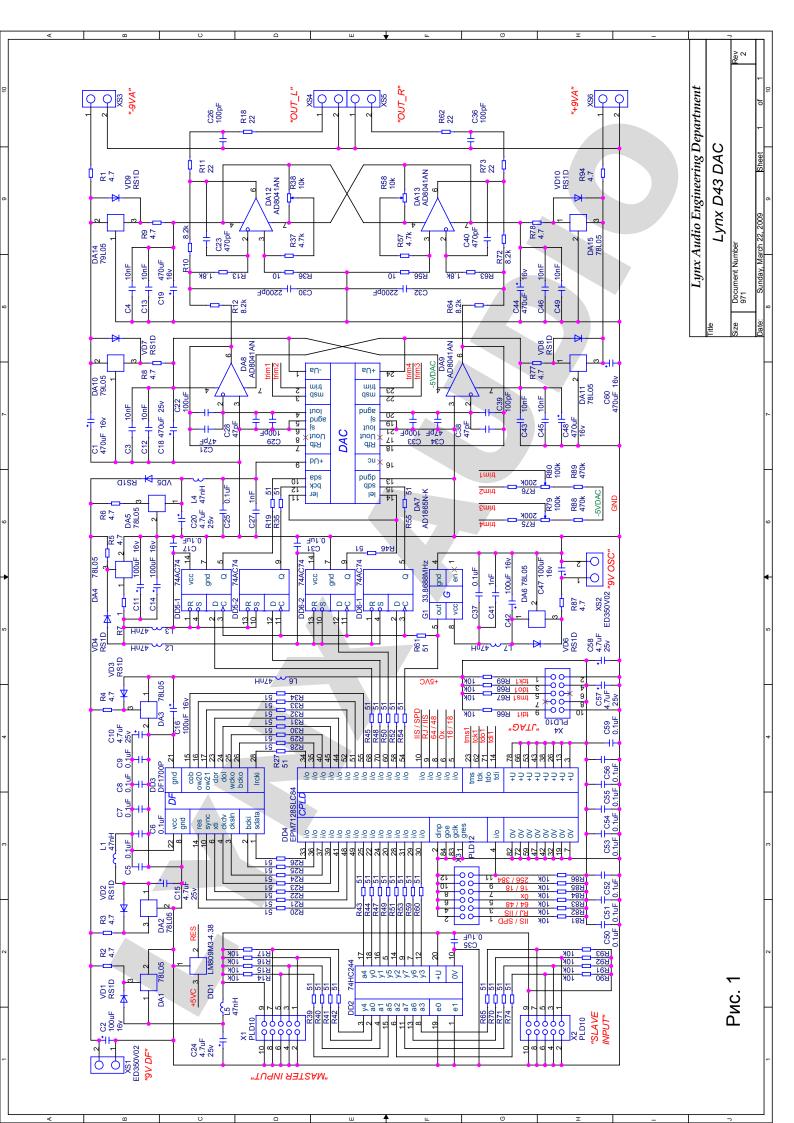
Модуль ЦАП Lynx D43. Антикризисный.

Глобальный экономический кризис, поразивший мир в последний год, не обошел стороной и Россию. Но, несмотря на то, что доходы многих слоёв населения существенно упали, тяга к прекрасному у людей сохранилась. Мы всё так же слушаем музыку, восхищаемся матерством исполнителей и хотим прочувствовать все эмоциональные оттенки музыкальных произведений.

