

Konstruktion av crossover och effektförstärkare

Niklas Forsström

Miriam Skarin

23 juni 2020

Sammanfattning

I den här rapporten diskuteras Fourierteorins betydelse vid analys av signaler. Vidare diskuteras uppbyggnad och kvalitet för en crossover och effektförstärkare. Mer specifikt beskrivs en metod för att konstruera och testa en "two way-crossover" av andra ordningens aktiva filter, samt en klass A-effektförstärkare med en transistor. Den egenkonstruerade crossovers överföringskaraktär och faskaraktär för olika frekvenser uppmättes med ett oscilloskop. Även en frekvensanalys på crossovern samt på effektförstärkaren genomfördes för kvalitetsbedömning. Crossovern och effektförstärkaren kopplades sedan till högtalare för ljudanalys. Överföringskaraktär för crossovern blev relativt platt, med en skillnad på 8 % på intervallet 50-500 Hz, medan faskaraktären ej blev linjär. Effektförstärkaren hade bra förstärkning men kort användartid då dess komponenter tenderade att överhettas. Som slutsats ges att en andra ordningens crossover enkelt kan konstrueras och erhålla önskade egenskaper. Vidare dras slutsatsen att en klass A-effektförstärkare lämpar sig bra för hemmabygge men är för ineffektiv för annat bruk.

Nyckelord: Fourierteori, Sallen Key-filter, crossover, effektförstärkare, faskaraktär, frekvensgång, spektralanalys

Abstract

This pre-study will be discussing the importance of Fourier theory in the realm of signal analysis, as well as the constructing and quality testing two types of electronic components, a crossover and a power amplifier. Less generally the components that are to be tested are a two way crossover, made from second order Butterworth filters, as well as an A class power amplifier, based around a transistor. The transfer functions of the constructed crossover for different frequencies was measured using an oscilloscope. A frequency analysis was also performed on both the crossover and the amplifier to determine how well they perform. Finally the crossover and amplifier were connected to a loudspeaker for audio testing. The magnitude transfer function for the crossover turned out to be relatively flat, with a magnitudal difference of 8 % on the interval 50-500 Hz, whereas the phase transfer function turned out to be non-linear. The amplifier had a good amplification rate, but lacked in usability since its components had a tendency towards overheating. As a conclusion a second order crossover can easily be constructed, and still maintain desired attributes. We also conclude that a class A-amplifier is well fit for DIY. projects, but is to inefficient to be of any real commercial use.

Keywords: Fourier theory, Sallen Key-filter, crossover, amplifier, transfer function, spectral analysis

Innehåll

1	Inledning	1
2	Teori	1
2.1	En crossovers uppbyggnad	3
2.2	Effektförstärkare	5
3	Metod	5
3.1	Fourierteorin och demonstration av fönster och vikning	5
3.2	Konstruktion och testning av crossover	6
3.3	Konstruktion av effektförstärkare	7
4	Resultat	7
4.1	Crossovers karakteristika och kvalitet	8
4.2	Effektförstärkarens kvalitet	9
5	Diskussion	10
5.1	Crossovers konstruktion, karakteristika och kvalitet	10
5.2	Effektförstärkarens konstruktion och kvalitet	11
5.3	Felanalys	11
6	Slutsatser	11
A	Frekvensrepresentationer	i
B	Vikning	ii
C	Fourierserier	ii
D	Fönsterfunktioner	iii
E	Karakteristik för en crossover	iv
F	Oscilloskopets XY-läge	v
G	Butterworthfiltrets komponenter	v

1 Inledning

Dagens högtalare är konstruerade för att arbeta med vissa frekvenser. En ljudsignal måste därför delas upp efter frekvens för att sedan skickas vidare till sina specifika högtalare. Det är även nödvändigt att signalen har viss styrka innan den anländer till högtalaren. För att mäta kvalitén på systemet används ofta signalanalys där Fourierteorin är ett smidigt verktyg för att växla mellan tids- och frekvensdomänen. I frekvensdomänen kan man enkelt analysera en signals frekvenskomponenter och upptäcka störningar i form av felaktiga frekvenser, uppkomna av de elektriska kretsar signalen passerat genom.

Den komponent i audiosystemet som ansvarar för frekvensuppdelningen kallas crossover. Den är uppbyggd av elektriska filter som bestämmer vart brytpunkterna för frekvensområdena är. För att sedan få nödvändig signalstyrka används en effektförstärkare, vanligtvis uppbyggd av transistorer. Idealt sett ska ljudet ut från högtalaren vara identiskt med det som skickats in.

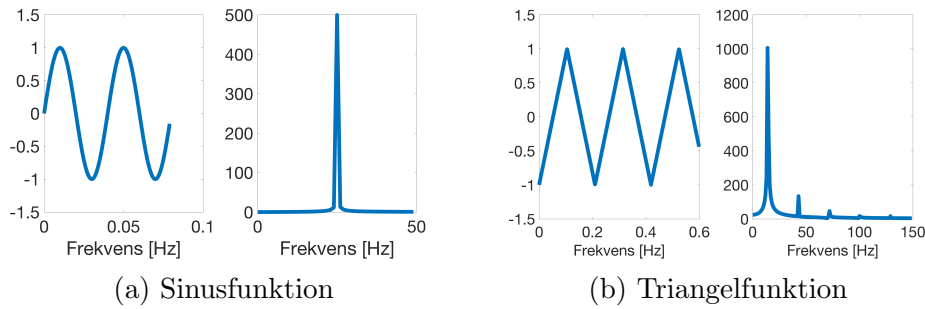
Syftet med denna studie är att konstruera en enkel crossover och effektförstärkare, samt utföra kvalitativa tester av dessa konstruktioner. Med hjälp av ett oscilloskop analyseras samt dokumenteras bland annat crossovers överföringskaraktistik, utsignal som funktion av frekvens och faskaraktistik, fäsvridning som funktion av frekvens. Slutligen testas ljudkvalitén för respektive konstruktion tillsammans med högtalare. Utmaningen är att få crossovern och effektförstärkaren att påverka den ingående signalen minimalt.

2 Teori

Inom signalanalys analyseras normalt sett signaler i tidsdomänen. När frekvensinnehållet är av intresse så är det däremot mer effektivt att studera signalen i frekvensdomänen då det visar kvantiteten av signalens frekvenskomponenter. Fourierteorin relaterar matematiskt tids- och frekvensdomänen enligt

$$V(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

och används för att gå mellan de två domänerna. Figur 1 visar exempel på två olika signaler givna i tids- samt frekvensdomänen. Notera att sinussignalen (a) endast består av en frekvens medan triangelsignalen består av flera. Spektrallinjernas amplituder är korrelerade med hur stor del av signalen som består av den frekvensen. Fourierteorin visar detta genom fourierserier, där signalens fourierserieutveckling kommer ha avtagande koefficienter, se Appendix.



Figur 1: Två fouriertransformerade signaler. I (a) syns bara en spektrallinje eftersom sinus endast har en frekvenskomponent. I (b) syns flera spektrallinjer eftersom triangelvågen kan ses som en uppsättning sinusvågor med varierande frekvens. Notera den avtagande amplituden hos högre ordningens spektrallinjer.

