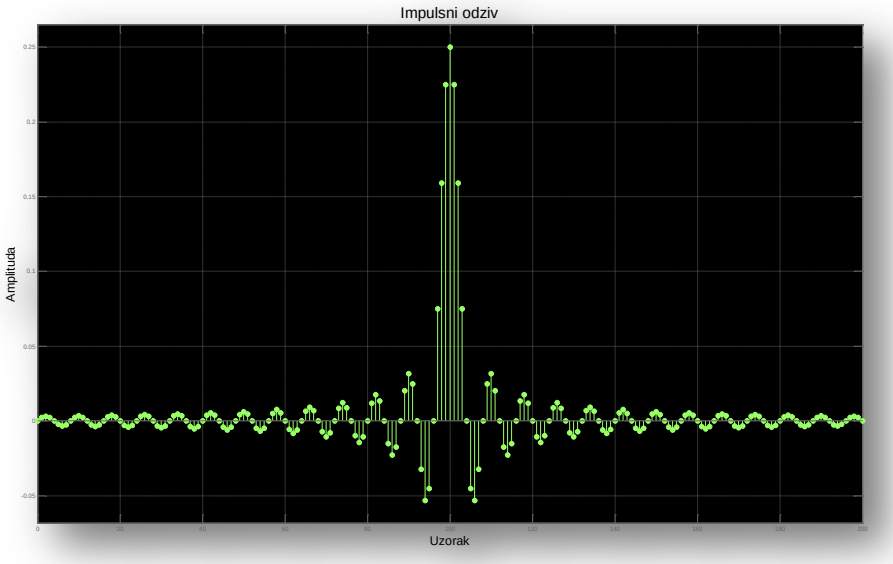
Bilan Audio Site

Reprodukcija DSD datoteka pretvorbom u LPCM

MATLAB projektiranje FIR filtera transponiranog direktnog tipa II linearne faze tipa 1

Ozren Bilan

2013.



Učestane su rasprave o kakvoći PCM i SACD (DSD) zvučnih zapisa. Priliku za usporedbu pružaju nam SACD mediji na kojima se nalazi PCM *Red Book* format i DSD zapis. Možemo postaviti dva pitanja: je li riječ o istom glazbenom materijalu i kako optimalno koristiti računalo primjenom pretvorbe DSD u PCM ? Svi prikazani programi iz članka, mogu se u probnoj inačici besplatno prebaciti u računalo

Reprodukcija DSD datoteka pretvorbom u LPCM

Među ljubiteljima dobrog zvuka vrlo su česte rasprave o kakvoći PCM i SACD (DSD) zvučnih zapisa. Priliku za usporedbu pružaju nam SACD mediji na kojima se nalazi PCM *Red Book* format i DSD zapis. Možemo postaviti dva pitanja.
Prvo pitanje koje se postavlja:

- je li riječ o istom glazbenom materijalu?

Drugo pitanje:

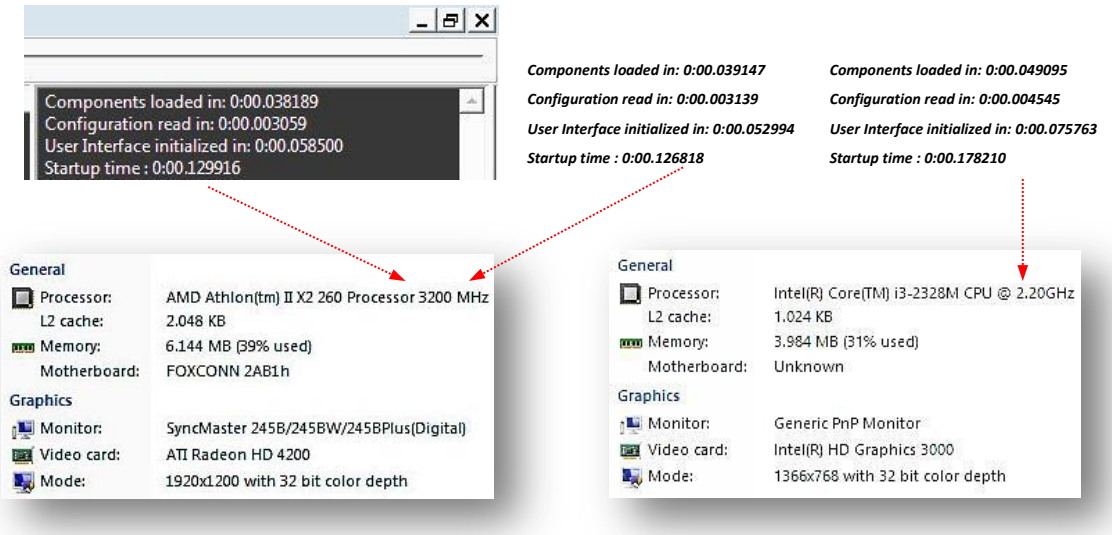
- koji su zahtjevi i kako optimalno koristiti računalo primjenom DSD->PCM pretvarača?

O računalu za reprodukciju zvuka sa klasičnim SATA tvrdim diskom

DSD zvučne datoteke mogu se optimalno reproducirati primjenom DSD i DoP DAC-a. Taj postupak detaljno je opisan u prezentaciji *HD.pdf* na ovom siteu.

Drugi način je primjena pretvarača DSD->PCM koji može biti ugrađen u programu za reprodukciju zvučnih datoteka. Iako je **teoretski** pretvorba DSD LPCM bez gubitaka, to se ne može sa sigurnošću tvrditi za postupke koji koriste promjene frekvencije sempliranja i dužine riječi digitalnih zvučnih signala. Dodamo li tome primjene raznih niskopropusnih FIR filtera, očito je da možemo dobiti različite rezultate. Pitanje je koji je postupak optimalan?

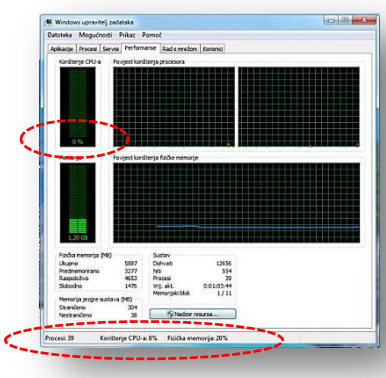
Prije korištenja računala za obradu zvuka potrebno je provjeriti njegove sposobnosti. Možemo napomenuti da je reprodukcija višekanalnih DSD datoteka vrlo zahtjevna zadaća za prosječno računalo te da različiti programi pri reprodukciji troše različite količine resursa računala. Jedan od programa koji troši najmanje resursa računala je *Foobar* koji je uz to i potpuno besplatan. Bez detaljnije analize, jedan od prvih, **približnih** pokazatelja sposobnosti računala za reprodukciju zvučnih datoteka je brzina pokretanja programa za reprodukciju i brzina učitavanja komponenti i konfiguracije. Ovdje je za usporedbu prikazana brzina učitavanja *Foobara* na stolnom računalu iz 2010. sa *Win7* na kojem su izvršena mjerenja, a desno na prijenosniku s *Win8.1* sustavom. Ako je vrijeme znatno duže od prikazanih, situacija se može ubrzati podešavanjem *Foobara* i *Windows* OS-a.

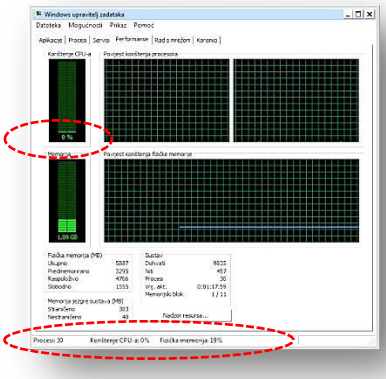


Karakteristike stolnog i prijenosnog računala sa klasičnim SATA HD, na kojima su izvršena mjerenja. Svi prikazani rezultati odnose se samo na ova računala i mogu dobro poslužiti za usporedbu.

Drugi, mnogo važniji pokazatelj je potrošnja resursa tj. iskorištenje procesora pri reprodukciji. Ono varira od skladbe do skladbe u istoj rezoluciji. Ovisno o formatu zapisa na prikazanim računalima potrošnja resursa (ili **iskorištenost**) se kreće od 1% - 10% za *Red Book* format 16/44.1. Najmanju potrošnju resursa od svih playera ima *Boom*. Potrošnja mu je uvijek oko 1 %, ali kako je ograničen, za sada samo na FLAC i PCM formate, nećemo ga analizirati. Treći pokazatelj je temperatura jezgre.