Задачу достоверного воспроизведения музыкальной информации для формата успешно решают ЦАП Lynx7V3, Lynx D35 и Lynx D45, способные донести до слушателя самые тонкие оттенки и черты музыки. Но стоимость этих устройств весьма высока и, к сожалению, не все любители музыки могут позволить себе приобрести или изготовить подобные ЦАП. По многочисленным просьбам, я провел анализ возможностей построения менее дорогостоящего устройства, обеспечивающего сопоставимое качество звучания. Результатом этой работы стало появление рассматриваемого устройства – модуля ЦАП Lynx D43. В новом ЦАП была сохранена структура, наиболее полно отвечающая сложившемся и многократно подтвержденным на практике принципам построения высококачественных звуковых ЦАпреобразователей, но устранены наиболее дорогостоящие и/или дающие небольшой результирующий эффект решения. В частности, было принято решение отказаться от гальванической развязки цифровой и аналоговой частей, многослойной платы и применения дорогостоящих ИОН и дискретных стабилизаторов. В аналоговой части используется невысокое напряжение питания +/-5В, существенно расширяющее круг возможных высококачественных кандидатов на роль ОУ преобразователей І/U и восстанавливающего фильтра. Для бОльшей универсальности и простоты применения ЦАП оснащен двумя неэквивалентными ТТЛ входами, один из которых – типовой интерфейс IIS с обратной синхронизацией, полностью соответствующий ТТЛ-входам всех предыдущих моделей ЦАП Lynx, а второй – IIS с подачей синхросигнала от внешнего источника, используется при работе ЦАП с любым стандартным SPDIF – приемником. При этом ЦФ тактируется мастерклоком, приходящим от микросхемы приемника, а в регистрах пересинхронизации осуществляется асинхронный реклокинг сигналов управления ЦАП с относительно высокой частотой. При написании проекта ПЛИС была предусмотрена возможность применения как 18, так и 16-разрядных ЦАП, причем в плату непосредственно устанавливаются микросхемы ЦАП типа AD1865, а через переходник можно установить AD1851, AD1861, PCM56. Кроме того, имеется возможность разных режимов работы ЦАП, как с цифровым фильтром, так без передискретизации, в последнем случае в ПЛИС осуществляется синхронное поканальное разделение потока данных и корректное заполнение неиспользуемых разрядов ЦАП.

Принципиальная электрическая схема ЦАП Lynx D43 приведена на рис.1. Два входа устройства "Master Input" и "Slave Input" принимают сигналы ТТЛ/КМОП уровней, которые через буфер DD2 поступают в ПЛИС DD4, где осуществляется мультиплексирование входных сигналов, формирование необходимых сигналов управления для ЦФ и приведение выходных его сигналов либо сигналов непосредственно со входа (в режиме работы без ЦФ) к виду, необходимому для работы ЦАП. Регистр пересинхронизации выполнен на триггерах микросхем DD5 и DD6 и тактируется от генератора с малым уровнем джиттера G1. Кромке того, сигнал генератора поступает в ПЛИС, где из него формируются тактовые сигналы ЦФ и транспорта (последний подается на колодку "Master Input"). В режиме работы по входу "Slave Input" в качестве тактового сигнала ЦФ используется сигнал, поступающий с выхода мастерклока приемника SPDIF, а реклокинг выходных сигналов, поступающих на ЦАП, становится асинхронным. В качестве цифрового фильтра DD3 используется недорогой, но весьма качественный прибор DF1700 (SM5813), либо DF1704, устанавливаемый через дополнительный переходник.

Для преобразования цифрового потока в аналоговый сигнал применена известная и хорошо зарекомендовавшая себя микросхема 18-разрядного ЦАП AD1865 (DA7). Возможно применение и других, совместимых по питанию ЦАП: AD1861, AD1851, устанавливаемых через специальный переходник по две (вместо одной AD1865). ЦАП включен по типовой схеме с внешним ОУ преобразователя U/I и стандартными средствами подстройки линейности. Преобразование выходного тока в напряжение осуществляется каскадами на ОУ DA8 (DA9), а восстановление аналогового сигнала по Котельникову – активными фильтрами с МОС на ОУ DA12 (DA13). Для питания аналоговой части было использованы напряжения +/-5B. С одной



стороны, такое решение налагает достаточно жесткие требования на применяемые ОУ, но с другой, ввиду огромного ассортимента низковольтных ОУ с очень хорошими параметрами, позволяет повысить вариативность аналоговой части, не ограниченной в этом случае рамками 10...15 качественных высоковольтных приборов. Среди низковольтных приборов имеется большое количество просто великолепных ОУ, которые, при соблюдении ряда несложных условий обеспечивают отличные параметры и звучание. В авторском варианте применены AD8041 – весьма приятные широкополосные ОУ с хорошей линейностью и rail-to-rail выходом. В качестве альтернативы можно рассмотреть много разных приборов, в частности, AD8055, AD9631, OPA642, OPA655, LM6171, LT1363 и многие другие в DIP8 - корпусах либо в SO8 (через переходник, поставляется отдельно). Следует заметить, что при использовании ОУ с обычным выходом (не rail-to-rail) для исключения возможности роста искажений на больших уровнях сигнала, следует немного снизить (напр., до +/-2В) амплитуду выходного напряжения преобразователя I/U, включив параллельно конденсаторам C21+C22 (C38+C39) SMD-резистор сопротивлением 6.2кОм (можно вместо С21 (С38)). При работе в режиме без передискретизации частота среза восстанавливающего ФНЧ выше необходимой согласно т. Котельникова, и ступенчатый сигнал не будет сглажен полностью. При работе с ламповым последующим трактом эта особенность непринципиальна, поскольку ламповые аппараты в большинстве случаев сами выступают в роли весьма эффективных фильтров, а вот для полупроводниковых аппаратов, возможно, придется пересчитать величины емкостей или резисторов фильтра, либо использовать дополнительный фильтр.

