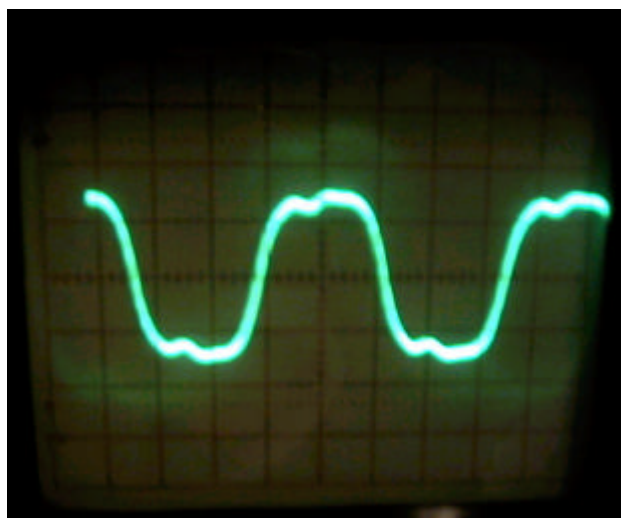


PROSJEKT
I
ELEKTRISITET OG MAGNETISME

SIGNALANALYSE / LYDSYNTETSE



AV KIM VIDAR BAKKEN
VÅREN 2004

INNHALDFORTEGNELSE:

Sammendrag	2
1. Innledning	3
2. Bakgrunnsteori	3
2.1 Lyd	3
2.2 Digital lyd	4
2.3 Bruk av datamaskiner i lydsystemer	5
2.4 Pitch	5
2.5 Klang (timbre)	6
2.6 Hjelpemidler i musikk syntese	9
2.7 Generering av funksjoner av tid	9
3. Syntesemetoder	10
3.1 Additiv syntese	10
3.2 Modulasjon	11
3.3 Støygeneratorer	11
4. Metode	12
4.1 Digitalt opptak av elgitartone E (lav)	12
4.2. Syntese av gitartone E (lav)	13
5. Resultater	13
4.1 Digitalt opptak av elgitartone E (lav)	13
4.2. Syntese av gitartone E (lav)	15
6. Konklusjon	16
7. Referanser	17

SAMMENDRAG

Vi har ved hjelp av en datamaskin tatt opptak av en elgitartone, og foretatt en signalanalyse av tonen. Til slutt har vi forsøkt å generere en elgitartone, ved å bruke forskjellige syntesemetoder.

For å kunne gjøre dette, må vi ha kjennskap til noen begreper i lydsyntese. Vi må også vite hvordan en datamaskin kan arbeide med lyd, og kjenne til de viktigste metodene i lydsyntese.

Selve lyden oppstår ved longitudinale trykkbølger i lufta, som framtrer som lydbølger. For at datamaskinen skal kunne arbeide med lyd, må trykkbølgene bli omformet til et analogt elektrisk signal. Dette må så gjøres om til et digitalt signal, som datamaskinen kan lese.

I lydsyntese er det nødvendig med kunnskaper om hvordan lytteren oppfatter lyden. Når en lydbølge endrer frekvens, kan dette oppfattes av lytteren. Vår subjektive respons til frekvens kalles pitch, og avhenger av verdiene til de enkelte frekvensene og sammensetningene av disse.

Klang beskriver tonekvaliteten til en tone, der frekvensen er den viktigste faktoren. I tillegg er gangen i lyden viktig. Den deles inn i tre faser: angrepsfasen, den stabile fasen og utsløkningsfasen. Gitarlyden har omtrent ingen angrepsfase og stabil fase, men består hovedsakelig av utsløkningsfasen, som dør eksponentielt ut.

En av de viktigste syntesemetodene i lydsyntese er additiv syntese. Prinsippet går ut på å mikse sammen signaler, eller filtrere bort uønskede signaler. I eksperimentet vårt, ble 5 sinuskomponenter mikset sammen til en komplett tone.