Prije analize potrošnje različitih formata u različitim programima za reprodukciju, uvijek je dobro provjeriti koliko resursa troši računalo dok nije aktivan niti jedan **korisnički program**. Popularno rečeno, koliko resursa računalo troši u *praznom hodu,* tj. koliko resursa troše **sustavski programi**. Nakon što smo uključili računalo aktivirat ćemo *Upravitelj zadataka (Task Manager)* te ćemo pogledati potrošnju resursa:





U praznom hodu *Win 7* korištenje procesora je ≈0%, fizičke memorije 20%, a aktivno je 39 procesa i 594 niti. Možda situaciju možemo popraviti. Na kartici *procesi* pogledat ćemo koje procese možemo isključiti, bez opasnosti za rad računala i ponoviti mjerenje korištenja CPU-a u periodu od 1 minute. Uspjeli smo smanjiti broj procesa na 30 (jedan od njih je i *Upravitelj zadataka*), korištenje fizičke memorije na 19% i 457 niti. Sad možemo pristupiti mjerenju potrošnje resursa pri reprodukciji.

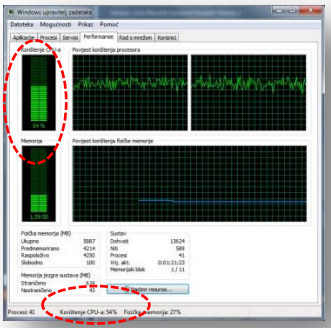
Mjerenje potrošnje resursa

Najviše resursa troše 6 kanalni zapisi DST i DSD formata s brzinom protoka 14112 kb/s odnosno 16934 kb/s i primijenjenim **niskopropusnim FIR filterima dvostruke preciznosti na 30 – 50 kHz/160dB**. Maksimalna iskorištenost je 100%, pri resempliranju na 385 kHz, tipično 40% pri resempliranju na 96 kHz, a 10 % više pri 192 kHz. Ovdje se izvršava *downmix* 5.1 u stereo i resempliranje ***Sox resamplerom mod 2***, a resempliraju se samo frekvencije sempliranja koje sklopovlje vanjskog DAC-a ili interne zvučne kartice ne podržava.

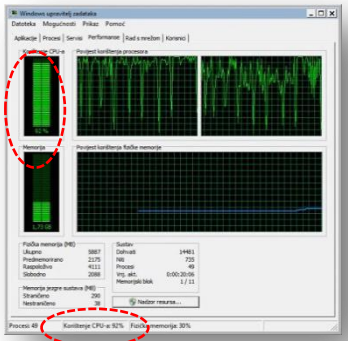
DXD datoteke istog protoka troše manje – tipično oko 20 %. DXD datoteke semplirane 342800 ne mogu se reproducirati bez primjene *resemplera*. Za *Foobar* postoje *PPHS* te *Sox i Sox mod2,* koji mogu koristiti postupak *apodizacije*. Koristi li se *Sox resempliranje* na 96 ili 192 kHz potrošnja je nešto veća.

2 kanalni zapisi DSD 5645 kb/s tipično troše oko 20 % resursa, isto kao i višekanalni DVD-Audio MLP PCM zapisi. Ako je potrošnja resursa viša od navedene, dobro je promijeniti tip programa za reprodukciju ili izvršiti optimizaciju Windows. Korisnici slabijih računala moraju promijeniti tip primijenjenih filtera u *Foobar* postavci SACD na tip *Multistage Fixed Point*.

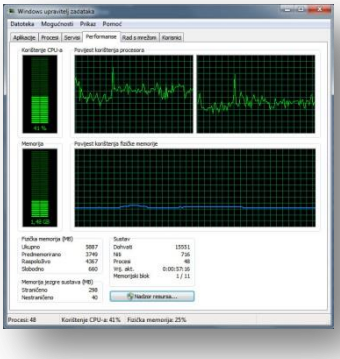
Najednostavniji prikaz potrošnje resursa su programčići (*gadgets*) i *Upravitelj zadataka* (*Task Manager*) u *Win 7*. U operacijskom sustavu *Win 8* programčići su ukinuti zbog ranjivosti jer nisu imuni na neovlaštene upade u računalo i širenje virusa. Preporuka je ne koristiti ih ni u *Win7*. Iako za *Win 8* postoji opcija korištenja programčića, primjenom programa drugih firmi, to ni u kojem slučaju nije preporučljivo nego ćemo primijeniti *Upravitelj zadataka* (*Task Manager*). Na slici dolje prikazana je iskoristivost procesora na *Win 7* računalu sa 6 diskova i *Win 8* računalu s 3 diska, pri reprodukciji datoteka 5.1 DST 14112 kb/s, 5.1 DSD 16934 kb/s, DSD 5645 kb/s i WAV 1411 kb/s.



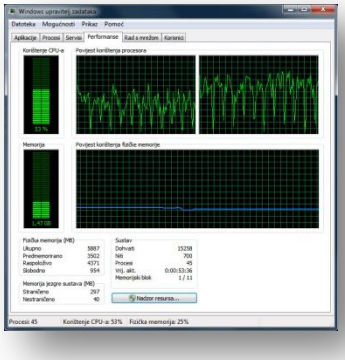
Foobar 5.1 DST 14112 kb/s (192 kHz)



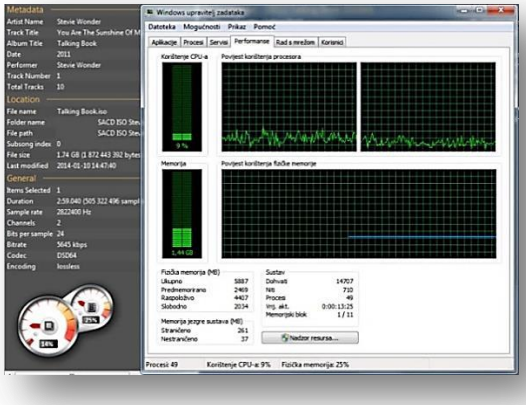
JRiver 5.1 DST 14112 kb/s (385 kHz)