Для получения нулевого потенциала на выходе ЦАП вне зависимости от величин напряжений и токов смещения конкретных экземпляров ОУ и ЦАП, в каскаде ФНЧ введена дополнительная цепь балансировки по неинвертирующему входу ОУ. Таое решение позволяет избежать привязки схемы и номиналов цепи балансировки к конкретному типу ОУ.

Питание схемы ЦАП осуществляется от четырех девятивольтовых источников. При этом каждый функциональный узел схемы питается от собственных локальных стабилизаторов. Для этой цели использованы приборы 78L05 (все положительные питания) и 79L05 (отрицательные аналоговые питания ЦАП и ОУ) производства КЕС. Эти стабилизаторы отличаются достаточно низким уровнем шума для приборов данного класса и хорошей реакцией на перепад потребляемого нагрузкой тока. Все стабилизаторы защищены от пробоя обратными диодами, а воизбежание самовозбуждения их выходы непосредственно не соединяются с пленочными и керамическими конденсаторами с низким импедансом на высоких частотах, а входы развязаны от первичных источников дополнительными резисторами.

Внешний вид смонтированной платы ЦАП Lynx D43 приведен на рис.2:

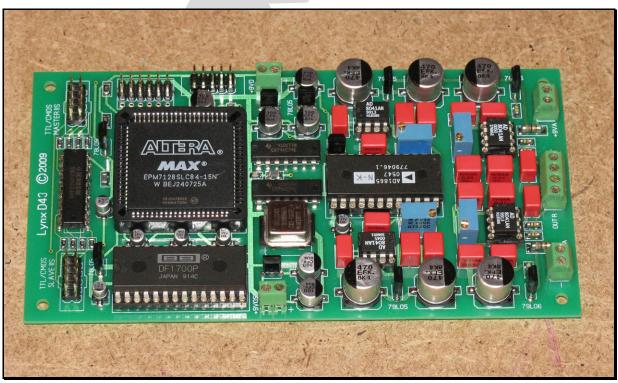


Рис. 2 Внешний вид платы ЦАП Lynx D43

Колодка управления режимами ЦФ и ПЛИС ЦАП Lynx D35			
Выводы колодки ХЗ	Функциональное назначение	Режим	
1 - 2	Выбор ведущего/ведомого входов	лог. $0 = master(X1)$ лог. $1 = slave(X2)$	
3 - 4	Выбор типа протокола	лог.0 = RJ лог.1 = I2S	
5 - 6	Выбор количества импульсов синхронизации записи	лог.0 = 48 лог.1 = 64	
7 - 8	Выбор режима работы	лог.0 = цифровая фильтрация, 8х лог.1 = без ЦФ, 1х	
9 - 10	Разрядность ЦАП	лог.0 = 18 лог.1 = 16	
11 - 12	Выходная частота тактирования источника сигнала по X1	лог.0 = 384Fs лог.1 = 256Fs	

Значению лог.1 соответствует разомкнутое состояние указанных выводов, лог. 0 — замкнутое. Управление возможно либо замыканием указанных выводов между собой, либо подача на нечетные номера выводов колодки сигналов управления от внешнего контроллера в ТТЛ/КМОП уровнях.

Конструктивно модуль ЦАП выполнен на двухсторонней печатной плате размерами 80 х 150 мм. В устройстве применены хорошо зарекомендовавшие себя и относительно легкодоступные компоненты: стандартные SMD резисторы и керамические конденсаторы типоразмера 0805 в цифровой части, резисторы MELF типа 0204 и пленочные конденсаторы Wima FKP2 в аналоговой. Все электролитические конденсаторы – SMD Panasonic FK. Многооборотные подстроечные резисторы Murata PV36W. В устройстве могут быть применены цифровые фильтры следующих типов: DF1700P, SM5813AP, SM5813APT (непосредственно), DF1704E (через переходник, поставляется отдельно). ЦАП AD1865N (с любым грейдом) может быть установлен в плату непосредственно, а приборы AD1851, AD1861 — через переходник (поставляется отдельно).

