

## Модуль ЦАП Lynx23

Созданию рассматриваемой конструкции предшествовали довольно длительные эксперименты с различными типами дельта-преобразователей и изучение их свойств и особенностей на фоне непрерывного сокращения номенклатуры выпускаемых параллельных ЦАП. После сравнительного анализа свойств и параметров  $\Sigma\Delta$  ЦАП различных типов и макетирования систем с применением приборов AD1853, AD1955, PCM1738, PCM1794, AK4393\4395 и SM5865, окончательный выбор кандидата на роль цифроаналогового преобразователя новой конструкции пал на микросхемы от NPC – SM5865BM(CM) в комплекте с цифровым фильтром SM5847AF той же фирмы.

Определяющими в этом выборе явились как хорошие электрические параметры микросхем ЦАП, (из проверенных типов аналогичными параметрами обладают только модуляторы микросхем AD1955), так и ряд их конструктивно - технологических особенностей. Во-первых, SM5865 сконструированы с очень удачной разводкой выводов, позволяющей реализовать достаточно простую трассировку печатной платы и удачное разделение в пространстве цифровой и аналоговой частей схемы. Во-вторых, эти ЦАП, при токовом построении выхода модуляторов, снабжены внутренним пассивным ФНЧ (на СТАТИЧЕСКОЙ емкости, в отличие от ФНЧ ЦАП производства Cirrus Logic и Asahi Kasei, которые применяют в своих ЦАП ФНЧ на переключаемых конденсаторах) с частотой среза порядка 400кГц, что существенно уменьшает уровень ВЧ - составляющих в выходном токе и заметно облегчает режим работы входов ОУ преобразователей ток - напряжение. В - третьих, SM5865 – одноканальные, что позволяет реализовать режим питания типа «двойное моно». И, наконец, еще одно немаловажное обстоятельство, которое оказало влияние на выбор данных ЦАП – это официально заявленное в даташите наличие регистра пересинхронизации непосредственно на кристалле, управляемого от входного сигнала основного такта.

В качестве цифрового фильтра была выбрана известная и хорошо зарекомендовавшая себя СБИС типа SM5847 от NPC. В паре с ЦАП SM5865 этот ЦФ поддерживает входную частоту дискретизации до 192кГц (при 5-вольтовом питании) и передискретизацию до 8х. Это позволяет использовать такой комплект для работы с входными сигналами вплоть до «полного» аудиоформата DVD Audio без каких-либо ограничений.

Принципиальная схема модуля ЦАП Lynx23 приведена на рис.1. ПЛИС DD1 осуществляет первичную пересинхронизацию входных сигналов перед их подачей на ИС цифрового фильтра DD2, а также формирует из сигнала тактового генератора частотой 768Fs частоты 384Fs, 192Fs и 96fs, которые могут оказаться необходимыми при стыковке модуля ЦАП с источникам аудиопотока и тактовую частоту 384Fs для цифрового фильтра.

Кроме того, в проект DD1 может быть встроены сдвиговой регистр, который преобразует формат I2S или LJ в RJ EIAJ, требуемый для работы ЦФ.

Через ПЛИС проходят и сигналы управления режимами работы ЦФ – кратностью передискретизации и дизерингом. Переключение этих режимов на выходе ПЛИС происходит синхронно с активным перепадом входного сигнала LRCK, что исключает возможные сбои в работе ЦФ при переключении режимов и, как следствие, помехи в преобразованном сигнале.

Для оперативной индикации режимов работы ЦФ и выбранного формата входного аудиопотока служат SMD светодиоды VD1 – VD5 типоразмера 0805, размещенные на печатной плате ЦАП.

Цифровой фильтр DD2 постоянно конфигурирован для работы с 24-х разрядными выходными данными, которые могут восприниматься микросхемами ЦАП SM5865.

Питания на ПЛИС и ЦФ подаются через индивидуальные ферритовые бусины от общего стабилизатора +5В.

Длина входных данных, относительные и абсолютные величины тактовой частоты, внутренняя синхронизация выбираются соответствующими переключками на колодке XS1, либо путем подачи соответствующих сигналов управления на четные выводы колодки. На XS1 также выведено дополнительное ручное управление формированием сигнала начальной установки, который при подаче питания автоматически формируется контроллером сброса на DD3.