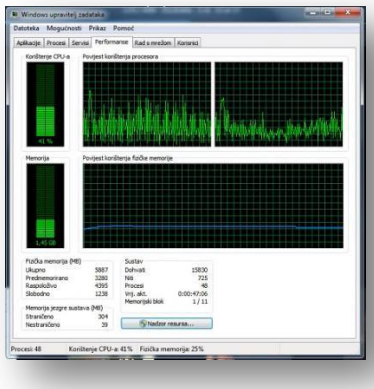
Foobar 5.1 DSD 16934 kb/s



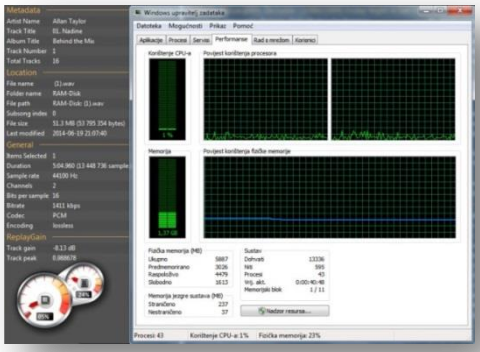
JRiver 5.1 DSD 16934 kb/s



Foobar Stereo DSD 5645 kb/s

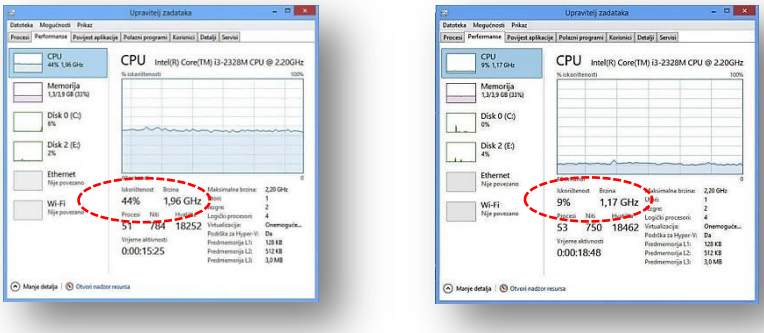


JRiver Stereo DSD 5645 kb/s

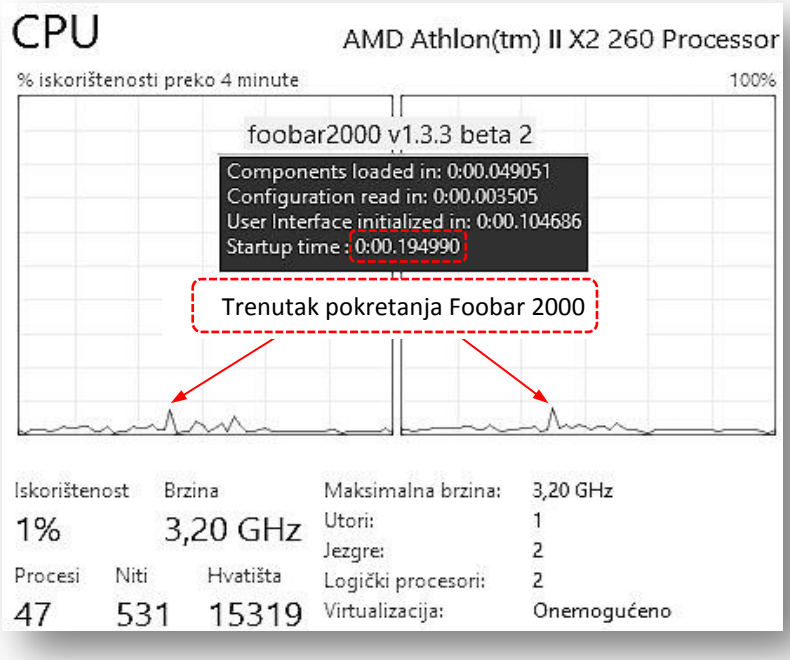


Foobar Stereo wav 1411 kb/s (44.1 kHz 16 bit) reprodukcija s RAM diska

Prikazat ćemo potrošnju resursa i na prijenosnom računalu u programu Foobar. Prijenosno računalo ima *Windows 8.1* operacijski sustav u kojemu *Upravitelj zadataka* izgleda različito.



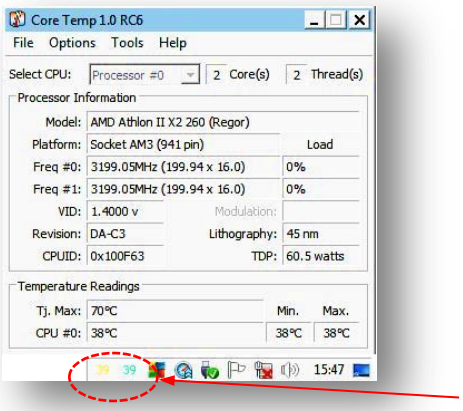
*Lijevo: Prikaz potrošnje resursa Win8 - DSD 6 kanalne datoteke bitrate: 16934 kb/s u *.iso obliku; desno: wav datoteke*
Obratite pozornost na različitu brzinu procesora. Računalo je s 3 diska, a prikazana je reprodukcija istih datoteka kao u prethodnom slučaju.



*Brzina pokretanja i opterećenje sustava **foobar 2000 v1.3.3.** beta 2 na dvojezgrenom stolnom računalu s operacijskim sustavom Win 8.1 Enterprise build 9600.*

Podaci se mogu uzeti kao tipične vrijednosti jer u ovom slučaju nije izvršena optimizacija procesa.

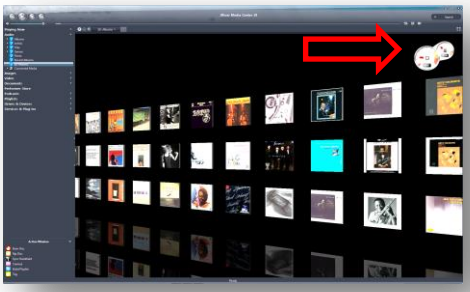
Temperatura jezgre

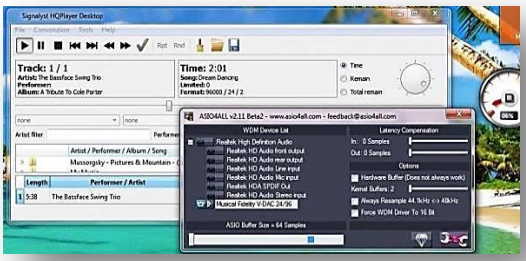


Potrošnja resursa jednaka je opterećenosti jezgre procesora. Ako računalo stalno radi s velikim opterećenjem brzo dolazi do pregrijavanja i s tim vezanih problema. Kako bi pratili temperaturu jezgre može se koristiti neki od velikog broja programa za tu namjenu, npr. *RealTemp* ili *Core Temp*. Osim u prozoru programa, temperaturu u minimiziranom stanju možemo pratiti i na traci zadaća, kako je prikazano na slici dolje u donjem dijelu.

Program Core Temp pokazuje temperature jezgri i mnoge druge korisne podatke npr. opterećenje jezgre.
Minimizirani program pokazuje temperaturu u traci zadaća.

Navedene programe za prikaz temperature jezgre i sve njihove opcije (npr. *prime95*) moramo koristiti vrlo pomnjivo jer mogu nastati izraženi problemi posebno u *Windows 8*. Pri maksimalnoj potrošnji resursa reprodukcijom *5.1 DSD 16934 kb/s* datoteka, temperatura jezgri nikad ne prelazi 49°, pri ljetnoj temperaturi prostorije do 30°.
Iz prikazanog je sasvim očito da neka računala neće biti sposobna reproducirati zvučne datoteke najviše rezolucije, a to se posebno odnosi na **prijenosna** računala s **baterijskim** pogonom u **ekonomičnom** načinu rada zbog uštede energije.





Grafički vizualno atraktivno sučelje JRiver Media Center 19 troši 30% resursa samo pri pretraživanju datoteka u 3D modu albuma (lijevo).
Grafički minimalističko sučelje Signalyst HQPlayer smanjuje zvučni šum grafike, ali sofisticirane opcije DSP filtriranja povećavaju potrošnju resursa (desno).

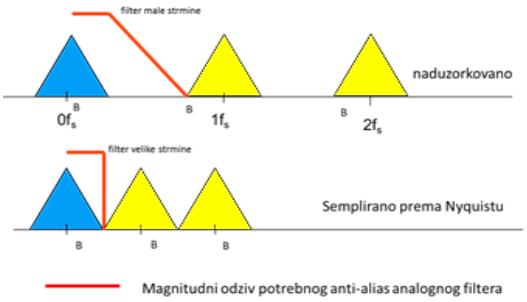
Situaciju pogoršavaju i programi za reprodukciju s *složenim grafičkim* sučeljem (*JRMC*) i dodatnom programskom obradom signala (*HQPD*), na slikama gore. Takvi programi iako su vizualno atraktivniji troše mnogo više resursa računala u odnosu na programe s jednostavnom grafikom. Uobičajeno se pri reprodukciji HD signala na *Win 7* isključuje *Windows Aero* radna površina i sve animacije. Problemi ne nastaju pri reprodukciji *wav* datoteka 1411 kbps, ali mogu nastati sa DXD i 6 kanalnim DSD signalima koji se *downmixaju* u stereo, pretvaraju u PCM, filtriraju i *resempliraju*. To je jedan od razloga zbog kojeg mnogi audiofili još uvijek koriste **zastarjele mehaničke CD i SACD reproduktore** jer su im za dobar zvuk potrebna jaka optimizirana računala.

Pretvorba DSD u PCM

Ako korisnik ne posjeduje DSD DAC, DSD zvučne datoteke moraju se konvertirati pri reprodukciji u PCM. Postupak pretvorbe datoteke 1-bit DSD pretvara u 64-bit PCM pri 1/8 frekvencije sempliranja 2822400 Hz. Količina podataka nakon pretvorbe **poveća se 8 puta** jer se **frekvencija sempliranja**

smanjuje 8 puta, a **rezolucija raste 64 puta**. To je razlog zbog kojeg je to ***bitperfect*** postupak **bez gubitaka**. Dobivene PCM datoteke imaju rezoluciju 64 bita pri *352.8 kHz* za DSD, odnosno 64bita pri *705.6 kHz* za DSD 2x2822400 Hz. Tu nastaju mnogi problemi.