Питание устройства осуществляется от четырех стабилизированных (либо нестабилизированных, с емкостью конденсаторов фильтра не менее 4700мкФ на каждый выпрямитель) источников. Токи потребления не превышают 200...250мА для источника 9VDF, 15мА для источника 9VOSC, 25...35мА для источника +9VA и 15...25мА для источника -9VA.

Авторский экземпляр ЦАП Lynx D43 обладает следующими техническими характеристиками (при частоте дискретизации 44.1кГц с ведущего входа):

1) Номинальное выходное напряжение, соответствующее		
полной шкале преобразования, В (RMS)	2,12	
2) Относительный уровень шумов на выходе		
(при нулевом входном сигнале), дБ	ниже	-110
3) Относительный уровень гармонических искажений и помех		
в полосе частот 48 кГц тестового отсчетно – коррелированного		
16 - разрядного сигнала частотой 918.75 Гц полной шкалы, дБ	ниже	-92
4) Относительный уровень интермодуляционных составляющих, дБ	ниже	-92
5) Уровень помех в полосе 100 МГц на аналоговых выходах, дБ	ниже	-70
6) Динамический диапазон преобразования на уровнях -9020 дБ, дБ	более	100

Спектрограммы и осциллограммы выходных сигналов представлены на рис. 3...рис.18

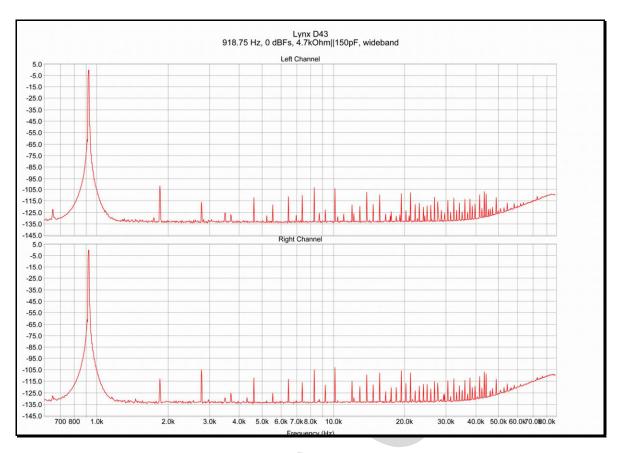
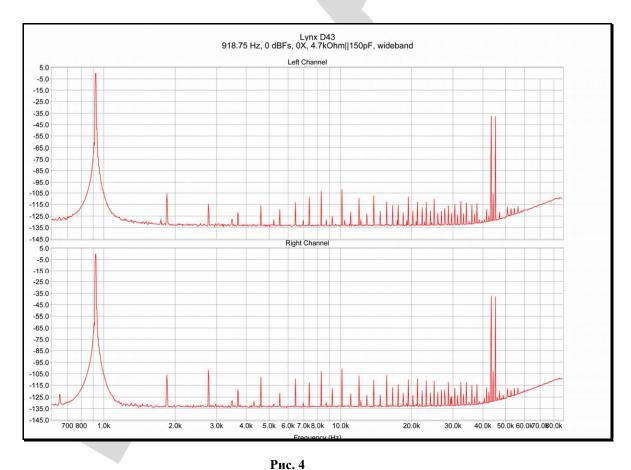


Рис. 3 Спектрограмма отсчетно — коррелированного сигнала частотой 918.75 Γ ц уровнем 0 дБ в полосе частот 90 к Γ ц в режиме работы с цифровой фильтрацией.



