41-45 (2008).
- 55) Borrelli O., Mancini V., Thapar N., Giorgio V., Elawad M., Hill S., Shah N., Lindley K.J. Cow's Milk Challenge Increases Weakly Acidic Reflux in Children with Cow's Milk Allergy and Gastroesophageal Reflux Disease. *Journ. Pediatr.*, Vol. 161, No. 3, pp. 476-481 (2012)
- 56) Хачатрян А.П., Мыц Б.В. Импедансометрия в ранней диагностике лактационного мастита// *Акушерство и гинекология*.- 1987.- № 6.-С.60-62,
- 57) Хачатрян А.П., Мыц Б.В., Арутюнян А.П. Импедансометрия в оценке инфицирования грудного молока при лактационном мастите// *Педиатрия*. - 1987. -№6, -С. 28-30.
- 58) Nijkamp J.M., Posthuma B.A. Device for measuring the complex impedance of milk, and pulsator having such a device. *US Pat. No. 5829381*, 4 p., 3/09/1998.
- 59) Fourie C.J., van der Westhuyzen P.J., van Niekerk P.C. An automated system for impedance measurements in milk, *Conf. AFRICON-2007*, 6 p (offprint).
- 60) Bertemes-Filho P., Valicheski R., Pereira R.M., Paterno A.S. Bioelectrical impedance analysis for bovine milk: Preliminary results. *Journal of Physics, Conf. Ser.*, Vol. 224, No. 1, 012133, 4 p. (2010).

- 61) Pesta M., Williams P., Zampa N., Garry E., Ouattara G. The Effects of Raw Milk Storage Conditions on Freezing Point, pH, and Impedance. IFT, July 2007, 6 p (offprint).
- 62) Williams P., Garry E., Ouattara G. The Effect of Bronopol on the Freezing Point and Impedance of Milk Samples. IFT, July 2007, 6 p (offprint).
- 63) Градов О.В. Лазерная криоскопическая видеомиллиосмометрия для определения точки замерзания молока термисторным криоскопическим методом и наблюдения его кинетики. Молочнохозяйственный вестник, № 3(7), с. 46-56 (2012).
- 64) Fomin N.A. Speckle Photography for Fluid Mechanics Measurements, 257 p., Springer, 1998.
- 65) Sutton M.A., Orteu J.J., Schreier H. Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements: Basic Concepts, Theory and Applications, 342 p., Springer, 2009.
- 66) Eargle J. Loudspeaker Handbook, 432 p., Springer, 2010.
- 67) Weems D. Designing, Building, and Testing Your Own Speaker System with Projects, 223 p., McGraw-Hill / TAB Electronics, 1996.
- 68) Kaltenbacher M. Numerical Simulation of Mechatronic Sensors and Actuators, 446 p., Springer, 2010.
- 69) Ragoisha G.A., Bondarenko A.S., Osipovich N.P., Rabchynski S.M., Streltsov E.A. Multi-parametric characterisation of metal-chalcogen atomic multilayer assembly by potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy. *Electrochim. Acta*, Vol. 53, Issue 11, pp. 3879-3888 (2008).
- 70) Ragoisha G.A., Bondarenko A.S. Potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy. G. A. Ragoisha and A. S. Bondarenko. *Electrochim. Acta*, Vol. 50, pp. 1553-1563 (2005).
- 71) Ragoisha G.A., Bondarenko A.S. Potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy of silver on platinum in underpotential and overpotential deposition. *Surf. Sci.*, Vol. 566-568, pp. 315-320 (2004).
- 72) Ragoisha G.A., Bondarenko A.S. Potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy for solid state chemistry. *Solid State Phenom.*, Vol. 90-91, pp. 103-108 (2003)
- 73) Bondarenko A.S., Ragoisha G.A. Variable Mott-Schottky plots acquisition by potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy. *J. Solid State Electrochem.*, Vol. 9, pp. 845-849 (2005).
- 74) Ragoisha G.A., Osipovich N.P., Bondarenko A.S., Zhang J., Kocha S., Iiyama A. Characterisation of the electrochemical redox behaviour of Pt electrodes by potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy. *Journ. Solid State Electrochem.*, Vol. 14, pp. 531-542 (2010).
- 75) Ragoisha G.A., Bondarenko A.S. Potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy. In: *Electrochemistry, New Research* (Ed. by M. Nunez), pp. 51-75, New York, N. Sci. Publ., 2005.
- 76) Bondarenko A.S., Ragoisha G.A., Osipovich N.P., Streltsov E.A. Potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy of lead upd on polycrystalline gold and on selenium atomic underlayer. *Electrochem. Commun.*, Vol. 7, Issue 6, pp. 631-636 (2005).
- 77) Bondarenko A.S., Ragoisha G.A. Inverse problem in potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy. In: *Progress in Chemometrics Research* (Ed. by A.L. Pomerantsev), pp. 89-102, New York, N. Sci. Publ., 2005.
- 78) Ragoisha G.A., Bondarenko A.S. Potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy. Copper underpotential deposition on gold. *Electrochem. Commun.*, Vol. 5, Issue 5, pp. 392-395 (2003).
- 79) Ragoisha G.A., Bondarenko A.S., Osipovich N.P., Streltsov E.A. Potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy. Lead underpotential deposition on tellurium. *Journ. Electroanal. Chem.*, Vol. 565, pp. 227-234 (2004).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1: ПОЛНЫЙ СПИСОК РАБОТ А.Н. ТИЛЛЯ (1920-2012)