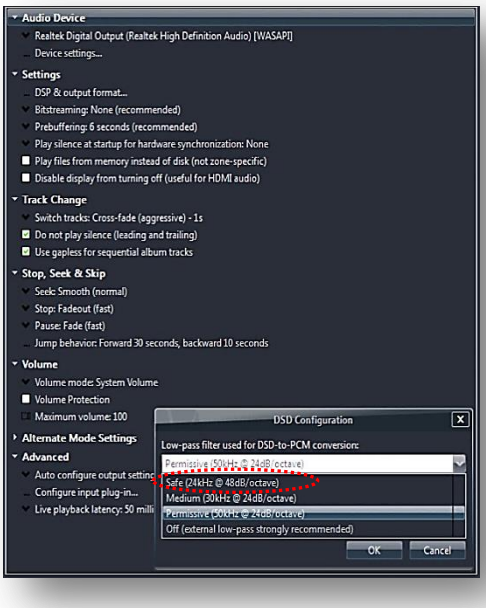
Prvi problem: sklopovlje koje nativno podržava ove visoke frekvencije sempliranja izuzetno je rijetko i vrlo skupo. To su za sada samo profesionalni sustavi koji na osobnim računalima praktički za sada ne postoje. Zbog toga se uvijek **mora** izvesti *downsampling*. U *JRiver MC 19* nije moguće neovisno konfigurirati DSD 1x i DSD 2x pa biramo opciju *Greater than 192kHz* u *DSP Studio* > *Output Format*.

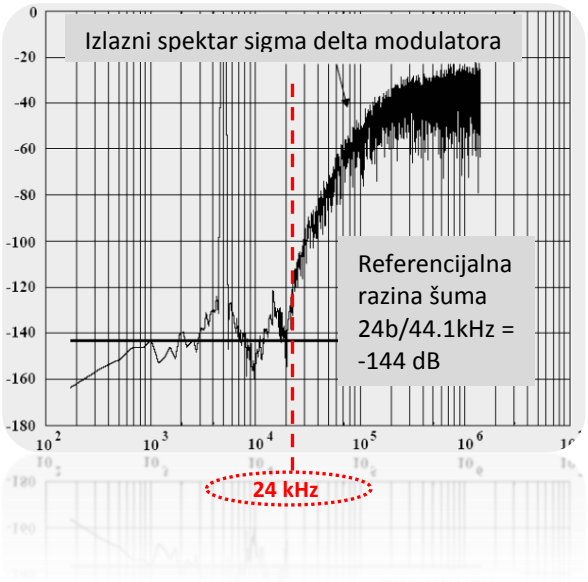


Drugi problem: Zbog postupka oblikovanja šuma, DSD sadržava vrlo jaki viskofrekvencijski šum koji može oštetiti sluh, elektroakustičke komponente pojačala i zvučnike. Zbog toga se **mora primijeniti niskopropusni filter** kako bi se eliminirao utjecaj visokofrekvencijskog šuma. Treba naglasiti, da neki projektanti namjerno ostavljaju mali dio ovog šuma, zbog razloga koje ćemo naknadno obraditi. Što je filter na nižoj *fs* frekvenciji, strmina mu mora biti veća, a **to dodatno troši resurse** i **povećava grešku kvantizacije**.

Podešavanje filtera JRiver

Odrezna frekvencija tip filtera i nagib djeluju na kvalitetu reprodukcije. Tvorničko podešenje *JRiver* je niskopropusni filter na 24kHz s nagibom 48dB/oktavi. Želimo li ovu vrijednost promijeniti biramo *Options* > *Audio* > *Advanced* > *Configure input plug-in* > *JRiver DSD Plugin*, kako je prikazano na donjoj slici. Ni u kojem slučaju ne preporučuje se propust visokofrekvencijskog šuma bez filtriranja. Ova se opcija uključuje samo onda ako znamo da će problem biti riješen u DAC-u.





Konfiguriranje niskopropusnog filtera u JRiver i spektar šuma Sony FF class sigma-delta modulatora. Odrezna frekvencija filtera i nagib djeluju na kvalitetu reprodukcije i potrošnju resursa.

DSD strujanje - *bitstreaming*

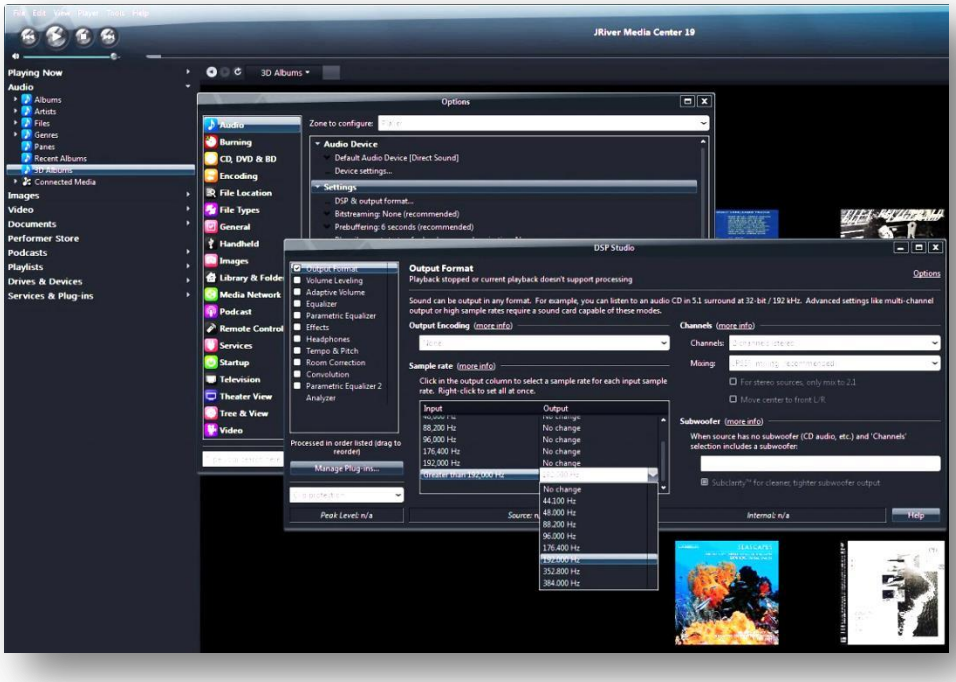
Neki DSD DAC primaju strujanje DSD signala. Prednost postupka je u tome što izbjegavamo postupak pretvorbe DSD > PCM. Tehnologija DSD strujanja su ASIO 2.2 i DoP.
ASIO 2.2 koristi podršku nativnog DSD strujanje ugrađenog u ASIO 2.2. Pri tome ASIO pogonski program priključenog DAC obvezno ga mora podržavati. Postupak je slijedeći:

- Biramo *ASIO* u *Options>Audio>Output mode* (pa podešavamo *Output mode settings …* po potrebi)
- Biramo *Options > Audio > Bitstreaming > Custom*... i označimo samo *DSD*.

DSD preko PCM - *DoP*

DSD preko PCM pakira DSD u signal sličan PCM kako bi se moglo izvršiti strujanje. Postupak je slijedeći:

- biramo *WASAPI - Event Style* u *Options>Audio>Output* pa konfiguriramo *Output mode settings…* po potrebi.
- Biramo *Options>Audio>Bitstreaming>Custom*... pa označimo samo *DSD over PCM (DoP)*.
- *DoP Format* moguće je dodatno konfigurirati za starije DAC koji ne podržavaju DoP standard.



Postupak podešavanja DSP Studio za reprodukciju SACD iso datoteka

Pretvorba DSD u PCM i pretvorba PCM u DSD JRiver

Jedna od dobrih osobina *JRiver Media Center* i *Foobara* su te što se DSD datoteke mogu pretvoriti u PCM i obrnuto. Naravno ako pretvaramo PCM u DSD moramo posjedovati DSD DAC inače postupak nema smisla. Neki autori zastupaju tvrdnje po kojima sam postupak *upsamplinga* PCM datoteka u DSD format *slabi tehničke* ali dodaje glazbi *poboljšanje subjektivnih karakteristika*. Zbog razvoja računalstva danas lako možemo napraviti subjektivnu slušnu provjeru usporedbe PCM zvučne datoteke pretvorene u DSD strujanje. *JRiver Media Center 19* može vršiti strujanje PCM -> DSD64/128 u stvarnom vremenu pod uvjetom jakog računala i prikladnog DSD DAC.