гис. 4
Спектрограмма отсчетно – коррелированного сигнала частотой 918.75 Гц
уровнем 0 дБ в полосе частот 90 кГц в режиме работы без цифровой фильтрации

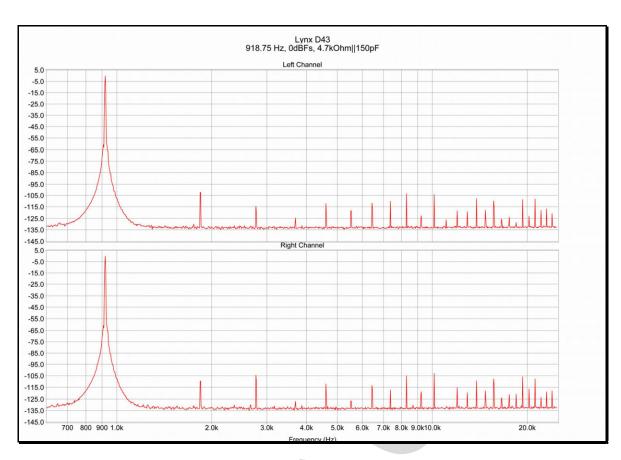


Рис. 5 Спектрограмма отсчетно – коррелированного сигнала частотой 918.75 Гц уровнем 0дБ в режиме работы с цифровой фильтрацией

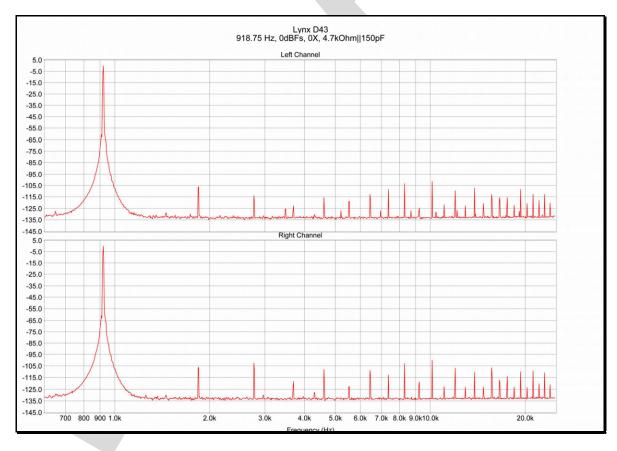


Рис. 6 Спектрограмма отсчетно – коррелированного сигнала частотой 918.75 Гц уровнем 0дБ в режиме работы без цифровой фильтрации

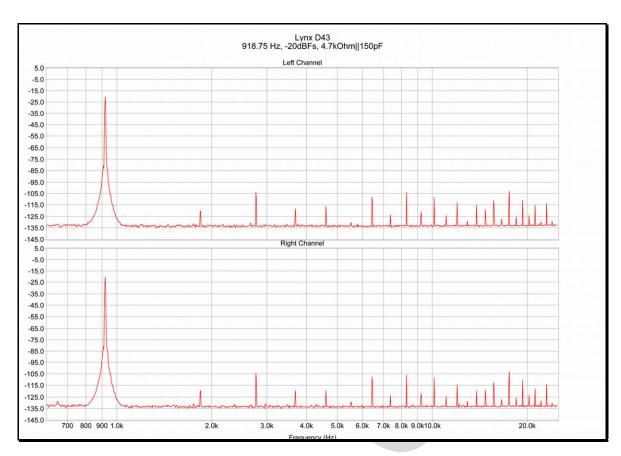


Рис. 7
Спектрограмма отсчетно – коррелированного сигнала частотой 918.75 Гц уровнем -20дБ в режиме работы с цифровой фильтрацией

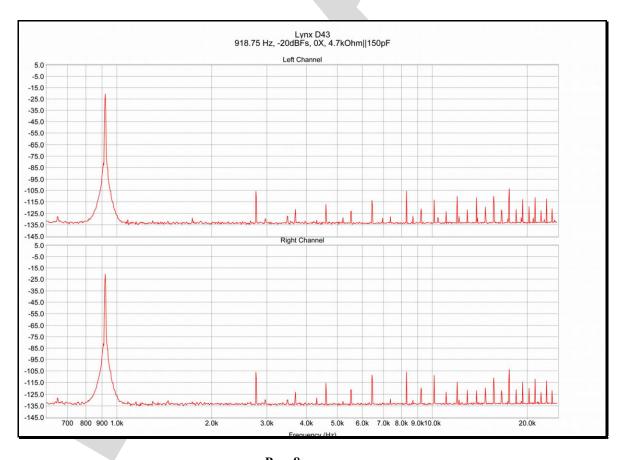


Рис. 8 Спектрограмма отсчетно – коррелированного сигнала частотой 918.75 Гц уровнем -20дБ в режиме работы без цифровой фильтрации