Тактовый генератор устройства выполнен на основе прибора GXO-U100H производства Golledge, обладающего весьма малым джиттером при условии питания прибора от источника с низким собственным шумом и малым уровнем пульсаций. Для стабилизатора питания генератора была использована классическая структура «ИОН – фильтр шума – ОУ» (сокращенно ИФО), реализованная на ИОН DA1 и ОУ DA2 с эмиттерным повторителем VT1 и позволяющая весьма простыми средствами получить уровень шума на выходе стабилизатора ниже -110...115дБ. Аналогичные стабилизаторы применены для питания цифровой части схемы (на DA3, DA4 и VT2), Микросхемы ЦАП левого канала (на DA11, DA13, VT3), микросхемы ЦАП правого канала (на DA12, DA14, VT4).

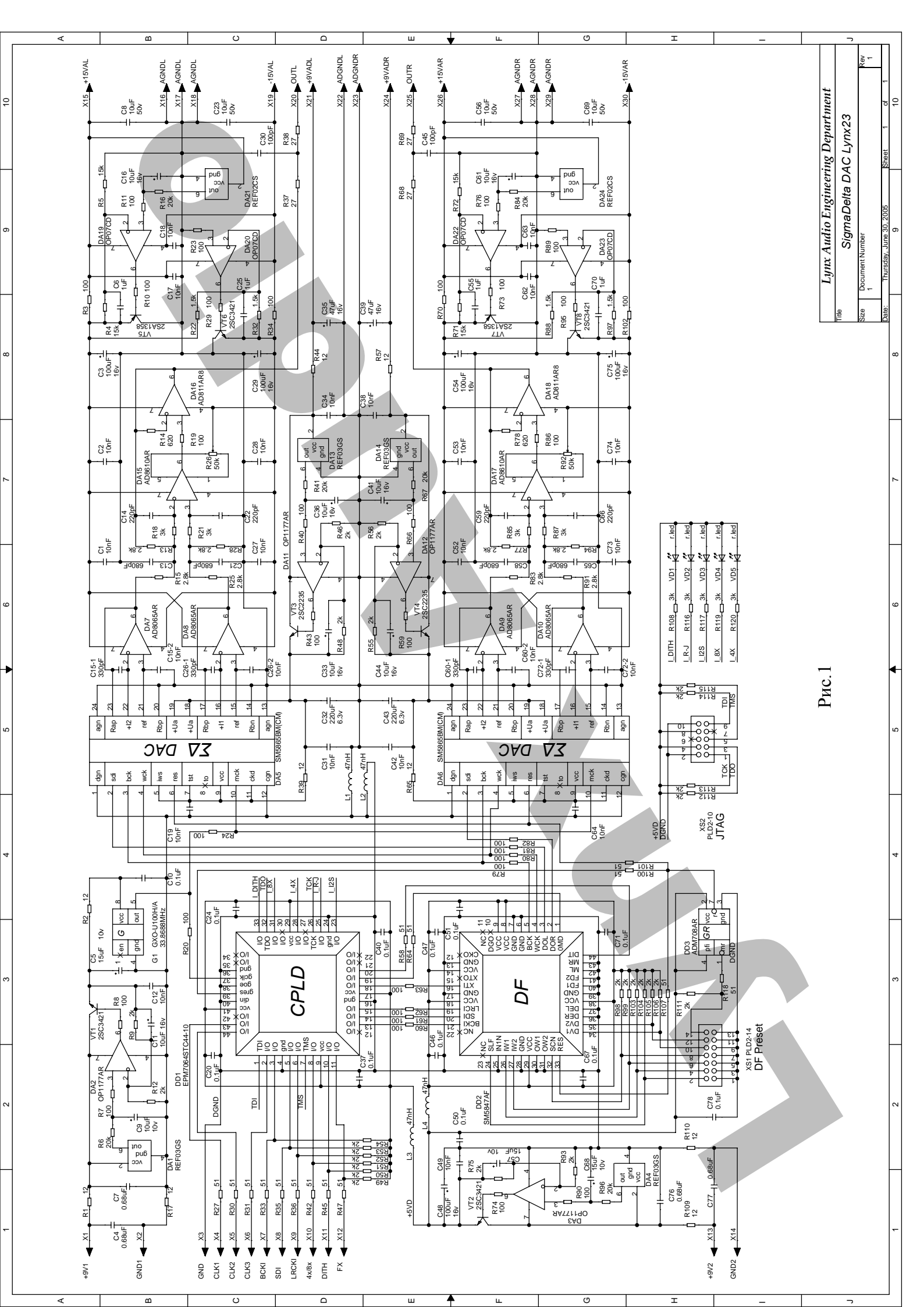


Рис. 1

Вся аналоговая часть модуля Lynx23 выполнена по принципу «двойного моно» с полностью независимыми в аналоговой части каналами. В левом канале работает ЦАП DA5, а в правом, – соответственно DD6, включенные с некоторыми отличиями от типовой схемы. Основное из них, – это отсутствие конденсаторов в цепях ООС ОУ преобразователей ток – напряжение (DA7, DA8, DA9 и DA10). При экспериментах с ЦАП SM5865 выяснилось, что уровень четных гармоник очень существенно зависит от разности емкостей в цепях ООС прямого и инверсного каналов одного ЦАП и даже различие в 0.5% вызывает рост 2-й и 4-й гармоник на 1.5...3дБ. Поэтому, учитывая наличие внутреннего фильтрующего конденсатора в ЦАП, было решено отказаться от емкостей в цепи ООС, а для того, чтобы ВЧ - составляющие спектра преобразованного сигнала не оказывали существенного влияния на качество работы, в преобразователях применить скоростные и очень линейные ОУ с ООСН AD8065. В принципе, возможно применение ОУ с ТОС, также позволяющих получить отличные результаты, но при этом не следует забывать, что эти приборы часто имеют значительные входные токи смещения и их температурный дрейф, а это может оказаться неприемлемым при работе от модуляторов с малым выходным током (0.45мА для SM5865).

Восстанавливающий фильтр и суммарно - разностный каскад выполнены по схеме, предложенной фирмой Analog Devices для применения совместно с ЦАП AD1853. Основное отличие от оригинальной схемы – это использование совместно с ОУ дополнительного буфера, охваченного общей петлей ООС. Такое решение позволяет заметно разгрузить выход основного ОУ и снизить все виды искажений, а также обеспечить возможность работы на нагрузку с меньшим импедансом. В