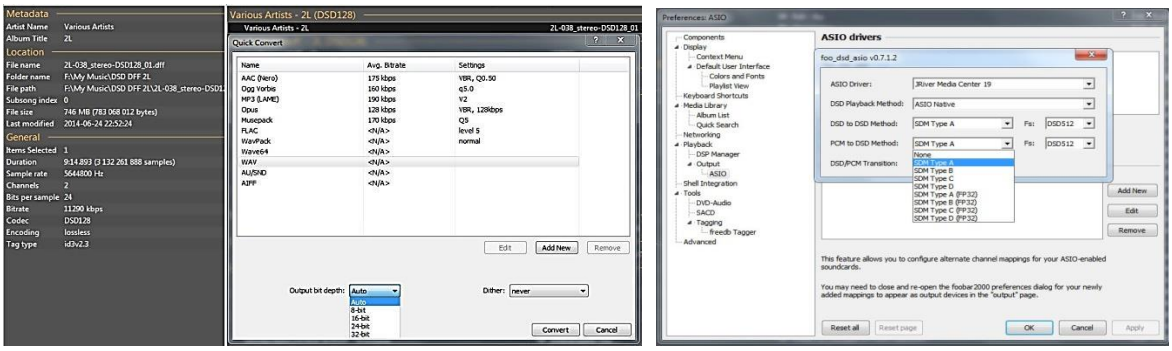
Isto je moguće primjenom *ASIOProxy* u Foobar, što omogućava svakom korisniku usporedbu izvornog PCM i DSD signala koji je iz njega nastao, a postoje i mnogi drugi besplatni programi za istu svrhu.

Ovdje je dobro naglasiti kako se rip SACD medija ne može ni na koji način izvršiti primjenom *normalnog* kupovnog PC računala jer računalni DVD pogoni ne podržavaju SACD. Za to postoje 3-4 načina, ali svi postupci su izvan dostupa prosječnih korisnika zbog cijene i složenosti.

DSD signal moguće je zapisati na DVD medij koji je kvalitetom usporediv s SACD diskom. Trenutno **ne postoji način reprodukcije ni zapisa SACD diska na računalu**. DSD disk (*slobodni format*) i SACD disk (*zaštićeni format*) **nisu isto** iako SACD koristi DSD.

Pretvorba PCM datoteke u DSD		**Pretvorba DSD datoteke u WAV, APE, FLAC, AIFF, MP3,…itd.**	
1	Biramo PCM datoteku	1	Biramo DSD datoteku
2	Desni klik > *Library Tools* > *Convert Format*	2	Desni klik > *Library Tools* > *Convert Format*
3	Biramo *DSD* koder	3	Biramo PCM željeni koder WAV, APE, FLAC, AIFF, MP3, …itd.
4	Biramo 1x ili 2x DSD	4	Biramo *Options*
5	Biramo *Convert* *Više o tome u 2. dijelu*	5	Označimo *Apply DSP (volume levelling, equalization, itd.)*
		6	Biramo *DSP settings*... pa biramo *Output Format* za ciljnu frekvenciju sempliranja (ako to ne napravimo dobit ćemo DXD datoteku sempliranu s 352.8kHz)
		7	Biramo *Convert*

Pretvorba DSD u PCM i pretvorba PCM u DSD Foobar



Više o tome u 2. dijelu Primjena ***DSD*** i ***DoP DAC*** na računalu sa ***SSD*** diskom

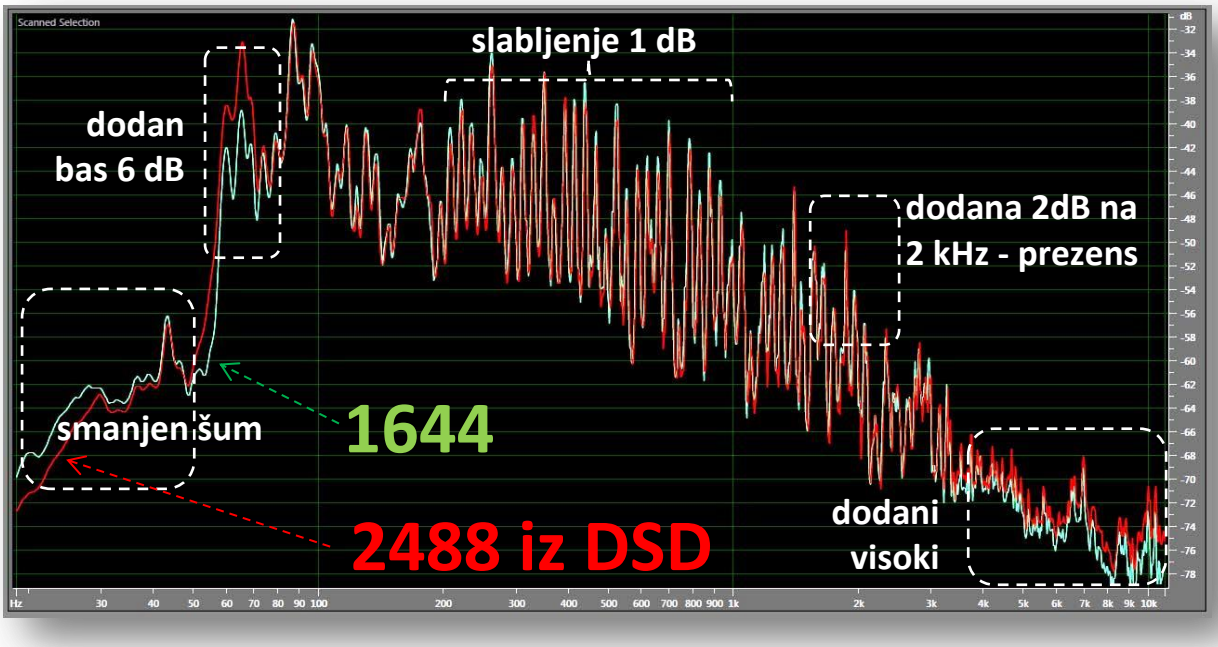
PCM protiv DSD

Kako bi odgovorili na uvodno pitanje je li na SACD riječ o istom glazbenom materijalu usporedili smo PCM zapis i DSD zapis izvornog materijala snimljenog 1964., a izdanog u SACD obliku u *Japanu 2010*. Izvorni *Red Book* zapis 16 bit 44,1 kHz je nepromijenjen, a DSD zapis, za potrebe analize, konvertiran je u 24 bit 88 kHz. Kako je *Replay Gain* SACD zapisa konvertiranog u PCM 24/88 jednak *+5.96≈6 dB*, a PCM zapisa *-1,22≈-1 dB*, DSD signal je prije mjerne usporedbe približno pojačan 7 dB. Nakon usporednih mjerenja cijele datoteke, početnih 15 sekundi oba zapisa, su konvertirana u mp3 za slušnu usporedbu. Datoteke u mp3 obliku su vrlo male i lako se prebacuju u računalo. *Replay Gain 1644.mp3* je *-0.25*, a *2488.mp3* je *-0.30 dB*. *0,05 dB* je zanemariva razlika koja se ne može slušno osjetiti.

Graf pokazuje skenirane spektre iste skladbe u obliku 1644 i 2488. Kada bi bila riječ o istoj datoteci u različitoj rezoluciji **grafovi bi se točno preklopili**. Očito je da PCM i DSD zapis nisu isti već je primijenjena DSP obrada. Razlike koje se lako uočavaju su:

- na najnižim frekvencijama datoteke proizašle iz DSD formata reduciran je šum oko *2 dB*
- na niskim frekvencijama dodano je više od *6 dB* ekvalizacije, centrirano na 70 Hz

- od 200 Hz do 1 kHz spektar je prigušen za oko *1 dB*
- u okolišu 2 kHz dodano je oko *2 dB* prezensa
- iznad 4 kHz do 20 kHz dodano je max. oko *2 dB* (20 kHz) na visokim frekvencijama



Razlika spektra izvorne (zeleno) PCM 16/44.1 datoteke i PCM 24/88 proizašle iz DSD signala (crveno)

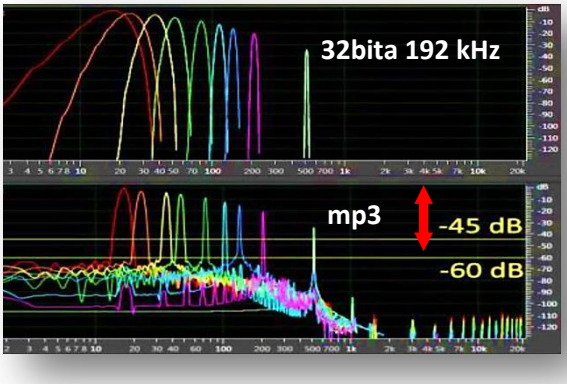
Preslušavanjem primjera čuti ćemo *subjektivno atraktivniji* DSD signal. Primjenom DSP obrade naglašen je ***stereo efekt***, **širina pozornice** kao i **učinak dubine** pa je percipirani signal daleko privlačniji. U to se možemo uvjeriti samo preslušavanjem oba primjera u trajanju od po 15 sekundi. Jer su rezultati amplitudne statistike vrlo slični.

