

Одним из очень важных показателей работы динамической головки громкоговорителя (динамика) наряду с векторной точностью (соответствие полученного фронта импульса формообразующей исходного сигнала) и амплитудной точностью, охарактеризованной Амплитудно-частотной характеристикой динамика, в моем понимании, очень важное значение имеет и переходной процесс - возврат подвижной системы после импульсного воздействия в исходное состояние. В этом процессе возврата и установления в состояние покоя диафрагмы динамика участвует как минимум ☺ три составляющих.

1. Механическая упругость подвеса излучающей диафрагмы, которая суммируется из упругости подвеса (сурраунд) и центрирующей шайбы (спайдер). Эти две пружины в сумме образуют механическую упругость подвеса и от соотношения этой упругости и массы подвижной системы зависит как быстро подвижная система вернется к начальному положению. Так как масса подвижной системы инерционна – то процесс установления представляет собой аperiodические колебания, где подвижная система в течение некоторого времени с убывающей амплитудой перемещается как выше нулевого состояния так и ниже. Чтобы сократить время таких колебаний – в подвес вводят дополнительные потери на трение в материале подвеса, которые работая как амортизатор гасят энергию колебаний, за счет чего уменьшается время и амплитуда этих самых аperiodических колебаний и улучшаются переходные характеристики системы в целом.

1.1 Отрицательной стороной такого метода компенсации колебаний переходных процессов является необходимость затрат энергии на преодоление этой упругости и трения при подаче полезного сигнала. Эти потери частотно зависимы и особенно могут проявить себя на midбасовых частотах в виде потери детальности малых уровней. Так как в данном частотном диапазоне частоты имеют довольно большие периоды колебаний. А потери на трение в подвесе зависят именно от времени - частоты. Кроме того, и величина линейного перемещения таких подвесов мала и как следствие – происходит изменение резонансной частоты динамика при различной подведенной мощности.

1.2 Такие системы применялись в Немецкой школе 40х годов, при этом, масса подвижной системы делалась как можно меньше, а следовательно и упругость подвеса для такой системы тоже нужна не высокая и потери на трение минимальные. Самым лучшим примером такого подхода был динамик Телефункен, который при диаметре излучающей диафрагмы около 260см имел полную массу подвижной системы в районе 12 грамм. Современные же динамики для профессиональной школы имеют обычно 30-40 граммов минимум при таком диаметре и супержесткие подвесы. Звучание подобных систем в профессиональных инсталляциях обычно очень чистое, с мощным и динамичным нижним басом но с малой детальностью на midбасе, бархатности и хрипотцы голоса Луиса Армстронга на таких системах услышать трудно. Вибрато в таких система как бы компрессировано - подчищено.

2. Нагрузка среды (Аир лоадинг) за задней (иногда и перед передней) стенкой диафрагмы громкоговорителя. Это дополнительная пружина и(или) масса или волновое сопротивление в различных конструкциях.

2.1 Различные виды рупорных и лабиринтных нагрузок. Рупор это резонансный фильтр импеданса – он изменяет сопротивление среды излучению от задней стороны диафрагмы и делает его частотно-зависимым, увеличивая нагрузку на диафрагму на некоторых частотах – тем самым по сути увеличивая «пружину» на данной частоте на которую настроен резонанс. Это демпфирование улучшает переходные характеристики системы и увеличивает отдачу на низких частотах за счет использования энергии, которая излучается от задней поверхности диафрагмы громкоговорителя.

компрессионный подвес – Впервые предложенный в полном виде Эдгаром Вильчуром и воплощенный в АС AP-1 Американской компании Акустик Ресерч. Суть метода заключается в герметичном закрытом ящике некоторого объема за задней поверхностью диафрагмы. Этот объем воздуха работает как дополнительная пружина при сжатии и возвратная пружина после окончания импульсного воздействия. Эта пружина менее инерционна чем упругий подвес диафрагмы, более

линейна по величине перемещения и обладает лучшими переходными характеристиками нежели системы для открытых экранов с собственно достаточными жесткими подвесами. Но все это верно для подвижных систем с небольшим весом подвижной системы. В погоне сделать маленький ящик с глубоким басом, производители делают супер-тяжелые диафрагмы и эффективность такой воздушной пружины недостаточна для быстрого возврата подвижной системы в состояние покоя и быстрого успокоения – приходится и подвес ужесточать и мириться с затянутыми переходными процессами, маскируя их сверхнизкой частотой такого вуууфера и прямой АЧХ.