Hva kan vi da si om vår genererte lyd? Vi har greid, ved å benytte relativt enkle syntesemetoder og få hjelpemidler, å generere en tone som kan gjenkjennes som en gitartone både på klang og analytisk.

1. INNLEDNING (referanse 1)

Musikk og lyd har fascinert mennesker i århundrer, men elektrisk generering av musikk fikk sin oppstart for kun 50 år siden. Og i de siste 30 årene har betydningen av elektrisk generering vært stor for musikken, med vesentlig økning de siste 5 årene.

Hammondorgellet var det første elektriske instrumentet av betydning. Det var basert på magnetisk induksjon, forårsaket av en mekanisk roterende skive, som ble brukt som primær lydgenerator. Musikkstudioene på 50-tallet var utstyrt med store antall sinusgeneratorer, støygeneratorer, modulatorer, filtre og lignende. På 60-tallet ble datamaskinen tatt i bruk som kontrollhjelpemiddel av analog syntese, og på midten av 70-tallet hadde datamaskinen blitt sentral både som signalgenerator og som kontrollenhet.

Lydsyntese består kort oppsummert i:

- Å produsere toner med egenskaper i form av styrke, spektrum, omhylling, vibrato og/eller lydmateriale som ikke har tonekarakter.
- Å styre sekvenser av toner og øvrige lydelementer som danner den musikalske helheten.

Datamaskinsyntese av musikalsk lyd, er basert på manipulering av digitale signaler. Det sentrale i lydsynteseproblem, er å forstå relasjoner mellom tall som beskriver den fysiske bølgeformen, og hvordan lytteren oppfatter lyden.

Vi skal se nærmere på noen av de grunnleggende teknikkene innenfor tonegenerering, og hvordan hjelpemidler blir benyttet i disse prosessene. Vi skal i tillegg foreta signalanalyse av en elgitartone, for så ved hjelp av enkle syntesemetoder generere en tone mest mulig lik elgitartonen.

2. BAKGRUNNSTEORI (referanse 2, 7, 8)

2.1 Lyd.

Før vi kan diskutere algoritmer som genererer lyd, må vi vite hvordan lyd beskrives numerisk. Lyd har opphav i vibrasjoner i lufta (longitudinale trykkbølger). Energien i lyden skaper regioner i lufta der lufttrykket er lavere enn gjennomsnittet, og regioner med høyere lufttrykk enn gjennomsnittet. Figur 2.1.1 beskriver bølgeformen til en enkelt tone.

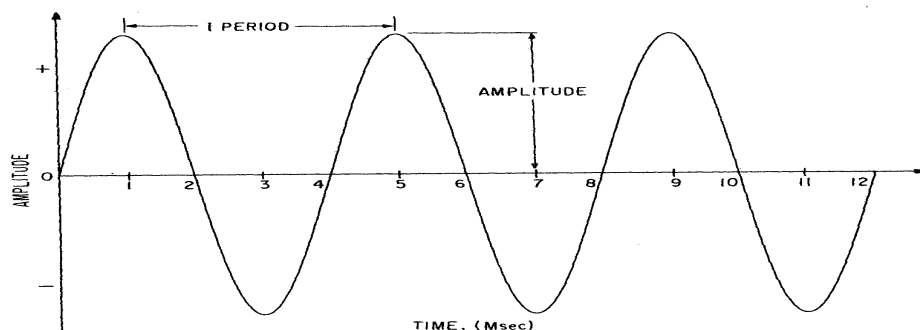


Fig. 2.1.1

Figuren over er hentet fra "Musical Applications of Microprocesses", referanse 4, og beskriver en enkel tone i form av en sinusbølge. Vi ser at amplituden varierer med tiden.