качестве основного ОУ был выбран прибор AD8610, отличающийся очень низкими искажениями и субъективно «холодным» и «прозрачным» звуком, а в качестве буфера – ОУ с ТОС AD811 в режиме с единичным коэффициентом передачи, либо специализированный буфер BUF04, ныне, к сожалению, снятый с производства. Частота среза ФНЧ – примерно 72...73кГц, крутизна спада характеристики – 12дБ/окт.

Питание аналоговой части Lynx23 осуществляется от двуполярных параллельных стабилизаторов, положительное плечо которых – типовой ИФО, а отрицательное – хорошо известный «следящий» стабилизатор.

Цифровая и аналоговая «земли» устройства с целью снижения помех соединены через защитные индуктивности L1 и L2 (ферритовые бусины).

Выходной аналоговый сигнал ЦАП подается на внешние цепи через RC Т-фильтры R37-R38-C30 (R68 – R69 – C45), которые, с одной стороны обеспечивают дополнительное подавление ВЧ составляющих различного происхождения на выходах модуля, а с другой, - защищают цепь выхода и ООС суммарно - разностного каскада от проникновения в них ВЧ помех извне, предотвращая тем самым возникновение дополнительных интермод в звуковой области.

Резисторы этих фильтров одновременно защищают выход устройства от короткого замыкания.

Конструктивно модуль ЦАП выполнен на двухсторонней печатной плате размерами 100 x 110мм. Подключение его к внешним цепям осуществляется с помощью клеммных колодок Dinkle ED350 и контактных линеек PLD.

Для получения высоких качественных показателей и хорошего субъективного звучания в устройстве желательно использовать качественные активные и пассивные элементы. В авторском варианте применены SMD резисторы типоразмеров 0805 и 1206 производства Murata и мощные толстопленочные резисторы MP915 (R3, R34, R70, R102) производства Caddock.

Электролитические конденсаторы - Oscon SVP (C5, C9, C11, C16, C33, C36, C41, C44, C48, C57, C61, C68), Black Gate FK (C3, C29, C54, C75), Black Gate N (C8, C23, C32, C43, C56, C69), Black Gate Standart (C35, C39). Пленочные конденсаторы - фольговые полипропиленовые Wima FKP2 (C1, C2, C12, C13, C14, C15, C17, C18, C21, C22, C26, C27, C28, C30, C31, C34, C38, C42, C45, C49, C52, C53, C58, C59, C60, C62, C63, C65, C66, C72, C73, C74) и металлизированные лавсановые Wima MKS2 (C6, C25, C55, C70). Остальные – керамические SMD типов 1206 и 0805 Murata, причем емкости 0.1мкФ составлены из параллельно включенных многослойной 0.1мкФ и однослойной 1000пФ, а C19 и C64 – однослойные группы NP0.