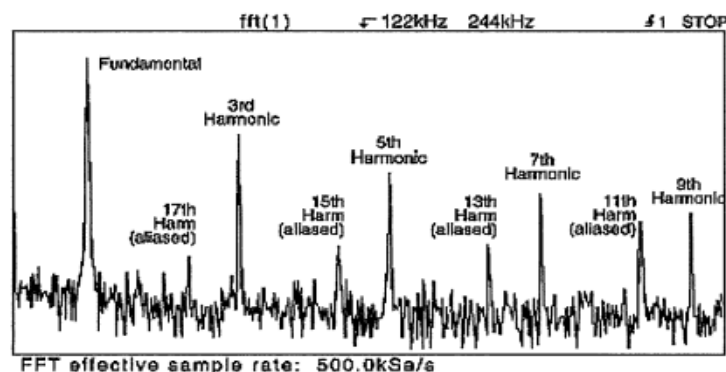
Den diskreta Fouriertransformen DFT använder diskreta punkter i tidsdomänen och transformerar dessa för att få en representation i frekvensdomänen. DFT beräknar på så sätt en summa istället för en integral, som vid analytisk fourietransform, se Ekvation 1. Ekvationen för DFT ser ut enligt

$$F(w_k) = \sum_{n=0}^{N-1} f(t_n) \cdot e^{-i2\pi kn/N} \quad w_k = \frac{2\pi k}{NT}. \quad (2)$$

FFT (Fast Fourier Transform) använder, på samma sätt som DFT, diskreta punkter men med annan metod som minskar antalet operationer från N^2 , som DFT kräver, till $N \cdot \log(N)$, där N betecknar antalet mätpunkter. Här beräknas inte summan i varje steg. FFT och DFT tillåter oss att applicera den matematiska teorin hos fourietransformen i verkliga scenarion där det bara finns samplade mätvärden och inte kontinuerliga, vilket analytisk fourietransform kräver.

Vikning, även kallat aliasing, är ett problem i sammanhang där det finns signaler med frekvens högre än Nyquistfrekvensen¹. Signalen "viks" då ner i det frekvensområde som kan samplas och uppkommer som en signal med felaktig frekvens. Är det känt vilka frekvenser signalen ungefär ska bestå av är vikning lätt att upptäcka [7]. Figur 2 visar exempel på frekvenskomponenter som uppkommit på grund av vikning när insignalen var en triangelvåg. Notera att det bara är de högre ordningens spektrallinjer som viks ner. Den högsta spektrallinjen är den fundamentala och de resterande blir sedan lägre för varje ordning på spektrallinjen, helt enligt en fourierserie. Vikning är missledande för mätningar men kan undvikas genom användning av tillräcklig hög samplingfrekvens. Har signalen ingen maxgräns så kan istället ett låpassfilter användas för att begränsa dess frekvensinnehåll.

¹Nyquistfrekvensen definieras som $f_{eff}/2$, där f_{eff} är samplingfrekvensen



Figur 2: Ett exempel på vikning som uppkommit vid mätning av en triangelsignal. Notera att det bara är de högre ordningens spektrallinjer som viks ner. [7]

Ett oscilloskop använder DFT för att transformera signaler till frekvensdomänen. Signalen som skickas in i oscilloskopet har dock oändlig utsträckning vilket blir ett problem då DFT endast kan användas på begränsade intervall. Man applicerar därför ett “fönster”, i vilket man betraktar signalen, genom att multiplicera den ingående signalen med den tillhörande fönsterfunktionen. Beroende på vad i signalen som ska studeras används olika fönsterfunktioner där kompromissen står mellan bra amplitudrepresentation eller bra frekvensupplösning. Hanningfönstret ger exempelvis bra frekvensupplösning på bekostnad av amplituden medan Gaussiansfönstret ger en något bättre amplitudrepresentation. Rektangulärfönstret förtrycker istället signalen utanför det intressanta intervallet, inom vilket funktionen förblir densamma. För att avgöra vilket fönster man använder kan man kolla på en perfekt sinussignal i frekvensdomänen. Det man ser kommer då vara fouriertransformen av den aktuella fönsterfunktionen [7].

En signal med brus kan representeras av en grundsignal och en kaotisk signal, fluktuerande kring noll, som är adderad till grundsignalen. En signal utan brus är alltid mer önskvärd och eftersom brussignalen ungefär är lika mycket positiv som negativ, kan inverkan av denna kraftigt reduceras genom medelvärdesbildning.

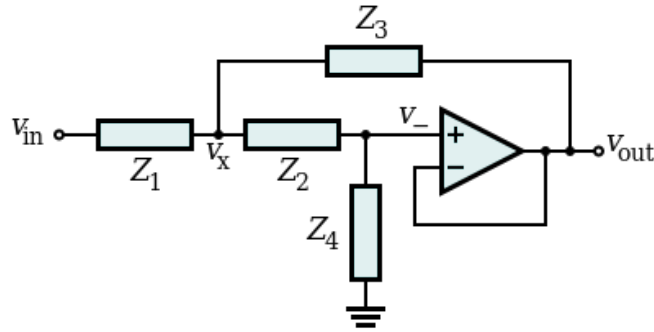
2.1 En crossovers uppbyggnad

Filter i en elektrisk krets låter signaler av vissa frekvenser passera, samtidigt som det spärrar för signaler av andra frekvenser. Filter kan delas upp i olika kategorier dels beroende på vart deras pass/- spärrband ligger, dels efter vilka komponenter de är byggda av. Det sistnämnda bestämmer om filtret är aktivt eller passivt, där skillnaden är att det aktiva filtret innehåller en aktiv förstärkare medan det passiva innehåller en induktans [5].

En sorts aktivt filter är Sallen Key-filtret, se Figur 3. För ett andra ordningens filter består kopplingen av en operationsförstärkare och fyra/sex passiva komponenter: två/fyra resistanser och två kondensatorer. Genom att bestämma typen på impedanserna Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 konstrueras ett låg- eller högpasfilter. Om Z_1 och Z_2 väljs till resistanser samt Z_3 och Z_4 till kondensatorer är det ett lågpasfilter och vice versa för ett högpasfilter. Gränsfrekvensen för hela filtret ges av

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (3)$$

och är därmed relaterad till värdena på komponenterna.



Figur 3: Ett andra ordnings Sallen Key-filter som kan konstrueras till att antingen fungera som ett låg- eller högpasfilter genom olika val av impedanser. [8]

Ett av de vanligaste filtren är Butterworthfiltret, ett Sallen Key-filter med överföringsfunktionen

$$H(s) = \frac{F_0}{s^2 + \sqrt{2}s + 1}, \quad (4)$$

där F_0 är förstärkningen [3]. Filtrets överföringsfunktion resulterar i att alla frekvenser inom passbandet har en näst intill ekvivalent förstärkning, däremot inte en linjär fasrespons. För att erhålla den önskade överföringskaraktistiken kan filtret konstrueras på diverse olika sätt. Det krävs minst fyra passiva komponenter vars värden beror på gränshfrekvensen samt överföringsfunktionen. För detaljerade beräkningar, se Figur 21 i Appendix. Förstärkningen F_0 hos filtret beror på vilken fysisk koppling som används för att erhålla det önskade nämnarpolynomet i Ekvation (4).

Genom att kombinera olika filter kan en crossover byggas. En crossover i samband med högtalare är en konstruktion vars uppgift är att ta en signal och separera dennes frekvenser för att sedan dedikera ett visst frekvensspektra till en specifik högtalare. Det som utmärker god kvalitet hos crossovern är att insignalen är identisk med utsignalen. Val av crossover beror på vilka egenskaper ljudsystemet kräver, exempelvis hur snabbt frekvenser som ligger utanför det önskade intervallet ska dämpas. (Se Figur 19 i Appendix.) Detta för att motverka att högtalarna arbetar utanför sina tänkta intervall eftersom det försämrar ljudupplevelsen. Även reaktionshastigheten vid snabba förändringar, vilken är viktigt för att motverka "ringande" vid plötsliga förändringar av insignalen, och fasförskjutning i utsignalen varierar beroende på val av crossover. Ofta vill man erhålla både snabb amplituddämpning utanför det önskade intervallet och snabb reaktionstid. Det är den viktigaste, men också svåraste, balansgången vid val av crossover då den ena egenskapen blir lidande av en förbättring hos den andra.