Механическое демпфирование подвижной системы дополнительными к ЗЯ резонаторами. Которые так же как и рупор с одной стороны увеличивают КПД системы за счет использования энергии НЧ от тыльной стороны диафрагмы динамика, и при этом улучшают демпфирование системы за счет увеличения массы динамически присоединенного воздуха к подвижной системе. Но при этом, ухудшаются импульсные характеристики системы, так как в систему добавляется инерционность и собственно искажения в переходных процессах этих резонаторов. Самый худший вариант такого оформления ФИ резонатор гельмгольца – где энергия от задней поверхности диафрагмы излучателя передается через изменение давления в ящике. Плюс сама инерционность резонатора и плюс увеличение времени передачи фронта звукового давления в ящике при использовании плотного заполнения звукопоглощающего материала, скорость распространения фронта звуковой волны в котором в два раза медленнее чем в воздухе.

3. Вид пружины - это собственные пружинные свойства катушки громкоговорителя.

Этот вид демпфирования вызван генерацией импульса противо-ЭДС, который образуется при движении катушки в постоянном магнитном поле при импульсном воздействии полезного сигнала (ток в системе катушка – выходное сопротивление усилителя при «сливе» импульса противо-ЭДС через выходное сопротивление усилителя) И величина этой возвратной пружины напрямую зависит от индукции в зазоре и длины проводника катушки. Кроме того, очень большое значение в этой системе играет и «выходное сопротивление» такого генератора – это импеданс катушки громкоговорителя. И на самой критической частоте – резонансной, этот импеданс имеет огромный пик и эффективность пружины уменьшается с ростом импеданса. А ведь при достаточно мощном моторе (магнитной системой в связке с катушкой) такая пружина намного линейнее, и быстрее и мощнее чем все виды механических подвесов.

Таким вот образом, после почти пяти лет использования широкополосной системы с жестким подвесом, упругости которого достаточно для работы в открытых оформлениях, да плюс к тому еще и нагрузка в виде четвертьволнового резонатора Войта, я после долгих сравнительных прослушиваний пришел к необходимости смены религии - к «компрессионным» системам, преимущества которых так долго не видел за тем суррогатом 12 дюймовых динамиков с чувствительностью 85дб на ватт и тяжеленным диффузором для установки в маленькие ящики, которые в обилии доступны в России и были доступны в СССР.

Эра золотого века высокочувствительных, в том числе и широкополосных систем прошла в 60х годах, когда массовое производство и маленькие ящики породили класс систем со слабыми моторами и тяжелыми подвижками, которые имели отличную АЧХ, суперглубокий низ и маленькие габариты. Но зачастую звучание отвратительное, нединамичное и не детальное. Пример именно такого подхода, да еще и убогого исполнения с диким разбросом параметров – Советские С-90.

Но на западе, в 60х годах, делали совсем другие системы.

Самым типичным представителем динамиков того времени были широко известные модели динамиков английской школы.

Goodmans Axiom 301

Tannoy Monitor 12 Gold

И малоизвестные динамики Wharfedale SUPER 12 RS/DD

Безусловно и Американская школа Альтек Лансинг и ЖБЛ шли абсолютно по тому же пути. Жаль нет доступа к Американскому вторичному рынку – дорогое удовольствие доставки.

Типичные параметры таких динамиков.