Для питания Lynx23 необходимы 6 стабилизированных источников питания: два по 9В (для питания цифровой части и генератора), два по +9В для питания микросхем ЦАП (поканально) и два двуполярных (+/-15В) для питания аналоговых цепей (поканально).

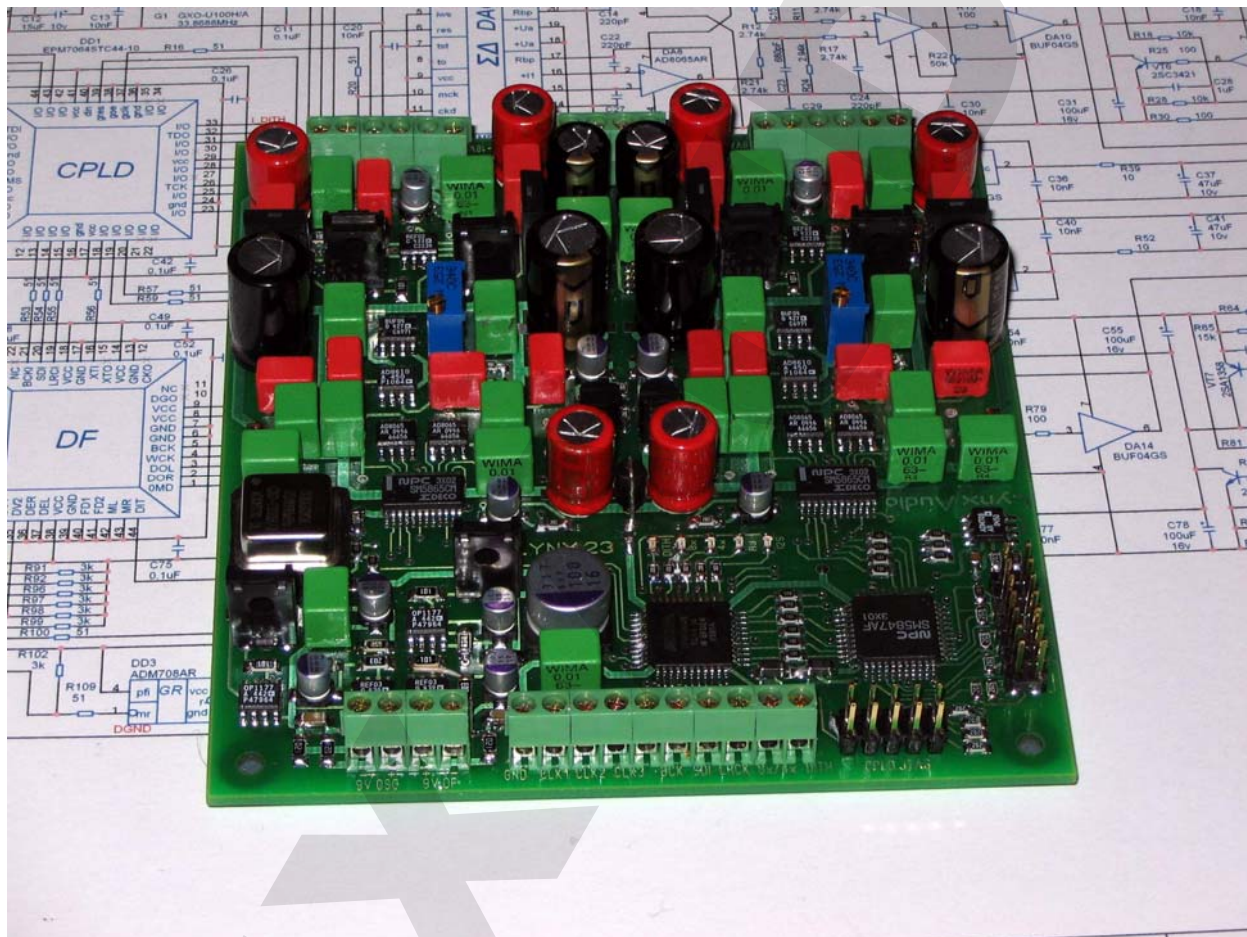
Если допустимо небольшое (и далеко не всегда заметное) ухудшение, то можно использовать для обоих каналов общий источник +/-15В и +9В (для ЦАП). Можно также питать от одного источника ЦФ и генератор, но это в определенных условиях может привести к несколько большей деградации звука.