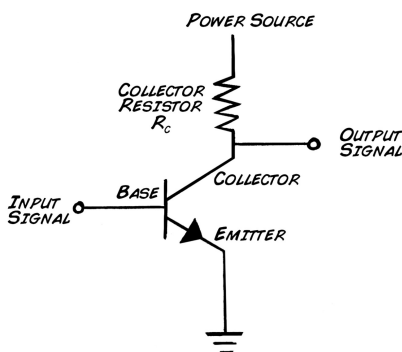
En "two way-crossover" delar upp frekvenserna i två olika intervall med hjälp av ett låg- respektive högpasfilter. De låga frekvenserna skickas sedan till en så kallad "woofer" och de höga skickas till en "tweeter" [3]. Vilket sorts filter som används bestäms utefter vilka specifika egenskaper som önskas hos crossovern. En crossover som byggs av butterworthfilter kommer ha en bra balans sett till de ovan nämnda egenskaperna. Istället för att den snabba reaktionstiden och amplituddämpningen hos crossovern är väldigt bra respektive dålig så kommer dessa två, mest önskade egenskaper, vara någorlunda likvärdiga.

När andra ordningens filter används för att bygga en crossover kommer en fasförskjutning på 180° mellan de två frekvensområdena att uppkomma. En signal behöver därför inverteras genom att koppla dess högtalare omvänt. Det vanligaste för aktiva filter är att tweetern får en inverterad utgång [3].

2.2 Effektförstärkare

För att en signal ska få rätt styrka innan den anländer till en högtalare används ett förstärkarsystem. En effektförstärkare är den del av förstärkarsystemet med uppgift att förstärka insignalen med en konstant faktor. Den är vanligtvis uppbyggd av transistorer i kombination med andra passiva komponenter. Det mest önskvärda är att alla frekvenser i signalen förstärks likvärdigt och en effektförstärkare som gör det kallas linjär. Är förstärkaren inte linjär kommer det uppstå distortion i signalen, vilket syns vid till exempel frekvensanalys, då falska frekvenskomponenter kan ha uppkommit [9]. En förstärkare kan dock inte vara perfekt linjär då den är uppbyggd av komponenter som inte är helt ideala.

Inom ljudsektorn talas det om tre olika klassificeringar på förstärkare, klass A, B och AB. Klass A är den enklaste modellen med en transistor som förstärker hela signalens period, se Figur 4. Den har verkningsgrad på ungefär 25 % och blir därför mindre användbar i avseenden känsliga för värmeutveckling. En klass B-förstärkare förstärker bara 50 % av signalens period, antingen den positiva eller den negativa. Genom att använda två sådana i mottaktkoppling kan en hel period förstärkas. I glappet mellan att en transistor slutar leda till att den andra börjar, uppstår dock en övergångsdistortion, vilken kan minskas genom att låta transistorerna var för sig förstärka mer än 50 % av perioden. På så sätt fås en förstärkare tillhörande AB-klassen. De vanligaste klasserna inom audio är B och AB då de är effektivare än klass A medan klass A har fördelen att den är lättare att konstruera.



Figur 4: Ett exempel på en klass A-effektförstärkare.[2]

3 Metod

3.1 Fourierteorin och demonstration av fönster och vikning

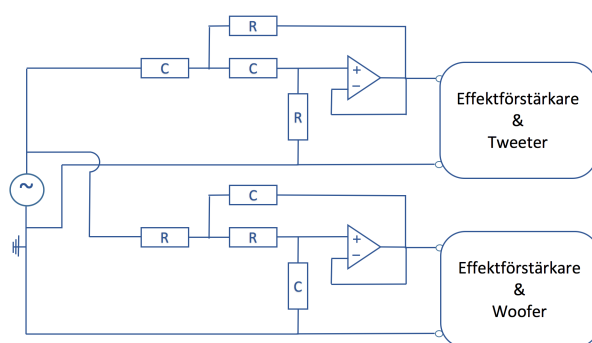
För att verifiera Fourierteorin ställdes oscilloskopet Tektronix TDS5032 in på frekvensanalysläge med linjär representation. Med hjälp av funktionsgeneratoren Agilent 33220 skickades en sinussignal med amplitud 100 mV och frekvens 290 kHz in till oscilloskopet. Oscilloskopets verktyg Cursors samt de olika fönstren Gaussian och Hanning användes för att läsa av spektrallinjens amplitud respektive frekvens. Samma amplitud och frekvens användes sedan för mätningar på fyrkants-, sågtands-, och triangelvågssignal. Alla signalernas spektrallinjer jämfördes sedan med deras fourieserieutvecklingar, vilka kan hittas i Appendix.

Vikning demonstrerades genom att använda en fyrkantsvåg på 200 kHz med amplitud 100 mV som insignal, samt en samplerate på 500 ks^{-1} . På så sätt fanns det frekvenser för höga för den givna samplefrekvensen. De olika fönsterfunktionerna undersöktes

genom att använda samma insignal fast sinus- och triangelformad, samt variera vilket fönster som studerades. Oscilloskopet ställdes sedan in på tidsdomänen för att med medelvärdesbildning undersöka brusreducering av en brusig insignal.

3.2 Konstruktion och testning av crossover

Två aktiva låg- och högpasfilter parallellkopplades för att erhålla en two-way crossover, se Figur 5. Kretsen simulerades först i Multisim för att bestämma de värden på komponenterna som gav önskvärda egenskaper. Simuleringen hade sin utgångspunkt i Ekvation 3 med $f_0 = 200$ Hz samt i värdena på de fysiska komponenterna som fanns tillhands. För att underlätta valdes R_1 och R_2 till samma värde. Värdena på resistanserna och kapacitanserna bestämdes till $100\text{ k}\Omega$ respektive 820 nF , vilket gav en gränshfrekvens på 194 Hz . Två operationsförstärkare av typen UA741CP kopplades ihop med övriga komponenter för att erhålla den önskade kretsen.



Figur 5: Den designade two-way crossover. Det övre filtret blockerar låga frekvenser och kopplas därför vidare till tweeter. Det undre filtret blockerar höga frekvenser och kopplas till woofer.

Överföringskaraktistiken hos crossovern mättes med hjälp av oscilloskopet Tektronix TDS5032. Kanal 1 kopplades till lågpasfiltrets (woofers) utgång och kanal 2 till högpasfiltrets (tweeters) utgång. En matningsspänning på $\pm 15\text{ V}$ från DC Powersupply TPS-400 kopplades till operationsförstärkarna. Oscilloskopets mathfunktion användes för att visa värdet på Kanal 1-Kanal 2, där minustecknet kommer från att tweeter är fasförskjuten 180° . En sinusformad insignal med amplitud 1 V genererades från funktionsgeneratoren Agilent 33220. Signalens frekvens ändrades stegvis från 500 Hz till 50 Hz och amplituden på mathfunktionen samt de två kanalerna noterades för varje frekvens, i en tabell.