1.6-1.7 тесла в зазоре, резонансная частота около 30 герц, масса подвижной системы 25-30 граммов, (компрессионный) мягкий подвес, и мощнейший мотор. И типовой ящик для таких систем был 4-6 кубических футов (примерно 100-150 литров примерно). При этом, такой ящик имел либо классический щелевой резонатор гельмгольца либо в дорогих системах очень экзотическое оформление «апериодическая мембрана» либо вообще рупорную нагрузку как в легендарных акустических системах Танной. По другому, этот же вид нагрузки называется Variovent, ARU, DP, Aperiodic membrane... у разных фирм по разному, но суть - одна. Ни в какой литературе, включая патенты этих фирм нет описания электрической модели – аналога этого вариовента. Расчета такой нагрузки тоже нет. Единственное, у всех одинаковое конструкционное решение – это отверстие или серия отверстий или щелей в стенке АС общей площадью от 20 до 80 процентов от эффективной площади излучающей поверхности диафрагмы громкоговорителя, на входе в которое помещена ткань или иное волокнистое вещество или нетканый материал, имеющий высокое сопротивление продуву воздуха. Каждая конкретная фирма давала абсолютно конкретные размеры и материал такой мембраны для своих динамиков, зачастую, сами изготавливали и продавали как опцию. Видимо, и размер и материал подбирался экспериментальным путем. Что же дает такое оформление, вернее вид нагрузки.

Это прежде всего звучание как в ЗЯ. ЗЯ при всех достоинствах имеет один недостаток – при установке громкоговорителя в ЗЯ растет резонансная частота. Снижается нижняя воспроизводимая такой системой частота. Пик импеданса тоже растет и теряется контроль мотором такой подвижной системы на возврате. Вариовент, в теории ☺, снижает резонансную частоту такой системы и сглаживает пик резонанса, возвращая контроль (пружинный возврат и успокоение) мотору. При этом, и объем ящика получается относительно небольшой и низ достаточно глубокий. Нижняя граничная частота большинства систем 60х годов была в районе 35-40 герц в ящиках 4-6 кубических футов с вариовентом. Практически сказочные обещания.

Но это достаточно большие ящики а маркетинг требовал большего. Развитие транзисторной схемотехники и мощные усилители позволили маркетологам пойти по пути минимизации АС за счет снижения чувствительности – ослабления мотора и увеличения массы подвижной системы. А малая чувствительность компенсируется мощным усилителем. Такие системы по моим ощущениям дают большую громкость, но очень медленные и не детальные. Может и неплохо для электронной музыки.. но для живой музыки с большим динамическим диапазоном и обилием деталей малых уровней такие системы отыгрывают очень плохо. Достаточно послушать контрабас и вообще все джазовые и блюзовые системы на таких глушнях и все становится понятно. Но эту разницу познаешь только в сравнении. А приходишь в магазин и когда две АС 120 и 40 литров имеют одинаковый показатель нижней граничной частоты и АЧХ, при этом маленькая еще и 300 ватт, а большая 25... и стоит раз в пять меньше....то не задумываясь берешь новую, маленькую «хАрошАю». В результате продается в разы больше таких малышей и прибыль растет.

А вот когда слушает систему 120 литров ЗЯ с чувствительностью под 96дб на ватте... и 45литров с динамиком 85дб на ватте+ ФИ... вроде бы и последняя 20 герц дает.. а звучание баса в ЗЯ ни с каким ФИ не сравнить.

Но вернемся к Вариовенту.

Уж больно сказочные характеристики обещает такая система. Никакая программа – симулятор не может эмулировать работу такой системы. Да и динамики для таких систем редкость и дорогостоящая редкость. А современный радиолюбитель пока не увидит красивые результаты в эмулирующей программке в железе ничего делать не будет.

Но мы не привыкли отступать. Кто не рискует – тот слушает С-90 и утешает себя 30герцами нижней граничной частоты и ровной АЧХ.

Читаем мат. часть – в основном это рекламные буклеты и скудные технические описания компаний Гудманс, Варфдейл, Динаудио... пара патентов 60х годов, где описываются общие принципы без расчетов и конкретных материалов. Путь, который я вижу - это простое копирование конструкций этих фирм, замеры и эксперименты, попытка систематизировать получившиеся результаты. Главное начать. Тут главное - динамики. Заграница нам поможет ☺.

Впервые, информацию о работе распределенного порта я нашел в книгах Артура Бриггса Sound Reproduction 1956 года выпуска. Опять таки, изделия уважаемой мною компании Хелиум тоже используют таинственный принцип вариовента.. Но нигде, кроме патента Тэда Джордана (Гудманс), да и в самом патенте нет никаких теоретических основ расчетов подобного оформления.