- I. Thiele, A. Neville (1956). "The Design of Filters Using Only RC Sections and Gain Stages," *Electronic Engineering*, 28(335 & 336), pp. 31–36 & 80–82.
- II. Thiele, A. Neville (1958). "Television IF Amplifiers with Linear Phase Response," *Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Australia*, 19(11), pp. 652–668.
- III. Thiele, A. Neville (1959). "Recovery of Amplifiers After Overload," *Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Australia*, 20(5), pp. 257–261.
- IV. Thiele, A. Neville (1960). "Techniques of Delay Equalisation," *Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Australia*, 21(4), pp. 225–241.
- V. Thiele, A. Neville (1961). "A Hybrid Network for Mixing and Splitting Signals," *Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Australia*, 22(6), pp. 383–387.
- VI. Thiele, A. Neville (1961). "Loudspeakers in Vented Boxes," *Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Australia*, 22(8), pp. 487–508. Reprinted in *Journal of the Audio Engineering Society*, 1971, 19(5 & 6), pp. 382–392 & 471–483. Reprinted in R.E. Cooke (ed.) *Loudspeakers, An Anthology, Vol. 1 - Vol. 25 (1953-1977)*, Audio Engineering Society, New York, 1978, pp. 181–204. Reprinted in *Vented Loudspeakers - An Anthology*, Institute of Radio and Electronics Engineers. Reprinted in German as "Lautsprecher in ventilierten Gehäusen (Die Berechnungsunterlagen für Baßreflexgehäuse)," *Hifi-Boxen Selbstgemacht, Elrad extra 8*, Verlag Heinz Heise GmbH & Co. KG, Hannover, 1989, pp. 91 – 112.
- VII. Thiele, A. Neville (1962). "Equalisation of Gramophone Pickups," *Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Australia*, 23(5), pp. 311–313.
- VIII. Thiele, A. Neville (1962). "Miller Resistance," *Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Australia*, 23(6), pp. 359–360.
- IX. Thiele, A. Neville (1965). "Measurement of Return Loss at Video Frequencies," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers*, 26(6), pp. 183–191.
- X. Thiele, A. Neville (1965). "The Theory of Null Traps," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers*, 26(7), pp. 224–231.
- XI. Thiele, A. Neville (1965). "Filters with Variable Cut-Off Frequencies," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers*, 26(9), pp. 284–301.
- XII. Thiele, A. Neville (1966). "Methods of Waveform (Pulse and Bar) Testing," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers*, 27(12), pp. 339–362.
- XIII. Thiele, A. Neville (1967). "A Simple Shunt Regulator," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers*, 28(5), pp. 175–178.
- XIV. Thiele, A. Neville (1967). "Variable Equalisers for Short Video Cables," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers*, 28(7), pp. 215–231.
- XV. Thiele, A. Neville and McKilligan, R.S. (1968). "Elimination of Brightness Variation in Television Monitors Appearing "On-Camera"," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers*, 29(2), pp. 53–54.
- XVI. Thiele, A. Neville (1969). "Horizontal Aperture Equalisation," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers*, 30(11), pp. 348–363. Reprinted *Radio and Electronic Engineer*, 1970.