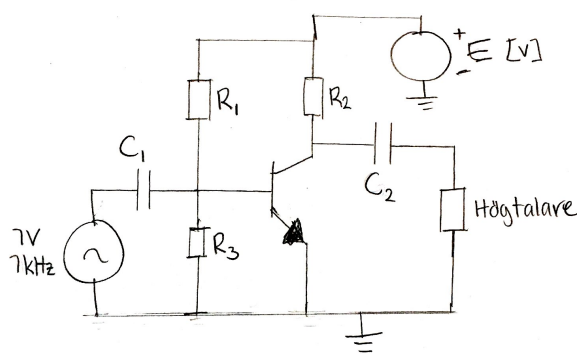
För att sedan mäta fasskillnaden mellan den in- och utgående signalen användes oscilloskopets XY-läge. Crossoverns insignal samt woofer kopplades till kanal 2 respektive kanal 1. Insignalen hade en fortsatt amplitud på 1 V och en frekvens som varierades från 50 Hz till 250 Hz . Sedan kopplades tweeter istället för woofer till kanal 1 och insignalens frekvens ökade stegvis från 150 Hz till 1000 Hz . I båda fallen visades en ellips på oscilloskopet vars utseende berodde på fasrelationen mellan de två signalerna (för utförligare beskrivning av oscilloskopets XY-läge, se Appendix). De uppmätta värdena nedtecknades i en tabell.

Kvaliteten hos crossovern kontrollerades i oscilloskopets frekvensanalysläge med användning av Hanningfönster för att få den bästa frekvensrepresentationen. Utgångarna på crossovern kopplades en i taget till oscilloskopet. Precis som tidigare var insignalen en sinusvåg vars frekvens valdes utefter respektive filters arbetsområde. Spektrallinjerna tillhörande

ut- och insignal jämfördes därefter för att identifiera eventuella förvrängningar då signalen passerat genom crossovern. Slutligen kopplades båda utgångarna, via varsin effektförstärkare, till en högtalare för att undersöka ljudkvaliteten och om den delade tonerna rätt. Då crossovern byggdes av andra ordningens filter kopplades tweeters utgång inverterat. En potentiometer placerades även mellan funktionsgeneratorn och ingången på crossovern för reglering av ljudvolymen.

3.3 Konstruktion av effektförstärkare

Effektförstärkarens klassificering valdes till klass A eftersom den klassen är något enklare och varken verkningsgrad eller temperaturkänslighet var av större vikt för studien. Att erhålla en signal utan större distortion, något en förstärkare av annan klass skulle ge, var däremot viktigare. Kopplingen byggdes utifrån ett fungerande förslag på effektförstärkare till högtalare [4], se Figur 6.



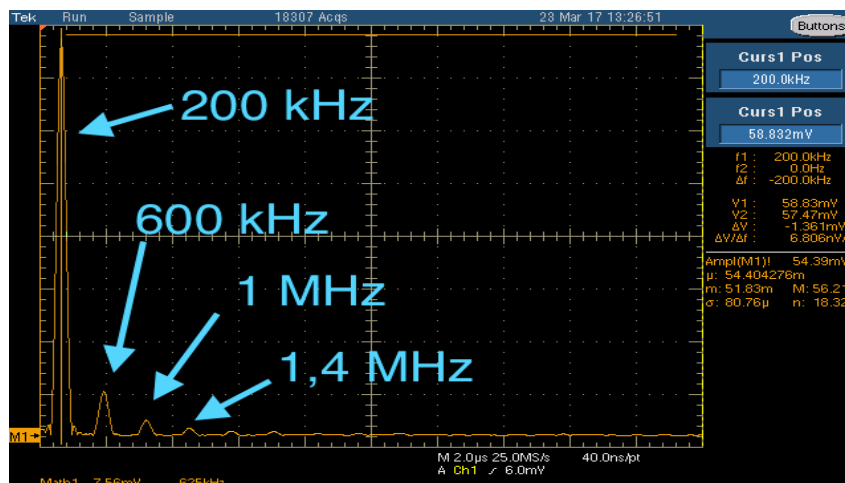
Figur 6: Uppställning av klass A-effektförstärkaren.

En BD237 NPN-transistor användes och värdet på övriga komponenter valdes utifrån de fysiska komponenter som fanns till hands enligt $R_1=1.5\text{ k}\Omega$ $R_2=10\text{ }\Omega$ $R_3=560\text{ }\Omega$ $C_1=6.8\text{ }\mu\text{F}$ $C_2=1000\text{ }\mu\text{F}$ med referensvärden från den givna kretsen. Matningsspänningen E på 15 V gavs från HP E3611A. Transistorns U_{CE} önskades vara 7.5 V för att kunna förstärka hela insignalens period och I_c kunde då läsas av till 2 A från transistorns datablad [6]. För att undvika att så mycket ström belastade en ensam komponent parallellkopplades tre motstånd á $30\text{ }\Omega$ för att erhålla R_2 . Transistorn placerades även på en kylplatta för att undvika överhettning vid de stora effektutvecklingarna.

Effektförstärkarens utgång kopplades sedan till en högtalare och en insignal med frekvens 1 kHz och amplitud 1 V skickades från funktionsgeneratorn till förstärkaren för att se om den kunde driva högtalaren. Effektförstärkarens kvalitet undersöktes genom att koppla dess utgång till oscilloskopets kanal 1 och den genererade insignalen med amplitud 440 mV till kanal 2. Oscilloskopets frekvensanalysläge användes för att jämföra signalernas spektrallinjer och deras amplituder.

4 Resultat

Vid verifieringen av Fourierteorin erhöles signaler som motsvarade fourierserietvecklingarna för de ingående signalerna, se till exempel Figur 7. För resultatet från de andra vågrepresentationerna, se Appendix.

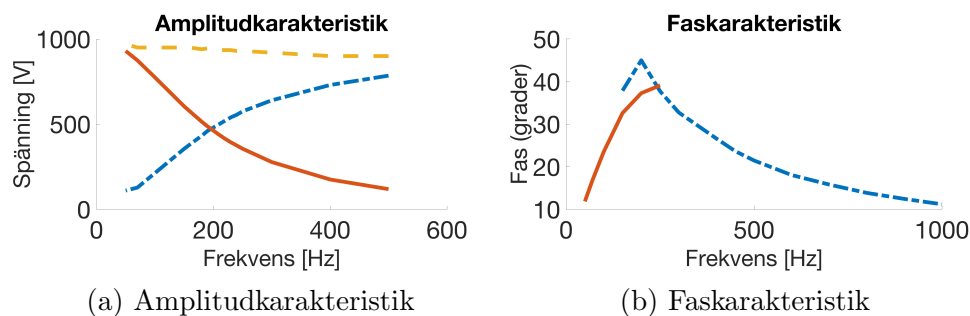


Figur 7: Oscilloskopets representation av en triangelvåg i frekvensanalysläge. Triangelvågen har amplituden 100 mV och frekvensen 200 kHz. Notera spektrallinjernas avtagande amplituder.

Vid undersökningen av Hanningfönstret blev spektrallinjen smal och för Gaussianfönstret bredare med en något bättre amplitudmodellering. Med Rektangulärfönstret blev insignalens frekvensrepresentation kraftigt förvrängd. Bilder på resultatet samt på fenomenet vikning hittas i Appendix.