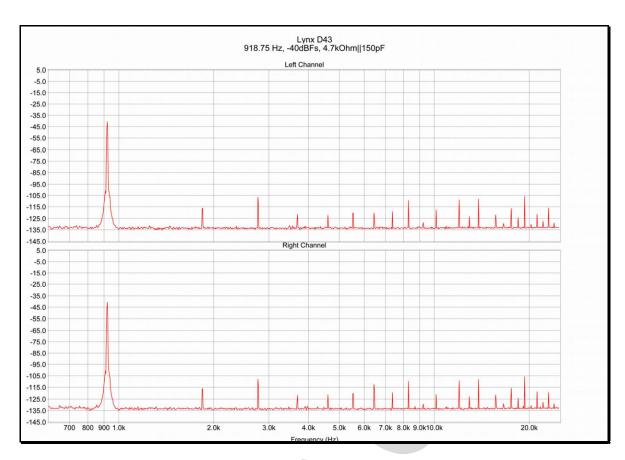


Рис. 9
Спектрограмма отсчетно – коррелированного сигнала частотой 918.75 Гц уровнем -40дБ в режиме работы с цифровой фильтрацией

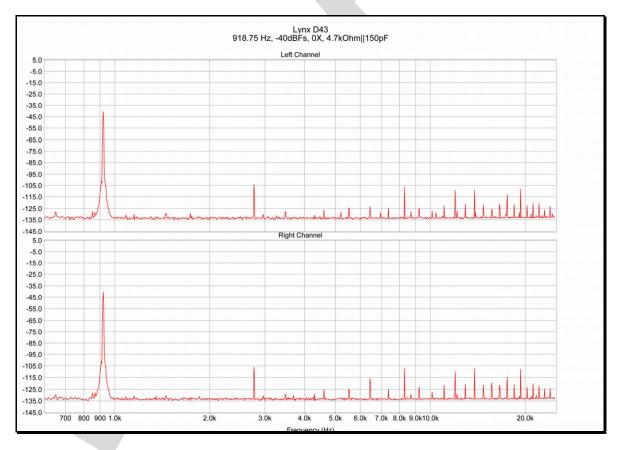


Рис. 10 Спектрограмма отсчетно – коррелированного сигнала частотой 918.75 Гц уровнем -40дБ в режиме работы без цифровой фильтрации

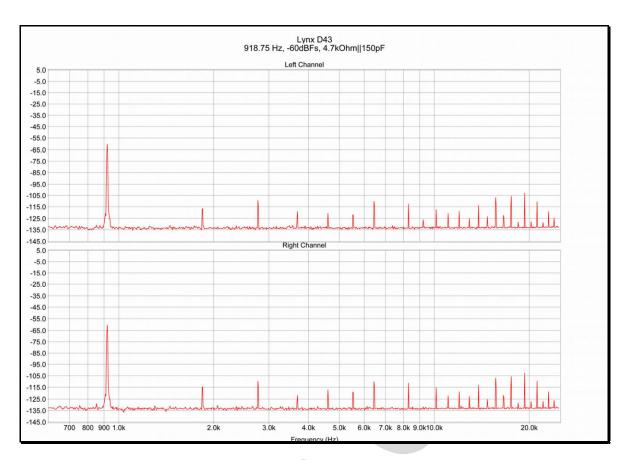


Рис. 11 Спектрограмма отсчетно – коррелированного сигнала частотой 918.75 Гц уровнем -60дБ в режиме работы с цифровой фильтрацией

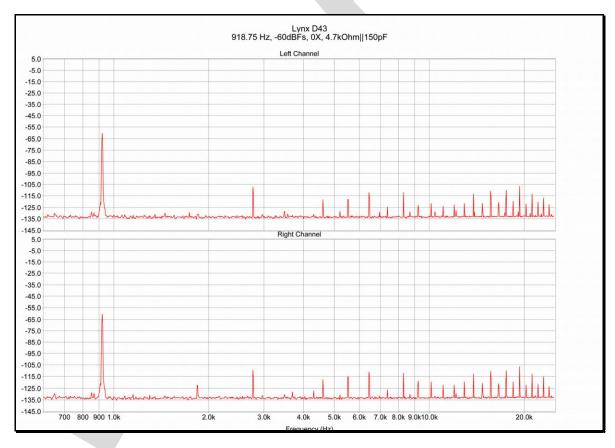


Рис. 12 Спектрограмма отсчетно – коррелированного сигнала частотой 918.75 Гц уровнем -60дБ в режиме работы без цифровой фильтрации