Når bølgeformen av lyden er over tidsaksen er det kompresjon, og når bølgeformen er under tidsaksen er det dekompresjon. Frekvensen til en periodisk bølge, er den inverse av perioden ($f = 1/T$), og angis i hertz. Det atmosfæriske trykket varierer på grunn av kompresjonen/dekompresjonen av lyden, og indikerer graden av akustisk energi i lyden. Intensiteten er effekten av lyden som kommer i kontakt med et visst areal på trommehinnen. Den er proporsjonal med kvadratet av amplituden. Desibel er enheten som blir brukt for å beskrive intensiteten til et signal, og er proporsjonal med logaritmen til forholdet mellom signalet og et referansesignal ($\text{dB} = 10\log_{10}(I/I_0)$, der $I_0 = 10^{-16}\text{W/cm}^2$, som er intensiteten til en sinustone med $f = 2\text{ kHz}$).

2.2 Digital lyd.

Hvordan kan en digital datamaskin arbeide med lyd? Akustisk energi i form av trykkbølger, omformes til et analogt elektrisk signal ved hjelp av en omformer. I vårt eksperiment er omformeren en mikrofon. Den lager en elektrisk puls, som varierer med vibrasjonene i lufta. Den motsatte prosessen kan gjøres ved at man kobler en forsterker, som driver høyttalere, til datamaskinen. Slik at det elektriske signalet kan bli konvertert tilbake til som hørbar lyd. Variasjonene i det elektriske signalet opptrer analogt med vibrasjonene i lufta, derav navnet analogt signal. Ved å omforme det analoge signalet til tall, kan vi få et digitalt signal på en digital datamaskin. Det analoge signalet korresponderer med det akustiske signalet og varierer kontinuerlig. Det digitale signalet er ikke kontinuerlig, men bygd opp av sekvenser med spesifikke verdier til diskrete tider. Dette fører til unøyaktigheter i det digitale signalet. For å unngå store unøyaktigheter har datamaskinen begrensninger på hvor stor den høyeste frekvensen kan være. Den høyeste målte frekvensen som kan bli representert i et digitalt lydsystem, kalles Nyquistfrekvensen. For å forsikre seg om at alle frekvenser i det analoge signalet er under Nyquistfrekvensen, er et lavpassfilter plassert før omformeren, vist i figur 2.2.1.

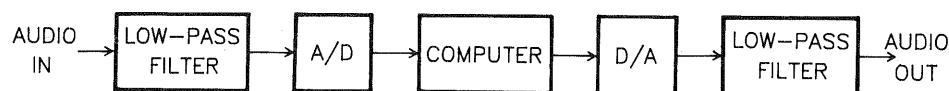


Fig 2.2.1

Over ser vi hvordan innkommende lyd går gjennom et lavpassfilter, så gjennom en A/D-omformer (fra analogt til digitalt signal), før det lagres i lydfilformat på datamaskinen. Videre kan lydsignalet sendes gjennom en D/A-omformer (fra digitalt til analogt), deretter gjennom et lavpassfilter og til slutt komme ut som hørbar lyd.

Lavpassfilteret slipper fortrinnsvis gjennom de laveste frekvensene, og kan beskrives skjematisk i en RC-krets, som består av en seriekobling av en motstand R og en kapasitans C. Denne kretsen er skissert i figur 2.2.2:

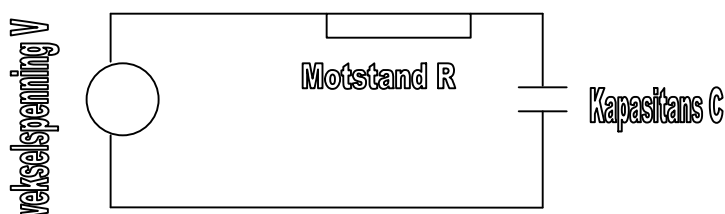


Fig 2.2.2

Over ser vi en skjematisk oppstilling av en RC-krets. En motstand R og en kapasitans er koblet i serie, og spenningskilden er en vekselspanning.