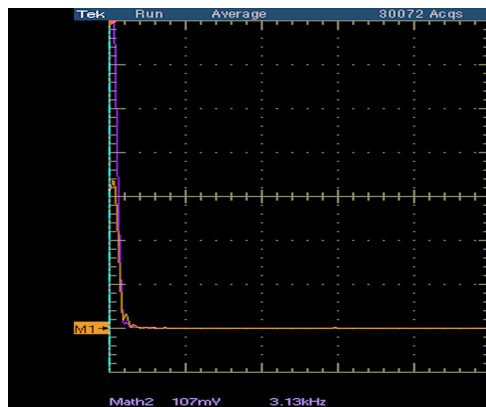
4.1 Crossoversns karakteristika och kvalitet

Figur 8 visar crossoversns uppmätta amplitud- samt faskarakteristik. I (a) noteras att den totala utsignalens amplitudkarakteristik är smått avtagande, med en åttaprocentig skillnad mellan högsta och lägsta värde.

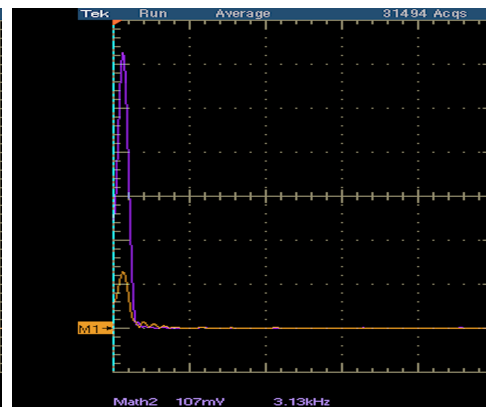


Figur 8: (a) visar amplitudkarakteristiken för woofern (heldragen linje), tweetern (punktstreckad linje) och den totala utsignalen (streckad linje). Notera den totala utsignalens relativt platta utseende. (b) visar faskarakteristiken för woofern (heldragen linje) och för tweetern (punktstreckad linje).

Resultatet av frekvensanalysen för woofern visas i Figur 9.



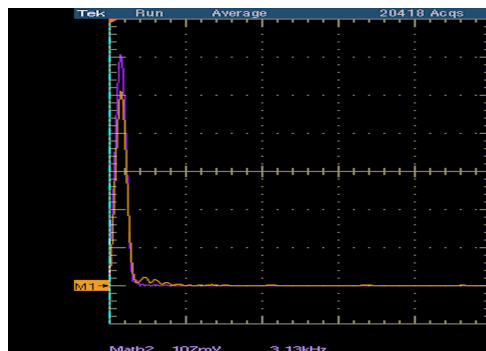
(a) Woofer vid 100 Hz



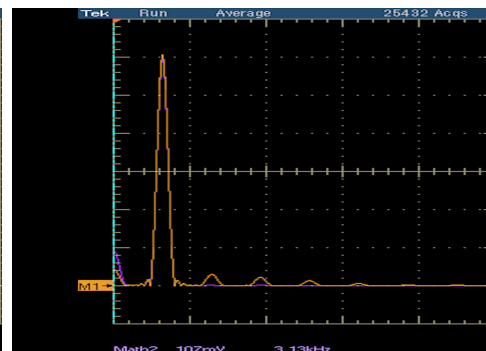
(b) Woofer vid 400 Hz

Figur 9: Figuren visar frekvensrepresentationen av wooferns utgående signal (orange) då crossovern matas med en sinussignal (lila). Notera att utsignalen endast består av en spektrallinje vid de två frekvenserna.

Resultatet från frekvensanalysen av tweetern visas i Figur 10. Notera de extra frekvenskomponenter som uppkommit vid 2 kHz.



(a) Tweeter vid 460 Hz



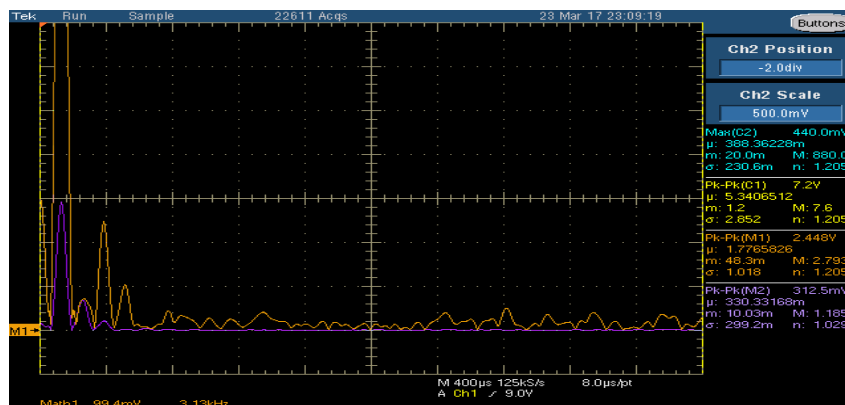
(b) Tweeter vid 2 kHz

Figur 10: Figuren visar frekvensrepresentationen av tweeterns utgående signal (orange) då crossovern matas med en sinussignal (lila). Notera att det uppkommit ytterligare spektrallinjer i utsignalen i (b); dessa har ingen motsvarighet i insignalen.

Ljudanalysen av crossovern gav ett skapligt resultat. Falska frekvenskomponenter kunde med lite ansträngning urskiljas, dessa påverkade dock inte ljudet markant. Det upplevdes att crossovern delade frekvenser på önskat sätt.

4.2 Effektförstärkarens kvalitet

Den konstruerade effektförstärkaren klarade av att driva högtalarna som den kopplades till. Den förstärkte även insignalen med en faktor ≈ 10 sett till mätvärdena från oscilloskopet, se Figur 11. Observera att förstärkningen av bruset är litet relativt förstärkningen av grundfrekvensen vars hela amplitud ej syns i bild.



Figur 11: Figuren visar effektförstärkarens förstärkning av insignalens frekvenskomponent. Notera att den förstärkta grundfrekvensen ej får plats i bild och störningarna som i bilden ser relativt stora ut är emellertid små i jämförelse. Kvoten mellan amplituden hos den förstärkta grundspektrallinjen och den största bruskomponenten är cirka 10.

5 Diskussion

Att ha demonstrerat fenomenet vikning gjorde att vi senare kunde undvika denna typ av distortion. Även analysen av olika fönsterfunktioner underlättade för senare mätningar då det gav en bra förståelse för vilket fönster som var bäst lämpat för de olika karaktäristikerna.

5.1 Crossovers konstruktion, karaktäristikor och kvalitet

Från mätningen av amplitudkaraktistiken noteras att låg - respektive högpasfilter jobbar lite mer utanför sina tänkta arbetsområden. Detta kan bero på en felkonstruktion i kretsen. Våra förväntade resultat baserades på ett Butterworthfilters egenskaper men värdet på crossovers kondensatorer blev felaktigt, sett till överföringsfunktionen hos ett andra ordningens Butterworthfilter då värdet på $2w_0RC_1$ (koefficienten framför "s") kan beräknas till 2 istället för $\sqrt{2}$. Antagandet att det konstruerade filtret ska ha alla egenskaper enligt ett Butterworthfilter blir därmed felaktigt. Felkonstruktionen verkar dock inte ge någon markant påverkan på crossovers frekvensgång, vilket gör att den uppmätta amplitudkaraktistiken stämmer bra överens med den platta karaktistik som ett Butterworthfilter har.

Även faskaraktistiken uppvisar Butterworthfiltrets egenskaper då fäsförskjutningen som funktion av frekvensen resulterade i en icke linjär förändring för båda filtren. Som tidigare nämnts påverkar ej en fäsförskjutning ljudet märkbart så en "delay" bör inte höras, vilket resultatet från ljudanalysen stödjer. En svag distortion kunde däremot höras. Även frekvensanalysen av crossovern indikerar att en viss distortion uppkommer i tweetern och att denna förstärks något vid högre frekvenser. De två distortionerna kan antas ha ett samband och därmed orsaka den icke rena utsignalen.