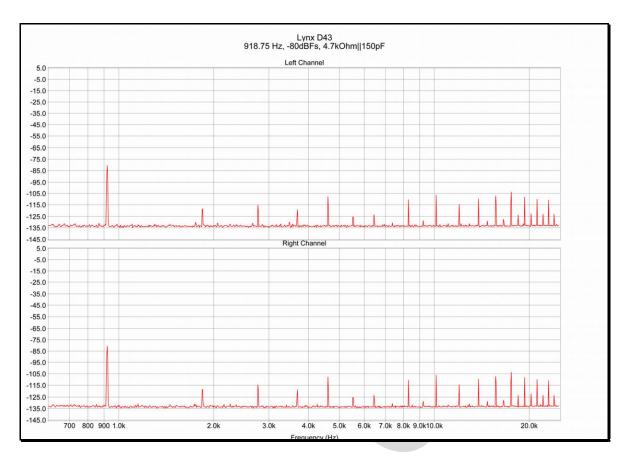


Рис. 13 Спектрограмма отсчетно – коррелированного сигнала частотой 918.75 Гц уровнем -80дБ в режиме работы с цифровой фильтрацией

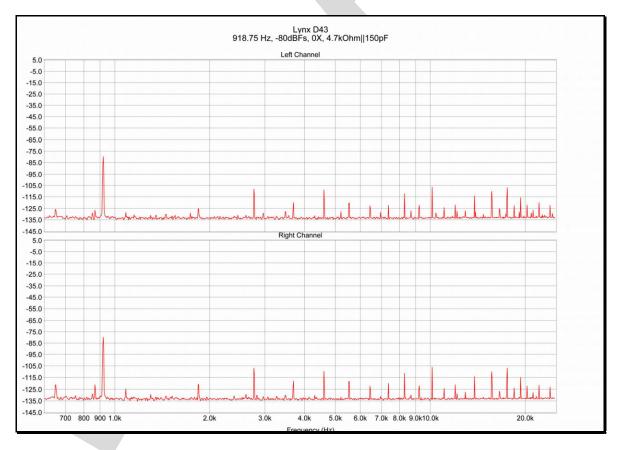


Рис. 14 Спектрограмма отсчетно – коррелированного сигнала частотой 918.75 Гц уровнем -80дБ в режиме работы без цифровой фильтрации

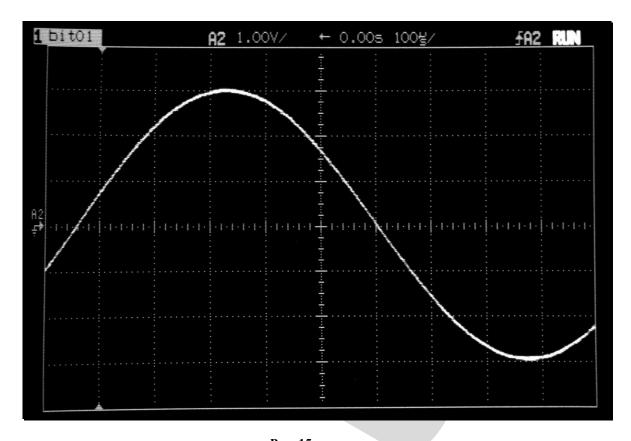


Рис. 15
Осциллограмма отсчетно – коррелированного сигнала частотой 918.75 Гц уровнем 0дБ в режиме работы с цифровой фильтрацией

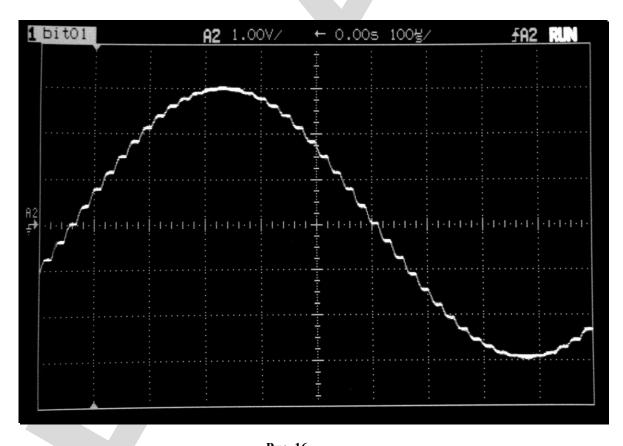


Рис. 16 Осциллограмма отсчетно – коррелированного сигнала частотой 918.75 Гц уровнем 0дБ в режиме работы без цифровой фильтрации