Авторский экземпляр ЦАП Lynx23 обладает следующими техническими характеристиками: (при частоте дискретизации от 32 до 64кГц)

- |  |      |
|--|------|
| 1) номинальное выходное напряжение, соответствующее полной шкале преобразования, В (RMS) | 2.68 |
| 2) относительный уровень шумов на выходе (нулевом входном сигнале), дБ                   | -116 |

- |  |           |
|--|-----------|
| 3) относительный уровень гармонических искажений и помех в полосе частот 45кГц для тестового 16-разрядного сигнала частотой 918гц полной шкалы, дБ | -99       |
| 4) относительный уровень гармонических искажений и помех в полосе частот 45кГц для тестового 24-разрядного сигнала частотой 918гц полной шкалы, дБ | -111      |
| 5) Уровень помех в полосе 100МГц на аналоговых выходах, дБ   | менее -70 |
| 6) Джиттер сигнала тактового генератора, пс  | менее 6   |

Внешний вид платы ЦАП Lynx23 приведен на следующем рисунке:



В ходе экспериментов с этим ЦАП был получен ряд спектрограмм при длине слова входных данных 16 и 24 разряда. Измерения производились на частоте 918.75Гц с использованием отсчетно-коррелированных моделей сигналов. Преобразование выходных сигналов ЦАП в цифровую форму для их дальнейшей обработки осуществлялось с помощью модуля АЦП на основе АК5393 с программно - компенсированными собственными искажениями на частоте тестового сигнала.

Спектр тестового сигнала частотой 918.75Гц при длине входных данных 16 разрядов показан на рисунке.2, а спектр сигнала такой же частоты, но при длине входных данных 24 разряда – на рис.3. В обоих случаях уровень сигнала соответствовал полной шкале преобразования.