Vid en eventuellt omkonstruktion av crossovern skulle kondensatorernas värden ändras för att helt uppfylla Butterworthfiltrets önskvärda egenskaper.

5.2 Effektförstärkarens konstruktion och kvalité

Effektförstärkarens förstärkarförmåga kan anses vara bra med ett värde kring 10. Däremot kunde den bara användas under korta perioder för att inte komponenterna i kretsen skulle bli överhettade. Det gör att dess totala kvalité inte kan antas vara tillräcklig för användning i andra syften än till liknande studier som denna. En begränsning i metoden låg i att komponenterna inte klarade av den stora effektvecklingen som uppkom. Skulle motstånden tålt mer i det avseendet kunde effektförstärkarens användartid förlängts. Då skulle den konstruerade kretsen fungera bra för hemmabruk och metoden kan anses vara ett smidigt sätt att bygga en effektförstärkare eftersom så få komponenter behövs. Ett annat sätt att förhindra en för hög effektveckling i respektive komponent skulle vara att parallellkoppla fler resistorer än de tre som användes i studien. Det är däremot inte särskilt platseffektivt och testades inte i vårt fall.

5.3 Felanalys

Som tidigare diskuterats kan de falska frekvenskomponenterna från tweetern antas ha en koppling till den svaga störningen i ljudet. Vart denna distortion hade sitt ursprung var dock svårt att lokalisera och mätningarna kunde därmed inte göras felfria.

Då effektförstärkarens komponenter var känsliga för effektvecklingen kunde den bara användas kortare stunder. Det krävdes då en snabb mättid och eventuellt kan vissa värden inte ha hunnit stabilisera sig vilket leder till att resultatet isåfall är något missvisande. Hade förstärkaren haft längre användartid kunde bättre mätvärden tagits.

6 Slutsatser

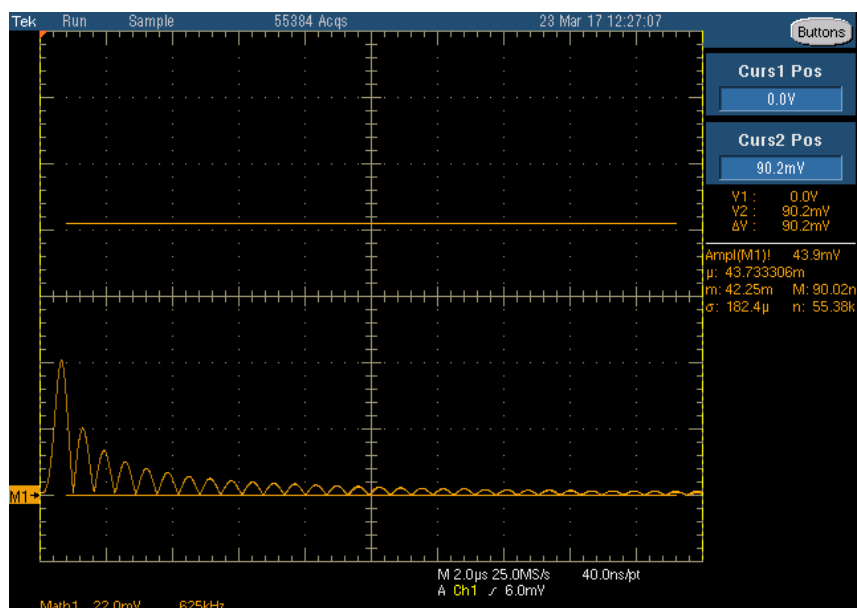
Vi kan dra slutsatsen att Fourierteorin är användbar vid frekvensanalys och att oscilloskopets frekvensanalysläge med dess inställningar är ett bra verktyg. Vi drar även slutsatsen att en crossover enkelt kan konstrueras för att ge önskade egenskaper, förutsatt att rätt komponenter används. En klass A-effektförstärkare kräver tåliga komponenter och lämpar sig bra för hemmabygge på grund av sin enkelhet. Den kan antas vara sämre för användning i kommersiellt syfte på grund av dess ineffektivitet, något som kan styrkas vid jämförelse med de effektförstärkare som används i vardagliga audiosystem.

Referenser

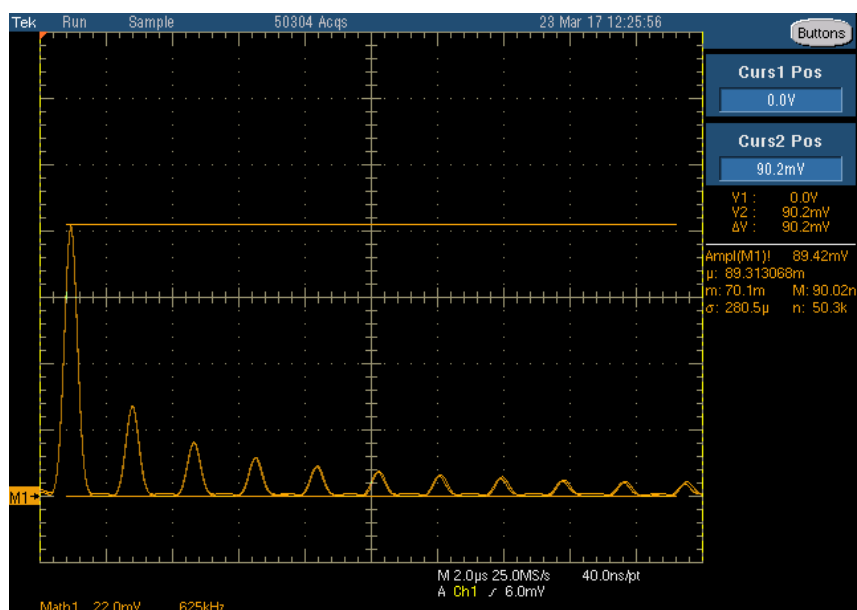
- [1] A. Borgoltz, W. J. Devenport, S. R. Edwards, B. Petrosky, *Analog instrumentation*, Senast ändrad: 7/2-16, Tillgänglig: <http://www.dept.aoe.vt.edu/~aborgolt/aoe3054/manual/inst1/index.html> (Hämtad 4/3-17)
- [2] Elcrost, *Transistor circuit design*, Tillgänglig: <http://elcrost.com/simple-amplifier/experimenttransistorcircuitdesignsimpleamplifierdiagram-commonem/>
- [3] Frekvensanalys, TIF081 Experimentell Mätteknik 1, *Application Notes 4*, Tillgänglig: <https://pingpong.chalmers.se/courseId/7722/node.do?id=3603350&ts=1484836780407&u=-634652366> (Hämtad 1/3 2017)
- [4] L. Nilsson, Föreningen Experimenterande Svenska Radioamatörer, Tillgänglig: <http://www.esr.se/phocadownload/klass%20a%20amp.pdf> (Hämtad 23/7 2017)
- [5] Nationalencyklopedin, *filter*. Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l/unhbox\voidb@x\bgroup\let\unhbox\voidb@x\setbox\@tempboxa\hbox{a\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\accent23a\egroup\spacefactor\accent@spacefactorng/filter> (Hämtad 4/3 2017)
- [6] ON Semiconductor *Datablad* Tillgänglig: <http://www.onsemi.com/pub/Collateral/BD237-D.PDF> (Hämtad 23/7 2017)
- [7] R. Witte, *Fourier Theory and Practice, Part 1: Theory*, Hewlett Packard Co, Tillgänglig <https://pingpong.chalmers.se/courseId/7722/node.do?id=3603352&ts=1484836780445&u=-634652366> (Hämtad 26/2 2017)
- [8] Wikipedia, Wikimedia Foundation, Inc. *Sallen-Key topology*, Tillgänglig: https://en.wikipedia.org/wiki/Sallen%E2%80%93Key_topology#cite_note-EE315A_Notes-1 (Hämtad 14/3 2017)
- [9] Wikipedia, Wikimedia Foundation, Inc. *Förstärkare* Tillgänglig: <https://sv.wikipedia.org/wiki/F%C3%B6rst%C3%A4rkare> (Hämtad 14/3 2017)
- [10] Wikipedia, Wikimedia Foundation, Inc. *Bipolar transistor biasing* Tillgänglig: https://en.wikipedia.org/wiki/Bipolar_transistor_biasing (Hämtad 10/3 2017)