Нет теории, одни практические рекомендации, основанные на результатах практических экспериментов. Зачастую, результаты, полученные в ходе практических экспериментов, расходятся с компьютерным моделированием работы подобных конструкций. По сути, Бриггс делал распределенный порт ФИ с общей площадью порта примерно 30-40 процентов от эффективного диаметра излучающего конуса динамика. При этом, глубина порта равна толщине стенки и если смоделировать такой ФИ в любой программе, использующей модель Тилля-смолла о поведении динамика в ЗЯ или ФИ – то получится абсолютно нелепая система с задранным резонансом в достаточно высокой области. НО фотографии замеров импеданса и АЧХ говорили о совсем другом эффекте. Нет двух горбов классического ФИ – резонанс динамика смещается в более низкочастотную область и размазывается в пологую полочку с невысоким значением импеданса. Более подробное изучение книг Бриггса, показало, что он в некоторых проектах **полностью** заполнял корпус довольно плотно звукопоглотителем... В классическом понимании ФИ, должен существовать некий незаполненный ватой канал от динамика к ФИ. В варианте же Варфдейла, заполнялся **полностью весь объем**. Безусловно такой «воздух» в ящике обладал куда большим сопротивлением, кроме того, несколько конструкций инсталляционных комплектов Варфдейла вообще не имели заполнения, НО вскользь, упоминается, что на входе порта наклеивается тряпка типа тонкой стеклоткани.

Варфдейл и Гудманс 60ых - классический пример когда акустику настраивали не по упрощенным и идеализированным параметрам Тилля-Смолла (их тогда еще не написали и не опубликовали), а путем примерных вычислений и долгих практических экспериментов. При этом, нельзя сказать, что не было измерительной базы. Приборы были высокоточные, может не столь автоматизированные, и без интуитивно понятного интерфейса как Виндовс ☺, но все же, именно опытным путем и Гудманс и Варфдейл пришли практически к одному и тому же виду оформления. DP (Distributed Port) у Wharfedale и ARU акустическое сопротивление у Goodmans, кроме того и Dynaudio тоже ничего не объясняя, по понятиям Гы ГЫ ГЫ... тоже делает тоже самое – Вариовент или аperiодическую мембрану..... Ну и наши Хелиум тоже применили вариовент после долгих экспериментов и ехидно хихикают при сравнении их баса с конкурирующими изделиями.

Так как в моем распоряжении есть отличная пара 12 широкополосников Варфдейла (глубокое КУ заграничным сподвижникам) и рекомендации 60х годов по его применению – я провел серию экспериментов. Диаметр порта является относительно большим и длина туннеля по существу равна толщине панели, фактически такой классический ФИ резонатор без тряпок имеет массу весьма низкую, что приводит к резонансу в ящике, который намного выше чем разумная частота настройки для данной системы, это означает что система, оснащенная таким портом действительно имела бы очень странную горбатую отдачу и высокую резонансную частоту, если бы не факт, что:

С этим «резистором» потери чрезвычайно низки, полная добротность Qp **ОЧЕНЬ** низка (приблизительно 1-2 максимум), и таким образом действие порта в близи резонанса подвижной системы громкоговорителя эквивалентно нагрузке гораздо большего объема воздуха. Результат - выраженная система с относительно невысоким Fb (за счет присоединения такого балласта) для данного объема ящика АС, который имеет очень низкий Qb.

Какое преимущество этот вид нагрузки имеет? Хорошо согласуется, с нормальными басовыми громкоговорителями с мощными моторами, и это маленький ящик. Этот вид оформления не имеет никакого преимущества по эффективности перед должным образом разработанными АС типа ЗЯ. Но и недостатков использования энергии от задней стороны диффузора, как в классическом ФИ, тоже нет.

От размышлений к практике.

Итак, динамик Wharfedale SUPER 12 RS/DD имеет примерно ☺ следующие параметры Тия-Смолла:

| Parameter | Value | Description |
|-----------|-------|-------------|
|-----------|-------|-------------|