Utgangssignalet blir tatt over kondensatoren, slik at vi må finne spenningsamplituden V_C over denne. Inngangssignalet antar vi er gitt ved:

$$V = V_m \cos(\omega t) \quad (1)$$

og strømamplituden er gitt ved:

$$|I_m| = V_m/|Z|, \text{ der } Z = Z_R + Z_C = R + 1/i\omega C, \quad (2)$$

er impedansen til kretsen. Dermed får vi at:

$$I_m = V_m/(R^2 + (1/\omega C)^2)^{1/2}. \quad (3)$$

Vi har:

$$Q = Q_m * e^{i\omega t} \quad \text{og} \quad I = I_m * e^{i\omega t} = dQ/dt = i\omega Q_m. \quad (4 \text{ og } 5)$$

Da blir:

$$V_C = |Q_m|/C = |I_m|/\omega C = V_m/(1 + (\omega RC)^2)^{1/2} \quad (6)$$

Vi ser at spenningsamplituden minker med økende frekvenser, slik at det er fortrinnsvis de laveste frekvensene som passerer.

2.3 Bruk av datamaskiner i lydsystemer.

En datamaskin kan manipulere lyd i forskjellige operasjoner. Enklest er et digitalt opptak. Omformerer gjør det innkomne signalet om til et digitalt signal, som datamaskinen kan lagre på harddisken, eller eventuelt en diskett. Det samme oppsettet kan også bli brukt i signalgenerering. Her lager datamaskinen et digitalt signal, som konverteres tilbake til lyd gjennom D/A-konverteren. Ved denne metoden kan man mikse flere signaler som er lagret i det eksterne minnet. Datamaskinen kan også benyttes til manipulering av generert lyd og til å analysere signaler. En PC-analyse kan for eksempel avgjøre hvilke frekvenser med korresponderende amplitude, som er inneholdt i lyden. En av de største utfordringene i digital syntese, er å lage en algoritme som genererer lyd. I eksperimentet, som blir beskrevet nedenfor, blir det brukt en kombinasjon av forhåndslagde og selvlagde algoritmer.

2.4 Pitch.

Pitch er vår subjektive respons til frekvens. Dette blir forårsaket av stimulering av nervetråder i membranen i trommehinnen. For et menneske er registrerbart frekvensintervall fra 20 Hz til 4000 Hz. I musikken beskriver man forskjellige frekvenser ut i fra en toneskala. I tabell 2.4.1 er frekvensene til de samsvarende tonene E_1 , E_2 , osv., listet opp. Legg merke til at $E_1 = \frac{1}{2} E_2$, altså halvparten av frekvensen til tonen én oktav (åtte toner i mellom) over. Frekvensen med størst felles divisor av de harmoniskrelaterte frekvensene kalles grunntonen. De andre sies å være harmoniske til grunntonen, og kalles n-te overtone, basert på rang i forhold til grunntonen. Se figur 2.4.1, der grunntonen er øverst, 4 overtoner nedenfor og resultantbølgen av de fem bølgene er nederst.

Tone	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇
Frekvens[Hz]	41,2	82,41	164,8	329,6	659,3	1319	2637

Tabell 2.4.1

I tabellen ser vi sju forskjellige E-toner med tilhørende frekvenser. I mellom hver E-tone er det åtte heltoner (én oktav).

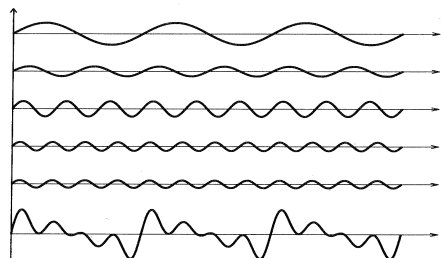


Fig 2.4.1

Figuren over viser skisser av sinusbølger med amplituder som varierer med tida. Den øverste er grunnntonen, mens de fire nedenfor er overtoner. Nederst ser vi resultantbølgen av de fem bølgekomponentene.