A Frekvensrepresentationer

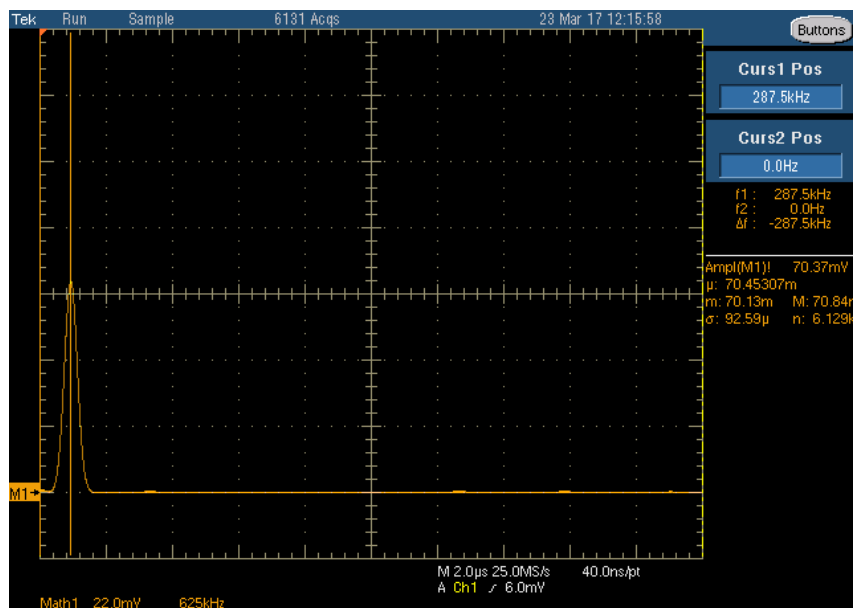
Nedan visas resultatet från de olika insignalerna representerade i frekvensdomänen.



Figur 12: Sågtandvågens frekvensrepresentation.



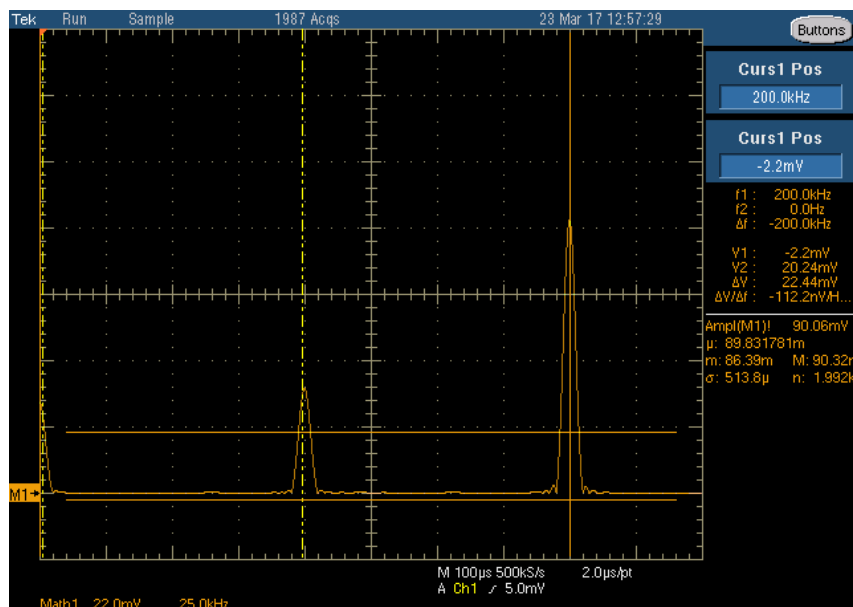
Figur 13: Fyrkantvågens frekvensrepresentation.



Figur 14: Sinussignalens frekvensrepresentation.

B Vikning

Figur 15 visar fenomenet vikning. De frekvenskomponenter från insignalen som överstiger Nyquistfrekvensen viks ner och uppstår som falska komponenter till vänster om grundfrekvensens spektrallinje.



Figur 15: Fenomenet vikning. De spektrallinjer som uppkommit till vänster om den högsta spektrallinjen har vikts ner till det frekvensspektra som kan samplas.

C Fourierserier

Ekvation 5 visar fourierserien för en triangelvåg.

$$f(x) = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n-1)^2} \sin\left(\frac{[2n-1]\pi x}{L}\right) \quad (5)$$

Ekvation 6 visar fouriersserien för en sågtandsvåg.

$$f(x) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \quad (6)$$

Ekvation 7 visar fouriersserien för en fyrkantssvåg.

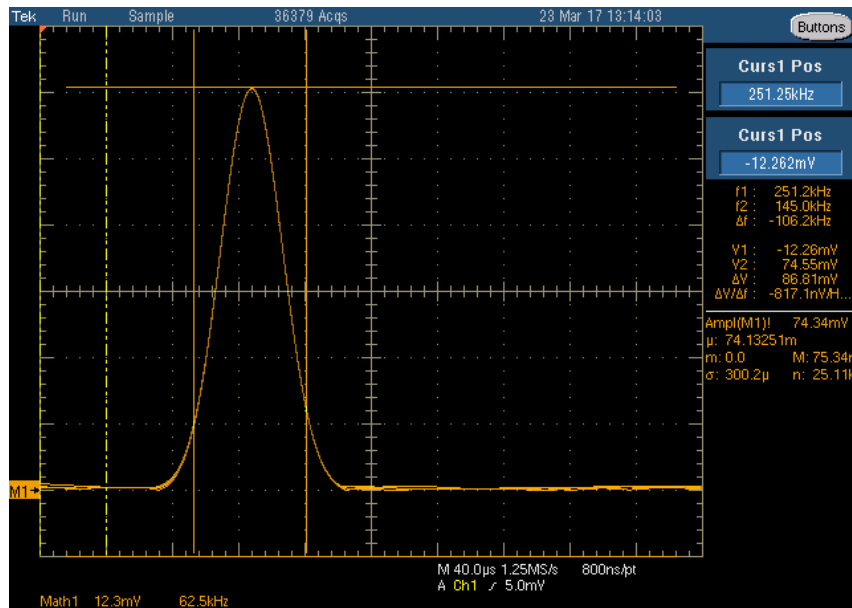
$$f(x) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(2n-1)\pi x}{(2n-1)L} \quad (7)$$

Ekvation 8 visar fouriersserien för en sinusvåg.