Location	
File name	1644.mp3
Folder name	
File path	
Subsong index	0
File size	594 KB (608 683 bytes)
Last modified	
General	
Items Selected	1
Duration	0:15.073 (664 704 samples)
Sample rate	44100 Hz
Channels	2
Bitrate	320 kbps
Codec	MP3
Codec profile	MP3 CBR
Encoding	lossy
Tag type	id3v2.3|id3v1
ReplayGain	
Track gain	-0.25 dB
Track peak	0.613495

Location	
File name	2488.mp3
Folder name	
File path	
Subsong index	0
File size	593 KB (608 215 bytes)
Last modified	
General	
Items Selected	1
Duration	0:15.048 (722 304 samples)
Sample rate	48000 Hz
Channels	2
Bitrate	320 kbps
Codec	MP3
Codec profile	MP3 CBR
Encoding	lossy
Tag type	id3v2.3|id3v1
ReplayGain	
Track gain	-0.30 dB
Track peak	0.635027

Primjeri su dostupni, na mapi sitea, u datotekama *1644.mp3* i *2488.mp3*. Veličina svake datoteke je 595 kB. Podaci o datotekama su na slici lijevo. Za one koji misle da se *mp3* ***čuje***, možemo napomenuti da je pri recentnom subjektivnom ispitivanju iz *2013.* oko *>70%* slušatelja DBT izbralo *mp3* kao **bolji** u usporedbi s FLAC formatom **nastalim iz datoteka u visokoj rezoluciji**. Evo i zašto:

Slika, gore desno, prikazuje *Matlabom* generirane čiste sinusne tonove u rezoluciji *32b 192 kHz*, pa pretvorene u *mp3 320 kb/s*. Sve komponente izobličenja (dolje desno) su ispod *-60 dB* do *200 Hz*, a ispod *-100 dB* na višim frekvencija. S normalnim zdravim ljudskim sluhom *(>45; ↕ ;<60dB)*, to se ne može čuti, posebno uzmemo li u obzir i fiziološku kompenzaciju. (Glazbene datoteke za usporedbu i rezultati mjerenja, **dostupni su sa mape ovog *sitea* od *1998*. godine**.)



Za subjektivnu analizu signala koristimo kvalitetne slušalice. Ako je slušalicama impedancija viša od oko *40 Ohma* potrebno je posebno pojačalo za slušalice. Na računalo direktno priključujemo samo niskoomske slušalice. Ako DAC nema pojačalo za slušalice, njegov analogni izlaz priključujemo na odvojeno pojačalo za slušalice. Slušalice koristimo zato jer se učinak obrade na primjerima DSD signala ne može čuti na malim računalnim zvučnicima, a slušalicama je subjektivni učinak jasno čujan i u *mp3* formatu.
Pri subjektivnoj procjeni korišten je *asinkroni DAC pretvarač*, *pojačalo za slušalice* i više tipova potpuno zatvorenih niskoomskih i otvorenih visokoomskih slušalica *Studio monitor AKG K242 HD* i *AKG K550* pri frekvenciji sempliranja *96 kHz*. Niskoomske slušalice su se direktno priključivale na računalo pri frekvenciji sempliranja *192 kHz* jer je podržava ugrađeni Realtek čip.

Oprema primijenjena pri subjektivnom testiranju

Izvršen je i proračun statistike zvučnog signala te je prikazan u tablici.
Ono što prvo uočavamo su **vrlo slični statistički podaci**, a **bitno različit subjektivni učinak**.

1644 cijela skladba	*Channel 1*	*Channel 2*
Peak Amplitude:	*-2,16 dB*	*-2,99 dB*
True Peak Amplitude:	*-2,16 dBTP*	*-2,96 dBTP*
Maximum Sample Value:	*25553*	*21978*
Minimum Sample Value:	*-25130*	*-23236*
Possibly Clipped Samples:	*0*	*0*
Total RMS Amplitude:	*-20,01 dB*	*-20,38 dB*
Maximum RMS Amplitude:	*-10,98 dB*	*-11,02 dB*
Minimum RMS Amplitude:	*-95,03 dB*	*-95,10 dB*
Average RMS Amplitude:	*-23,59 dB*	*-24,05 dB*
DC Offset:	*0,00 %*	*0,00 %*
Measured Bit Depth:	*32*	*32*
Loudness:	*-17,59 dB*	*-18,76 dB*
Perceived Loudness:	*-16,62 dB*	*-16,01 dB*
ITU-R BS.1770-2 Loudness:	*-17,82 LUFS*	
0dB = FS Square Wave Using RMS Window of 50,00 ms		
Account for DC = true		

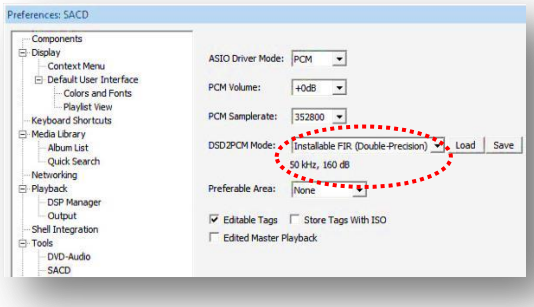
2488 cijela skladba	*Left*	*Right*
Peak Amplitude:	*-2,72 dB*	*-1,05 dB*
True Peak Amplitude:	*-2,71 dBTP*	*-1,05 dBTP*
Maximum Sample Value:	*23968*	*28037*
Minimum Sample Value:	*-22672*	*-29031*
Possibly Clipped Samples:	*0*	*0*
Total RMS Amplitude:	*-19,96 dB*	*-20,48 dB*
Maximum RMS Amplitude:	*-10,56 dB*	*-11,33 dB*
Minimum RMS Amplitude:	*-68,59 dB*	*-72,89 dB*
Average RMS Amplitude:	*-22,35 dB*	*-23,38 dB*
DC Offset:	*-0,05 %*	*0,03 %*
Measured Bit Depth:	*32*	*32*
Loudness:	*-19,02 dB*	*-17,32 dB*
Perceived Loudness:	*-16,31 dB*	*-16,26 dB*
ITU-R BS.1770-2 Loudness:	*-18,04 LUFS*	
0dB = FS Square Wave Using RMS Window of 50,00 ms		
Account for DC = true		

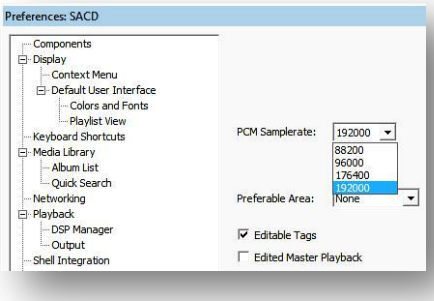
Podešavanje filtera *Foobar*

U *Foobaru* možemo za DSD reprodukciju koristiti bar tri komponente. Prva je starija izvorna komponentu ***foo_input_dsdiff*** (koju većina korisnika trenutno više ne koristi). Noviji je ***foo_input_sacd-0.7.1*** sa različitim filterima.