Рис. 2. Спектр сигнала 918.75Гц, уровень 0дБ, 16 разрядов

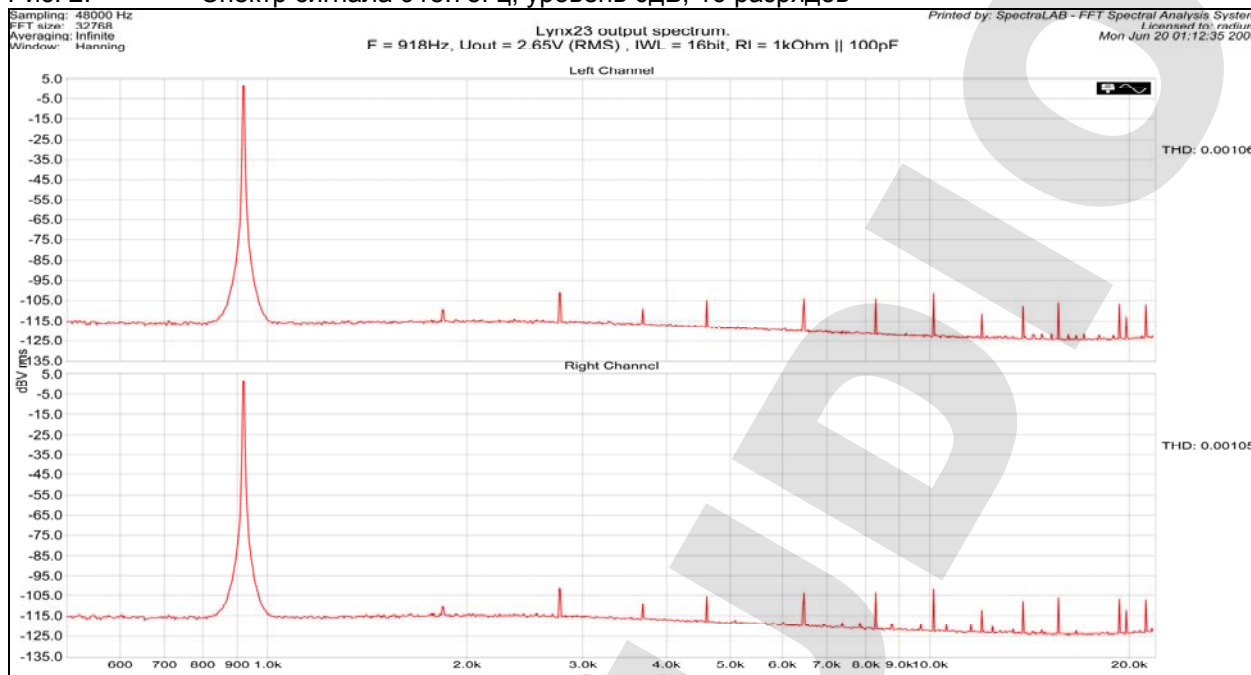
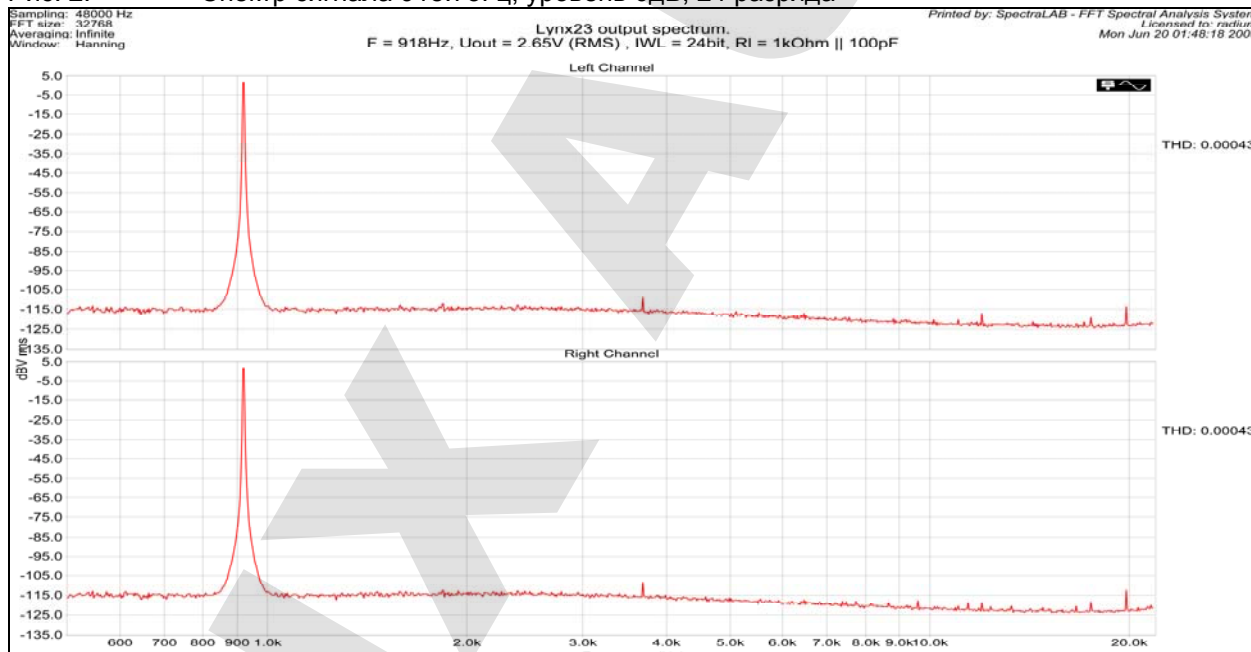


Рис. 2. Спектр сигнала 918.75Гц, уровень 0дБ, 24 разряда



Модуль ЦАП Lynx23 был испытан и проверен совместно с транспортом в виде ПКД Technics SL-P2000 с 64 - клоковой RJ шиной и тактовой частотой 16.9344МГц в режиме 16бит/44.1кГц и тестовым источником цифровых сигналов в режиме 16бит/32кГц, 16бит/64кГц, 24бит/44.1кГц.

При воспроизведении звуковых программ стандарта CDDA, Lynx23 обеспечил очень приятное и комфортное звучание, с отличной детальностью и очень высоким разрешением. В общем и целом, его звучание имеет легкий и холодный характер, но без резкости и практически не утомляет.

И, конечно же, огромное спасибо всем тем, кто поддерживал при реализации этой конструкции, - моим жене, сыну и матери, моим товарищам и коллегам – Александру Бахареву (г. С. – Петербург), Сергею Жукову (г. С.- Петербург), Михаилу Шиленко (г. Краснодар), Алексею Вишнякову (г. С. – Петербург), Евгению Артемову (г. Москва), Олегу Носкову (г. Киров), Игорю Гошовскому (г. Хмельницкий), а также петербургским фирмам – поставщикам электронных компонентов: «Элтех», «Гамма», «ЭФО», «Вест-Эл», «Мега-Электроника», «Самodelка.Ру»

Санкт – Петербург,  
Апрель - май 2005г.