- XVII. Thiele, A. Neville (1970). "Complementary Emitter Follower for Feeding Matched Loads," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers*, 31(10), pp. 354–355.
- XVIII. Thiele, A. Neville (1973). "Loudspeakers, Enclosures and Equalisers," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers*, 34(11), pp. 425–448. Reprinted in *Vented Loudspeakers - An Anthology*, Institute of Radio and Electronics Engineers.
- XIX. Thiele, A. Neville (1974). "Inter-Order Response Characteristics for Simplified Active Filters," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers*, 35(3), pp. 57–60.
- XX. Thiele, A. Neville (1975). "Optimum Passive Loudspeaker Dividing Networks," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers*, 36(7), pp. 220–224.
- XXI. Thiele, A. Neville (1975). "Load Stabilising Networks for Audio Amplifiers," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers*, 36(9), pp. 297–300. Reprinted *Journal of the Audio Engineering Society*, 1976, 24(1), pp. 20–23.
- XXII. Thiele, A. Neville (1975). "Air-Cored Inductors for Audio," *Proceedings of the Institute of Radio and Electronics Engineers Australia*, 36(10), pp. 329–333. Reprinted *Journal of the Audio Engineering Society*, 1976, 24(5), pp. 374–378. *Postscript Journal of the Audio Engineering Society*, 1976, 24(10), pp. 830–832.
- XXIII. Thiele, A. Neville (1979). "The Importance of Standards in Broadcasting," *The Radio and Electronic Engineer*, 49(9), pp. 443–447.
- XXIV. Thiele, A. Neville (1983). "Measurement of Non-Linear Distortion in a Band-Limited System," *Journal of the Audio Engineering Society*, 31(6), pp. 443–445.
- XXV. Thiele, A. Neville (1985). "Three-Level Tone Test Signal for Setting Audio Levels," *Journal of the Audio Engineering Society*, 33(12), pp. 963–967; and letter *Journal of the Audio Engineering Society*, 1986, 34(12), pp. 997–998.
- XXVI. Thiele, A. Neville (1989). "The Decibel in Sound Program Transmission," *Journal of Electrical and Electronics Engineering, Australia*, 9(1/2), pp. 1–10.
- XXVII. Thiele, A. Neville (1989). "An Improved Pre-Emphasis Standard for AM Broadcasting," *Journal of the Audio Engineering Society*, 37(11), pp. 934–939. Reprinted *Journal of Electrical and Electronics Engineering, Australia*, 1990, 10(1), pp. 12–19.
- XXVIII. Thiele, A. Neville (1989). "Measurement of the Thiele-Small Parameters of Tweeters," *Journal of Electrical and Electronics Engineering, Australia*, 9(4), pp. 186–199.
- XXIX. Thiele, A. Neville (1992). "An Improved Law of Contrast Gradient for High Definition Television," *Journal of Electrical and Electronics Engineering, Australia*, 12(4), pp. 394–402. Reprinted *Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers*, 1992, 103(1), pp. 18–25.
- XXX. Thiele, A. Neville (1993). "Force Conversion Factors of a Loudspeaker Driver," *Journal of Electrical and Electronics Engineering, Australia*, 13(2), pp. 129–131. Reprinted *Journal of the Audio Engineering Society*, 1993, 41(9), pp. 701–703.
- XXXI. Thiele, A. Neville and Burton, John (1993). "Standards in Digital Video," *Journal of Electrical and Electronics Engineering, Australia*, 13(3), pp. 133–139.
- XXXII. Thiele, A. Neville (1993). "Research and Development in Digital Video and Multimedia in Australia," *Journal of Electrical and Electronics Engineering, Australia*, 13(3), pp. 140–152.
- XXXIII. Thiele, A. Neville (1993). "Digital Audio for Digital Video," *Journal of Electrical and Electronics Engineering, Australia*, 13(3), pp. 246–256.
- XXXIV. Thiele, A. Neville (1997). "Precise Passive Crossovers incorporating Loudspeaker Driver Parameters," *Journal of the Audio Engineering Society*, 45(7/8), pp. 585–594.
- XXXV. Thiele, A. Neville (2000). "Loudspeaker Crossovers with Notched Responses," *Journal of the Audio Engineering Society*, 48(9), pp. 786–799.
- XXXVI. Thiele, A. Neville (2000). "An Air-Cored Autotransformer with Nearly Equal Decibel Taps," *Journal of the Audio Engineering Society*, 48(12), pp. 1194–1215.
- XXXVII. Thiele, A. Neville (2002). "Estimating Loudspeaker Response when the Vent Output is Delayed," *Journal of the Audio Engineering Society*, 50(3), pp. 173–175.
- XXXVIII. Thiele, A. Neville (2002). "A Passive Crossover System of Order 3(Low-Pass) + 5(High-Pass) Incorporating Driver Parameters," *Journal of the Audio Engineering Society*, 50(12), pp. 1030–1038.
- XXXIX. Thiele, A. Neville (2007). "Implementing Asymmetrical Crossovers," *Journal of the Audio Engineering Society*, 55(10), pp. 819–832.
- XL. Thiele, A. Neville (2010). "Closed Box Loudspeaker with a Series Capacitor," *Journal of the Audio Engineering Society*, 58(7/8), pp. 577–582.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2: МЕМОРИАЛЬНЫЕ ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ



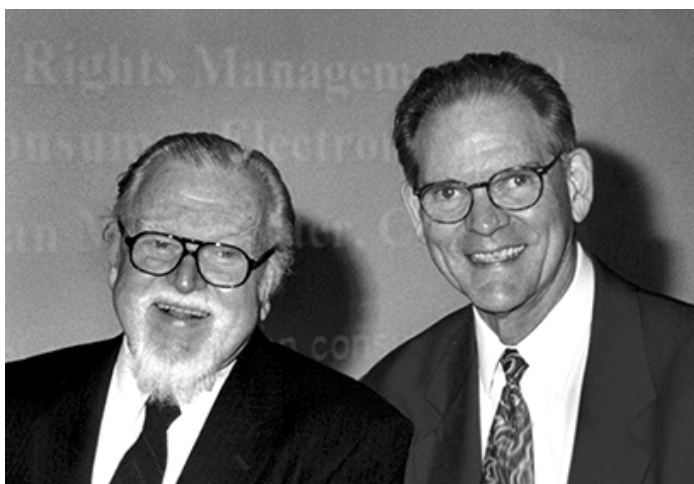
Проф. Тиль получает звание почетного доктора в Университете Сиднея (2008)



Dr. Richard H. Small



Dr. Albert Neville Thiele



Dr. Richard H. Small & Dr. Albert Neville Thiele