Treća komponenta ***oponaša*** *SACD reproduktor* ***foo_input_sacd_hq2***. Primjenjuje FIR filter dvostruke preciznosti *podešen na uho* na oko *30 kHz* koji je vrlo blagog nagiba. Proračun se vrši u jednom prolazu s *64-bitnom* dvostrukom preciznošću. DSD šum kvantizacije namjerno *nije potpuno filtriran* jer prema autoru *mala količina šuma na najvišim frekvencijama djeluje kao dither i povećava percepciju dubine*. Komponenta ***foo_input_sacd_hq2*** troši najmanje resursa, *< 30%,* a ako je iskorištenost ipak previsoka instalacijski omogućava FIR filtere niže preciznosti.

U *Foobaru* se može istovremeno koristiti samo jedan plug-in, a *dll* datoteku onog koji se ne koristi potrebno je ručno izbrisati. Izgled oba *plug-ina* u foobar izborniku *Preferences SACD*:





Plug-in foo_input_sacd-0.7.1 omogućava izbor FIR filtera i frekvencije sempliranja. U foo_input_sacd_hq2 (desno) biramo samo frekvenciju sempliranja. ***Uvijek biramo maksimalnu frekvenciju DAC-a****. Niska frekvencija sempliranja 44.1kHz ima vrlo strmi nagib filtera pa opterećuje resurse i slabi zvuk. Vrlo visoke frekvencije sempliranja najčešće se ne mogu reproducirati bez resempliranja – što slabi signal i opterećuje resurse.*

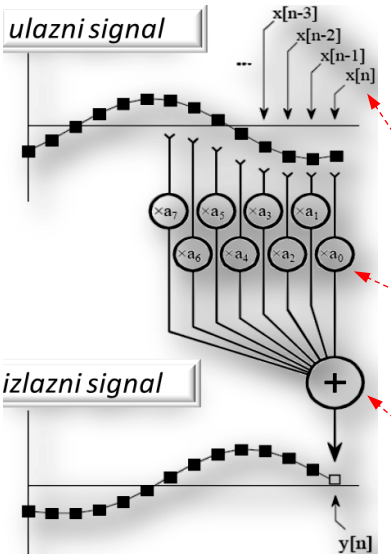
HD signali imaju rezoluciju višu od *Red Book* norme *16/44.1 kHz*. Za njihovu primjenu potrebno je imati vrlo kvalitetnu elektroakustičku opremu. Podrška za signale s frekvencijom *fs=44.1 kHz* zahtjeva vrlo oštri filter od *20.5 kHz* do *22.5 kHz*. Taj filter zbog svoje vrlo velike strmine zahtjeva vrlo veliku snagu procesora. Pored toga njegova **DSP izvedba zahtjeva vrlo veliki broj *izvoda*** što povećava **grešku kvantizacije pri množenju**. Objasnit ćemo to detaljnije na primjeru.

Prikaz općeg postupka projektiranja FIR filtera u Matlabu

Brzina izvođenja DSP algoritma potpuno je ograničena brojem *(izvoda)* množenja i sumiranja potrebnih za izvršenje programa. Slika pokazuje primjenu FIR digitalnog filtra, najuobičajenije DSP tehnike. Ulazni signal je *x[]*, a izlaz je *y[]*. Zadaća je proračun uzorka na lokaciji *n* izlaznog signala, tj., *y[n].*

FIR filtar izvodi se proračunom tako da množimo odgovarajuće uzorke ulaznog signala grupom koeficijenata, koji predstavljaju jezgru filtra: a_0, a_1, a_2, a_3,… i sumiranjem produkata. U obliku jednadžbe, *y[n]* se određuje izrazom:

$$y[n] = a_0x[n] + a_1x[n-1] + a_2x[n-2] + a_3x[n-3] + a_4x[n-4] + \cdots$$



***FIR digitalni filtar**. Pri FIR filtriranju, svaki uzorak izlaznog signala, y[n], određuje se množenjem svakog uzorka ulaznog signala*

x[n], x[n-1], x[n-2], ...,

s impulsnim odzivom ili jezgrom filtra koja je određena koeficijentima

a_0, a_1, a_2, a_3... a_7. (Na principijelnoj shemi je jezgra FIR filtera određena s 8 koeficijenata, a može ih biti nekoliko tisuća). Svaki ima izvod iz kružnog međuspremnika.

Sumiranjem svih umnožaka dobiva se izlazni signal y[n].

***Promjena pojačanja signala** vrši se skaliranjem svih koeficijenata jezgre a_0, a_1, a_2, a_3... a_7, sa istim faktorom.*

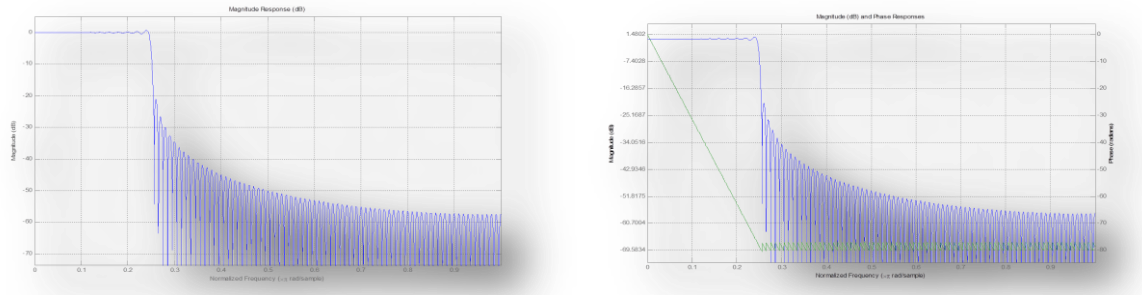
Kažemo **ulazni signal se konvoluira s jezgrom filtra** (tj., impulsnim odzivom) koja se sastoji od: a_0, a_1, a_2, a_3,.. Prema aplikaciji, u jezgri filtra može postojati nekoliko do nekoliko tisuća koeficijenata. Iako u ovom algoritmu postoji i prijenos podataka, procjena nejednakosti, kao što su pohrane međurezultata i upravljačke petlje, **matematičke operacije u potpunosti dominiraju vremenom izvođenja programa**. Osim brzog izvođenja matematičke operacije, DSP mora imati predvidivo vrijeme izvođenja.

Ako pokrenemo proces na računalu koji pretvara tekst dokumenta iz jednog oblika u drugi, nije važno koliko će to potrajati 10 ms ili 10 *s* ili pola sata; jednostavno **čekamo završetak procesa** prije nego što mu zadamo novi. DSP primjene obrade zvučnih signala su **obrade kontinuiranih signala, koje nemaju određeni početak i završetak**. Ako sustav prima 192000 uzoraka/s, DSP mora biti sposoban održati izlaz 192000 uzoraka/s **uz svu opisanu obradu**. Međutim, postoje razlozi zbog čega to ne bi smjelo biti brže. **Porastom brzine raste i cijena, potrošnja energije zbog većeg iskorištenja procesora, poteškoće pri izradi i projektiranju, pa točno vrijeme brzine izvođenja odlučuje izbor uređaja i primjenjivi algoritam.**

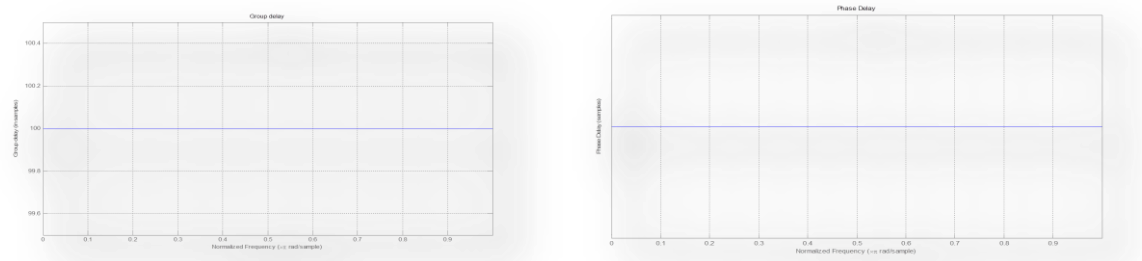
Za ilustraciju problema, projektirat ćemo FIR filter linearne faze s 201 koeficijentom gdje je $\Omega_0 = \pi/4$, koristeći Matlab alat *fvtools*. Prikazat ćemo mu karakteristike i troškove implementacije koji su proporcionalni broju sumatora i množitelja.