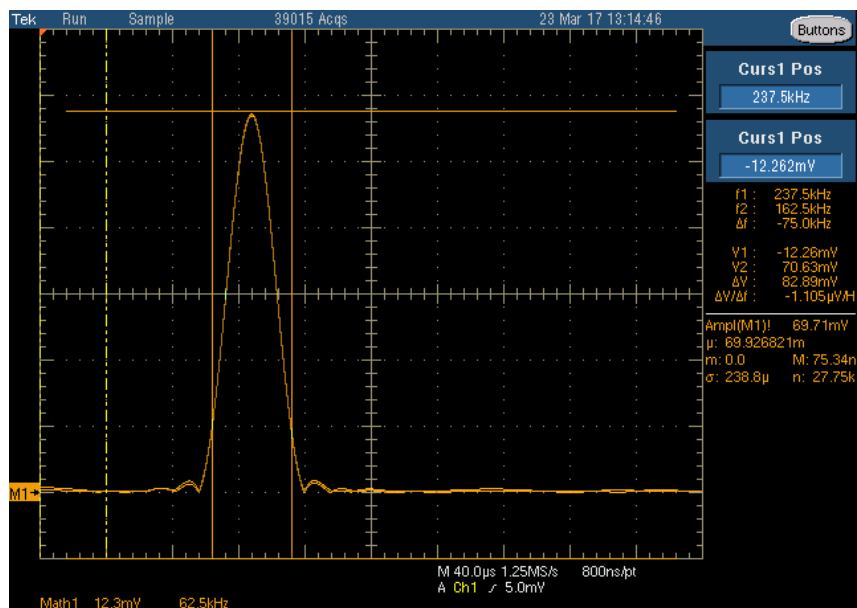
$$f(x) = \sin(x) \quad (8)$$

D Fönsterfunktioner

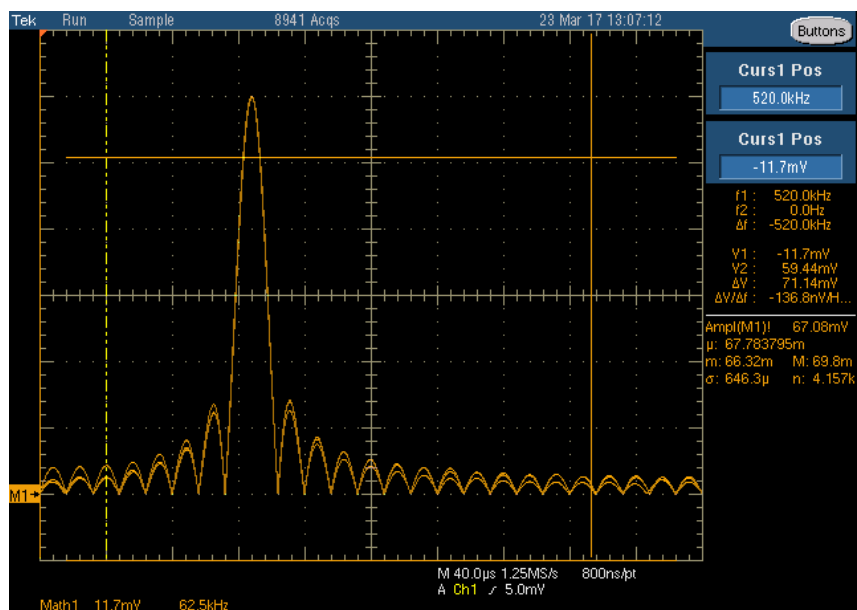
Nedan visas resultatet från användningen av de olika fönsterfunktionerna med en sinusformad insignal.



Figur 16: Gaussianfönstret



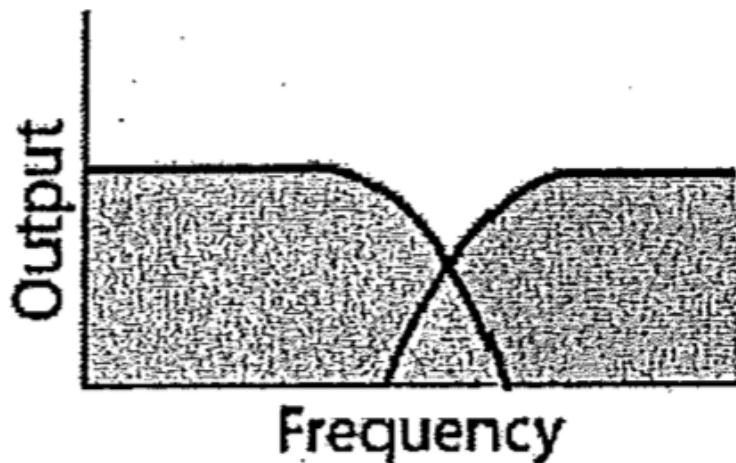
Figur 17: Hanningfönstret



Figur 18: Rektangulärfönstret

E Karakteristik för en crossover

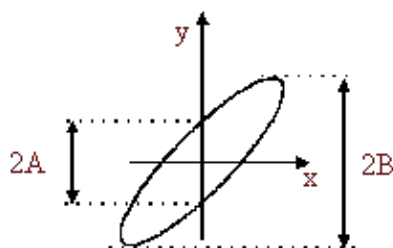
För att crossovern ska fungera idealt önskas lutningen på kurvorna i Figur 19 vara så branta som möjligt. Detta för att minimera området där både låg- och högpasfilter jobbar.



Figur 19: Karakteristik för en crossover byggd av ett lågpass- och ett högpasfilter. Det är önskvärt att ha så brant lutning som möjligt för att minimera området där de båda filtrena släpper igenom frekvenser.

F Oscilloskopets XY-läge

Figur 20 föreställer ellipsen som kommer visas på oscilloskopet. Med hjälp av ekvationen $\sin(\varphi) = A/B$, där A och B är enligt Figur 20, kommer fasförskjutningen φ mellan signalerna på oscilloskopets två ingångar att beräknas.



Figur 20: Ett exempel på två signaler representerade i oscilloskopets XY läge [1]

G Butterworthfiltrets komponenter

Figur 21 visar beräkningarna för värden på ett Butterworthfilters komponenter.

Lågpassfilter

$$H(s) = \frac{1}{1 + \omega_0 C_1 (R_1 + R_2) s + \omega_0^2 R_1 R_2 C_1 C_2 s^2}$$

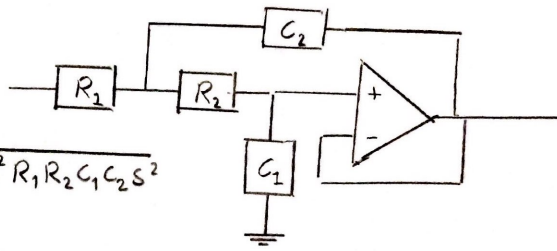
för Butterworth gäller

$$H(s) = \frac{1}{1 + \sqrt{2} s + s^2} \Rightarrow \begin{cases} \sqrt{2} = \omega_0 C_1 (R_1 + R_2) \\ 1 = \omega_0^2 R_1 R_2 C_1 C_2 \end{cases}$$

$$\text{välj } R_1 = R_2 = R \Rightarrow \begin{cases} \sqrt{2} = 2\omega_0 C_1 R & (1) \\ 1 = (\omega_0 R)^2 C_1 C_2 & (2) \end{cases}$$

$$(1) \Rightarrow \boxed{C_1 = \frac{1}{\sqrt{2} \omega_0 R}}$$

$$(1) \sim (2) \Rightarrow 1 = (\omega_0 R)^2 \frac{C_2}{\sqrt{2} \omega_0 R} = \frac{C_2 \omega_0 R}{\sqrt{2}} \Rightarrow \boxed{C_2 = \frac{\sqrt{2}}{\omega_0 R}}$$



Figur 21: Beräkningar för att bestämma värdet på crossoverns komponenter. Räkningarna mynnar ut i samma svar då de görs för ett högpasfilter.