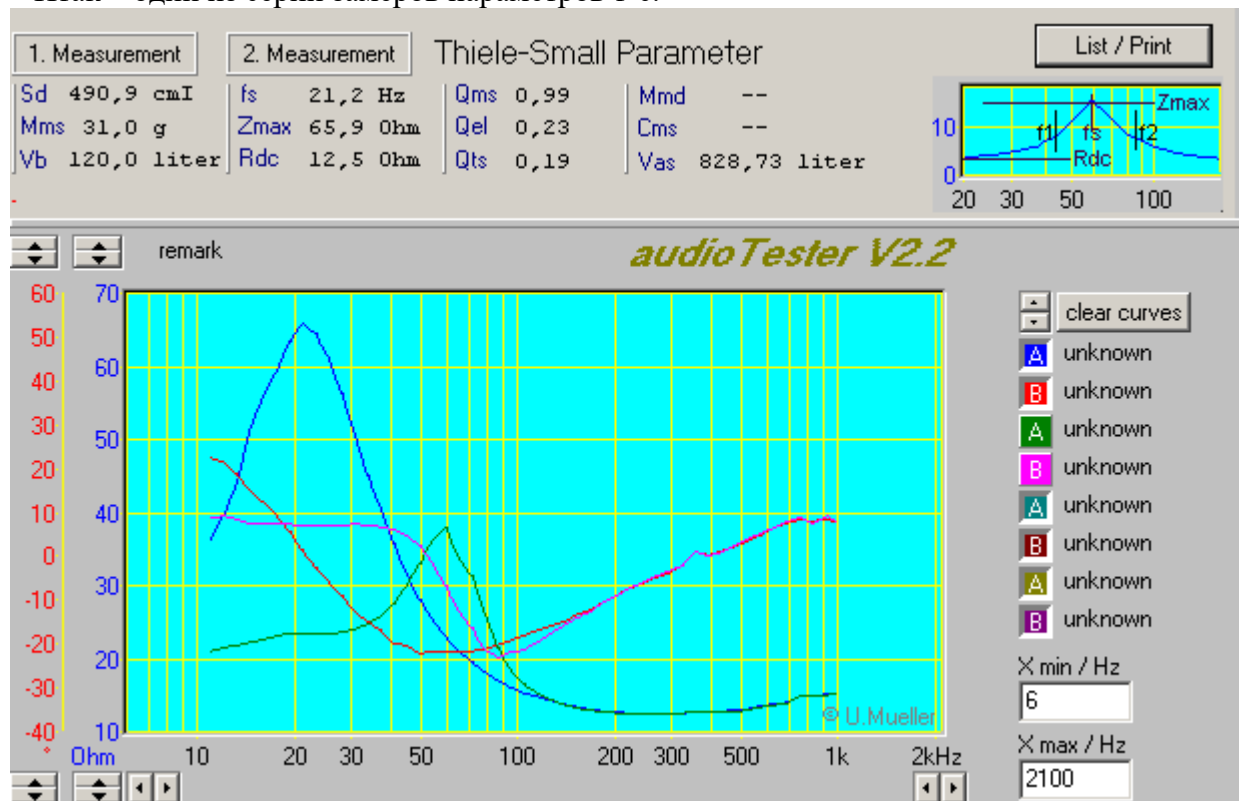
| | | |
|-----------|----------|---|
| f_s | 21,2 Hz | free air resonance frequency |
| Z_{max} | 65,9 Ohm | impedance at resonant frequency |
| R_{dc} | 12,5 Ohm | DC-resistance |
| Q_{ms} | 0,99 | mechanical Q of the speaker |
| Q_{el} | 0,23 | electrical Q of the speaker |
| Q_{ts} | 0,19 | total Q of the speaker |
| M_{md} | 24 | mass of driver's cone |
| C_{ms} | 2 | compliance of driver's suspension |
| R_{ms} | 3,5 | The mechanical resistance of the driver resulting from its suspension losses. |

V_{as} 682 liter compliance volume of the speaker

V_{as} was determined with a test cabinet ($V_b=120,0$ liter)