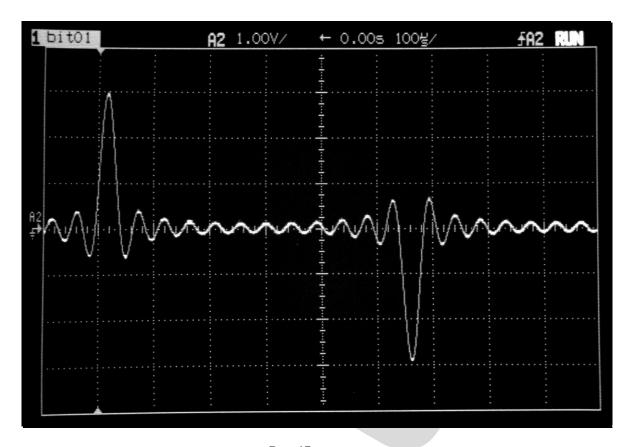


Рис. 17 Осциллограмма цифрового одноотсчетного дельта-импульса амплитудой ОдБ в режиме работы с цифровой фильтрацией

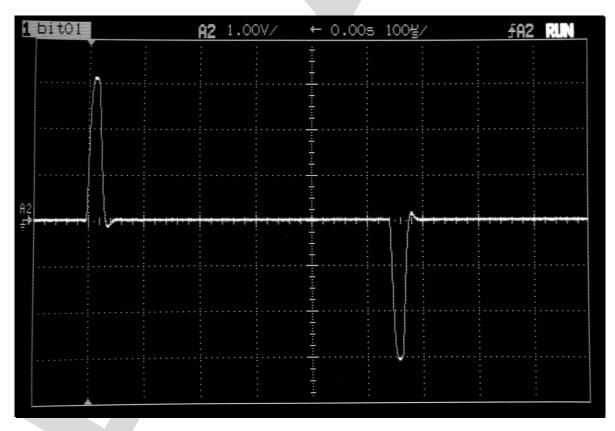


Рис. 18 Осциллограмма цифрового одноотсчетного дельта-импульса амплитудой 0дБ в режиме работы без цифровой фильтрации

Анализ полученных спектров и осциллограмм позволяет сделать вывод, что в режиме без передискретизации спектр помех и искажений даже в звуковом диапазоне частот более плотный и жесткий, ввиду большего уровня продуктов интермодуляции ВЧ-составляющих, а за пределами звукового диапазона поражен помехами большого уровня с частотой дискретизации и ее гармоник, и только применение фильтров НЧ высокого порядка (в роли которых можно предположить применение ламповых усилительных устройств с неширокой полосой и высокой собственной линейностью без ООС) может справится с подобными помехами. Единственное преимущество преобразования без передискретизации и цифровой фильтрации заключается в более точной передаче формы импульсных сигналов, но его легко утратить за счет неудачной переходной характеристики устройств, следующих за ЦАП.

Субъективное звучание ЦАП Lynx D43 очень приятное, неутомительное, хорошо передает эмоциональную составляющую записей. В режиме без передискретизации звучание более «мягкое» и «грязноватое», характерное для такого режима, но для некоторых записей может оказаться весьма интересным. Прослушивание производилось при работе по синхронной шине (ведущий вход) с использованием транспорта Teac CMK3, усилителей Lynx VTA39 и Lynx 17, AC Dynaudio Focus 220.

В заключение хотелось бы искренне поблагодарить за помощь и поддержку всех тех, кто прямо, косвенно или опосредовано имел отношение к созданию рассмотренного выше устройства и написанию данного материала: моих товарищей и коллег Сергея Жукова (г. С.-Петербург), Андрея Попцова (г. С.-Петербург), компании «Платан», «Вест-Эл», «Элкомаг» «Элтех», «Гамма», «ЭФО», а также моих жену, маму и сына за постоянное внимание, тепло и заботу, без которых невозможно было бы успешное творчество.

Дмитрий Андронников (Lynx Audio) Санкт – Петербург, январь - март 2009 г.