- Impulsni odziv **idealnog niskopropusnog filtera** je $h[n] = \frac{\Omega_0}{\pi}\mathrm{sinc}(\Omega_0 n) \quad -\infty < n < \infty$
- Ω_o predstavlja *kritičnu* ili *odreznu* frekvenciju filtera
- Impulsni odziv ima linearnu fazu zbog svojstva simetrije h[-n] = h[n]
- **Impulsni odziv ne može se izračunati jer je beskonačan i antikauzalan**
- Za proračun moramo konačni skup vrijednosti M+1 h[n] kasniti za M/2 uzoraka kako bi h[n] postao konačan i kauzalan
- Ako se FIR filter sastoji od neparnog broja koeficijenata, M+1, gdje je M paran i simetričan s obzirom na izraz M/2, filter će imati linearni fazni odziv $\Delta\theta = -(M/2)\Omega$.
- Grupno kašnjenje filtera će biti M/2.
- Takav filter nazivamo filter **tip I** (***neparne dužine i pozitivne simetrije***). Drugi tipovi filtera imaju različite permutacije dužine i simetrije. Filter **tip I** je najčešći i najlakši za projektiranje.
- Napravimo li impulsni odziv konačnim, djelovat ćemo na svojstva filtera ali ne i na linearni odziv faze

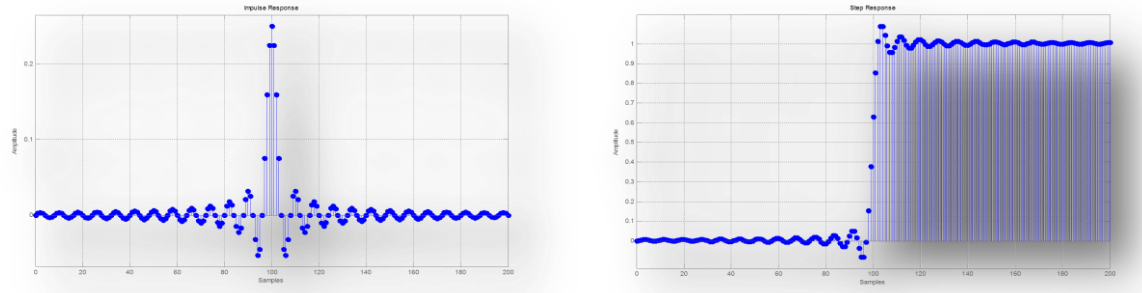
```
% Matlab program proračuna fazno linearnog FIR filtera dužine 201 uzorak
n=0:200;
% postavljamo red filtera dužine M+1=(n)=201 uzorak
omega=pi/4;
h=(omega/pi)*sinc((n-100)*omega/pi);   %računamo impulsni odziv i vršimo
% pomak na desno za M/2=100 uzoraka jer konačni skup vrijednosti
% M+1 h[n] kasnimo M/2 uzoraka kako bi h[n] postao konačan i kauzalan
fvtool(h,1)
```



Magnitudni odziv i fazni odziv



Grupno kašnjenje i fazno kašnjenje



Impulsni odziv i odziv na step

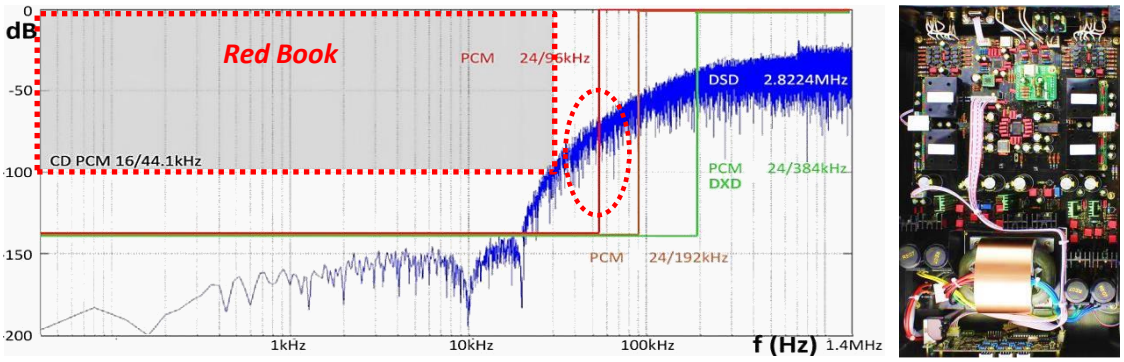
```
Discrete-Time FIR Filter (real)
-------------------------------
Filter Structure     : Direct-Form II Transposed
Numerator Length     : 201
Denominator Length   : 1
Stable               : Yes
Linear Phase         : Yes (Type 1)

Implementation Cost
Number of Multipliers                : 201
Number of Adders                     : 200
Number of States                     : 200
Multiplications per Input Sample     : 201
Additions per Input Sample           : 200
```

Karakteristike filtera i troškovi implementacije

Program izračunava u dvostrukoj preciznosti i 201 koeficijent jezgre a_0, a_1, a_2, a_3... a_{200}.

Na donjem dijagramu vidimo dinamička i frekvencijska područja signala rezolucije *16/44.1 24/96 24/192 24/384 i DSD 1/2822400*. Šum kvantizacije DSD signala postepeno raste i počinje dominirati nad korisnim harmonicima zvučnog signala na frekvencijama od oko *30-50 kHz*.



Dinamička i frekvencijska područja signala 16/44.1 24/96 24/192 24/384 i DSD 1/2822400 – DSD DAC

Zadaća DSD -> PCM pretvarača je filtriranje 1-bitnog šuma kvantizacije. Potrebno je projektirati niskopropusni filter na frekvencije oko *30, 40 ili 50 kHz*. Međutim, postavimo li niskopropusni filter na frekvenciju od 21 kHz, očito je da ćemo filtrirati i dio harmonika korisnog signala. Teorija i praksa obrade zvučnih signala pokazuje da se filterima blage strmine psihoakustički dobije **mnogo prirodniji zvuk** jer takvi filteri imaju mnogo manje istitravanje i mnogo manji kvantizacijski šum.

Za eliminiranje 1-bitnog šuma kvantizacije možemo primijeniti filter vrlo blage strmine. Budući da je u signalu iznad Nyquistove frekvencije samo šum, nakon *downsamplinga* taj šum će se zrcaliti i djelovati kao dither oblikovani šum, tj. psihoakustički može doprinijeti dinamičkom području. Ako takav filter primijenimo na područje od 21 kHz (*fs=44.1 kHz*), zrcalit će se harmonici zvučnog signala pa će u konačnom rezultatu nastati neugodne tvorbe slične aliasu.

Zaključak

Možemo zaključiti: računalom s klasičnim HD diskom, pri pretvorbi DSD u PCM podrška za frekvenciju 44.1 kHz zahtjeva ekstremno strmi filter. Takav filter zahtjeva mnogo veću iskoristivost procesora nego filtri pri mnogostruko višim frekvencijama, a istovremeno imaju mnogostruko višu grešku kvantizacije. Takvi filteri ne uzimaju u obzir tvorbe koje nastaju pri generiranju DSD signala, a koji poboljšavaju percipiranu dubinu zvučne slike. Pri slušanju SACD signala primjećujemo karakteristike koje su posljedice komponenti visokofrekvencijskog šuma. Dakle, pri DSD->PCM pretvorbi najbolje je koristiti maksimalnu frekvenciju koju podržava primijenjeno sklopovlje *(96 ili 192 kHz).* Ako sklopovlje podržava 384 kHz onda sigurno može podržavati i DSD DAC pa pretvorba nije potrebna.

Primijenjeni FIR filter mora biti podešen između *30 i 50 kHz*, te obvezno FIR tipa dvostruke preciznosti. Ako je procesor računala pri takvim postavkama preopterećen, koriste se minimalne vrijednosti fs (*96 kHz* i cjelobrojne vrijednosti ili jednostruka preciznost pri obradi).

Iako DSD signal može imati neke prednosti, ponekad se složenom DSP obradom DSD signali, posebno oni nastali od analognih mastera, dodatno poboljšavaju kako bi zvučali još privlačnije. Dodatna obrada impulsa može se postići apodizacijom primjenom Sox resamplera, kako je opisano u prezentaciji *HD.pdf* na ovom siteu. Pri reprodukciji pretvorbom DSD->PCM nikad ne koristimo frekvenciju sempliranja *44.1 kHz*.

Kraj 1. dijela - nastavak – 2. dio Primjena ***DSD*** i ***DoP DAC*** na računalu sa ***SSD*** diskom