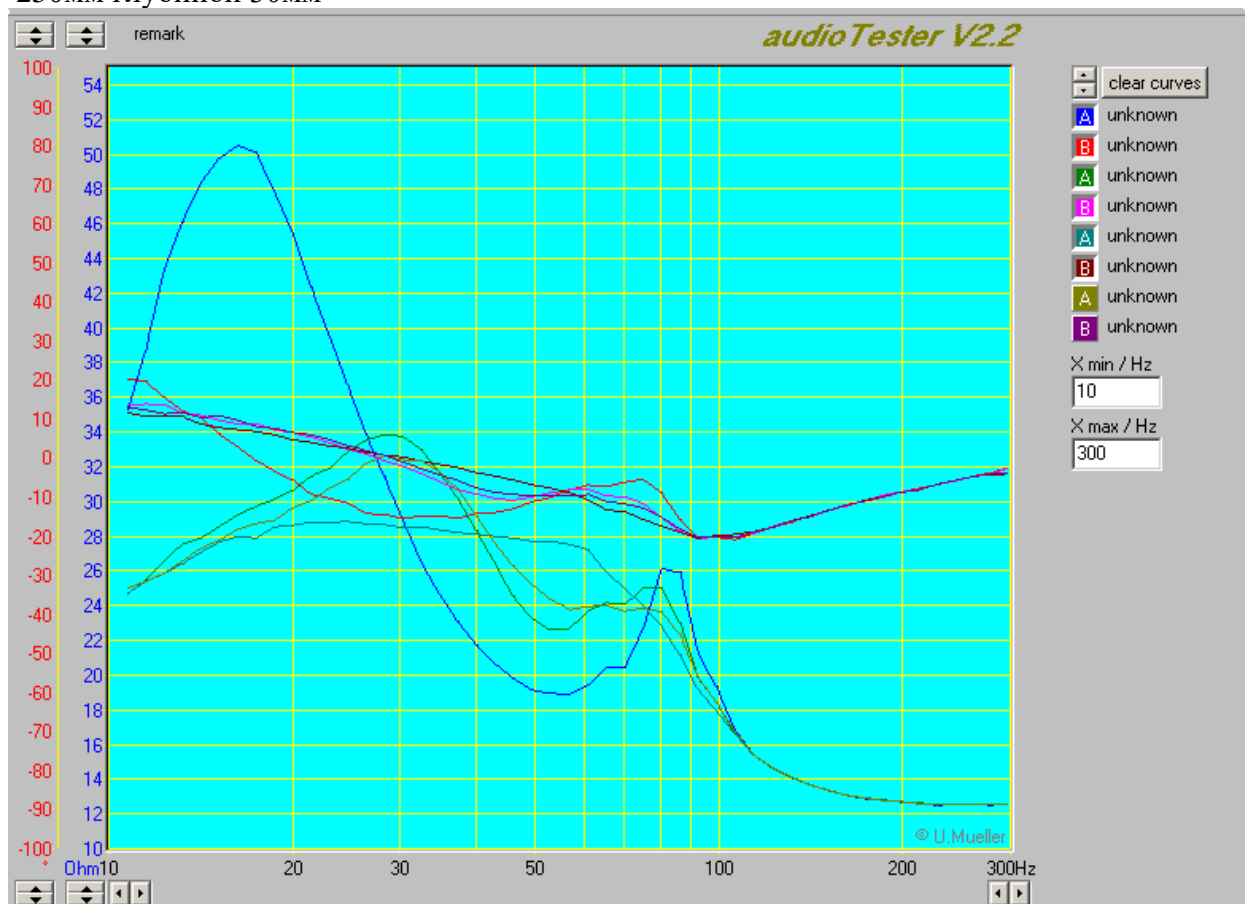
Вроде такой страшный эквивалентный объем ☺)) но динамику уже 30 лет и резонансная частота с 31 герца ушла на 22.. ну и измерительный ящик 120 литров вместо рекомендуемых 60 тоже может дал погрешность, но это не главное – главное практические эксперименты.

Итак – один из серии замеров параметров т-с.



Все как в программе – симуляторе. Синий – фриаэр, зеленый – 3я 120 литров с соответствующими линиями фазы (красный для фриаэра). К сожалению, я побоялся провести измерение массы методом добавочной массы – побоялся приклеивать груз чем-либо к такому конусу.. Да и измерения в области 5-10 герц для моего компьютера и измерительного усилителя на TDA2050 тоже будут не очень точными.

Далее пошла серия экспериментов в ящике 120 литров с распределенным портом... 12 щелей 6*250мм глубиной 30мм



Первый замер без тряпок – Синий все как и обещал БассБокс 6 про ☺)) с точностью до 10%. Тут я и задумался на счет правильности пути.....но мы не привыкли отступать, перерыв все скучные очерки и проанализировав попытки выудить хоть какую-то информацию у Игоря из Хелиум (жаль, он не стал раскрывать коммерческих секретов) предположил, что все дело в тряпке и (или вате) – и пошли разные тряпки на вход порта..

Первый синий – без тряпок, ужос – в газенваген....

Второй – чисто зеленый с обычной ХБ тканью..

Третий – «морской волны» с одним слоем нетканного полотна типа «новогодняя скатерть одноразовая» прогресс на лицо..

И вот, на 8мом экземпляре ткани получилась крайне интересная картинка.

Четвертый график – цвета «хаки».. Ткань подкладочная, синтетика с простеганным тонким слоем синтепона...

Опаньки, а вот оно работает, и это все без заполнения ватой корпуса.

И обратите внимание. Что происходит с кривой фазы...

Кривая импеданса как и обещал Бриггс в начале 60х годов, представляет собой пологую полочку от 15 до 60 герц... одну, да еще такую низкую по абсолютному значению импеданса... в районе 28 ом для 12 омного динамика. Кривая фазы пересекает 0 в районе 30 герц, второго излома нет...

Что же, на данном промежуточном этапе самое время вернуться к попыткам осмысления полученных результатов.

Как следует из описания патента Goodmans на ARU,

Согласно заявлению на изобретение, данный метод заключается в установке на какой либо стенке (стенках) ящика акустической системы, акустического сопротивления, которое представляет собой в варианте Гудманс рамку, в которую вставлены две перфорированные стенки(решетки гриль), между которыми помещен волокнистый материал с высоким показателем сопротивления воздуху за счет трения волокон. Согласно патенту, размер порта ☺)))))) выбран таким образом, чтобы эффективно демпфировать подвижную систему динамика, что снизит как резонансную частоту, так и искажения. При этом, собственно излучение от такого порта будет пренебрежительно мало. Да уж, повторяйте люди добрые...

В подобной конструкции, на низких частотах, масса воздуха, сосредоточенная в порту добавляется к массе подвижной системы (динамически соколеблющаяся масса воздуха), что и снижает частоту основного механического резонанса подвижной системы. На частотах, выше частоты основного резонанса, масса воздуха в таком «объеме» слишком инертна для таких скоростей и система работает как обычный ЗЯ. На более низких – опять таки объемы перемещения слишком высоки и это опять ящик небольшого размера ☺.

В патенте отсутствует точная математическая модель данного вида нагрузки. Для динамика с эффективным диаметром излучающей диафрагмы в 10 дюймов (25.4см эффективного диаметра, что соответствует 12 дюймовому динамику) описывается порт площадью в 16 квадратных инчей, это примерно как я понимаю 103см квадратных сантиметров. И соответственно около 22 процента от эффективной площади излучающей поверхности диафрагмы 12 дюймового динамика (490кв см для 25см диаметра). В варианте Бриггса, порт занимает 35 % от эффективной площади излучения. Далее – в чертежах АС для динамиков Гудманс использует АРУ с площадью от 50 до 80 % от эффективной излучающей площади динамиков – видимо меняя плотность материала мембраны. Возможно, что именно определение «сопротивления потоку воздуха» материала резистора и определяет геометрические размеры порта и вот его то и трудно смоделировать.

В общем, получается 20-50 процентов от эффективной площади, обязательно малые диаметры отдельных частей порта или размеры отверстий, формирующих порт (распределенный порт) и дальше уже подбор тряпок или ваты по виду импеданса до оптимальной формы....

Хелиум использует Вариовент размером 10% от площади диффузора. При этом заполняет сильно синтепоном, видимо компенсируя малую массу воздуха в порту таким добавочным ПАСом...

А может быть, Бриггс нигде и не афишировал про вату и «тряпку» в порту, так как на Гудмансе, EDWARD JAMES JORDAN (Ted Jordan) запатентовал этот «резистор» в 1955 году (Гы гы гы) и порвал бы Артура понимаете ли Бриггса и его Варфдейл как Тузик грелку за такую тряпку...

Патент 55 года теперь как я понимаю публичный, и его можно использовать абы как заблагорассудится.

Дальше – уже практическая реализация в реальных корпусах с акустическими замерами и массовыми прослушиваниями ☺))). Чертежи начерчены, осталось за малым – напилить да собрать ☺))