2.5 Klang (timbre).

Musikalsk klang er tonekvaliteten av en spesiell type lyd. Hermann Von Helmholtz la grunnlaget for moderne studier av klang i boka "On the Sensations of Tone". Helmholtz karakteriserte toner som har bølgeform med amplitude som funksjon av frekvens, i tre faser som blir beskrevet i figur 2.5.1:

- 1) Angrepsfasen (attack)
- 2) Den stabile fasen(steady-state)
- 3) Utslokningsfasen(decay)

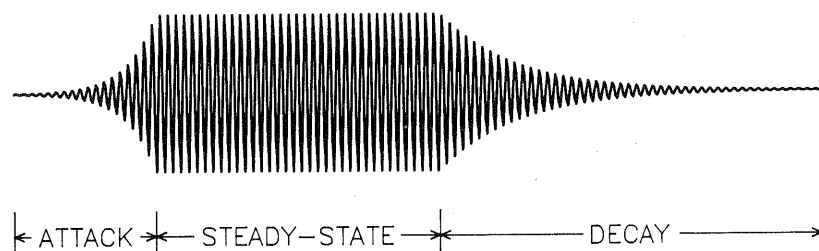


Fig.2.5.1

Over ser vi en skisse av en bølgeform med amplitude som funksjon av frekvens, og er beskrevet i tre faser. Første del er angrepsfasen, andre del er den stabile fasen og lengst til høyre ser vi utslokningsfasen.

Helmholtz fastslo at naturen til bølgefunksjonen har stor effekt på klangen til lyden. For å beregne hvilke komponenter av bølgefunksjonen som korresponderer med klangen, benyttet han seg av Jean B. Fouriers arbeid, som beviste at enhver kompleks bølgeform kan uttrykkes som en sum av én eller flere sinusbølger (se illustrasjon i fig 2.5.2).

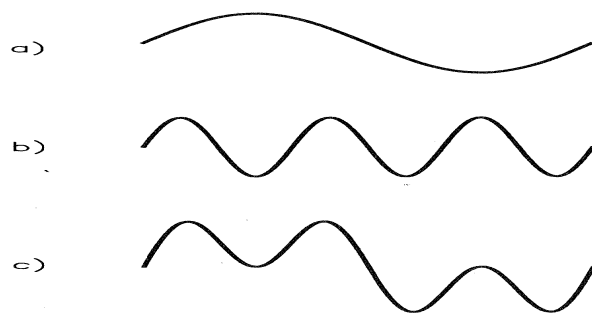


Fig 2.5.2

De to bølgeene som er vist over i figur a) og b), blir lagt sammen til en resultantbølge, som er skissert i figur c).

Hvis verdiene til ethvert punkt og til enhver tid adderes, vil summen gi en helt ny periodisk bølgeform. Denne prosessen kalles additiv syntese eller fouriersyntese. Hver sinusbølge i settet er karakterisert ved tre parametere, frekvens, amplitude og fase. De to første parametrene har stor effekt på klangen til lyden. Fasen har minimal effekt i denne sammenhengen.

Spekteret til en bølgeform kan bli funnet matematisk ved å gjøre en fouriertransformasjon av bølgeformen. Det periodiske signalet blir beskrevet ved en fourierdekomposisjon i form av en fourierrekke, som består av en sum av sinus- og cosinusbølger. Ved å snu om på denne prosedyren, kan et periodisk signal bli generert ved superposisjonering av sinus- og cosinusbølger. Den generelle tidsvarierende funksjonen er:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k\omega_0 t) + b_k \sin(k\omega_0 t)) \quad (7)$$

der a_k er amplitudene til cosinuskomponentene, og b_k er amplitudene til sinuskomponentene for $k=0, 1, 2, \dots, \infty$. ω_0 er frekvensen til bølgen. Figur 2.5.3 a) illustrerer bølgeformen til en firkantbølge, der den 50 % av tiden har maksimalt lydtrykk og 50 % av tiden har minimalt lydtrykk. Firkantbølgen har funksjonen:

$$x_R(t) = \sin(\omega_0 t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_0 t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_0 t) - \dots \quad (8)$$

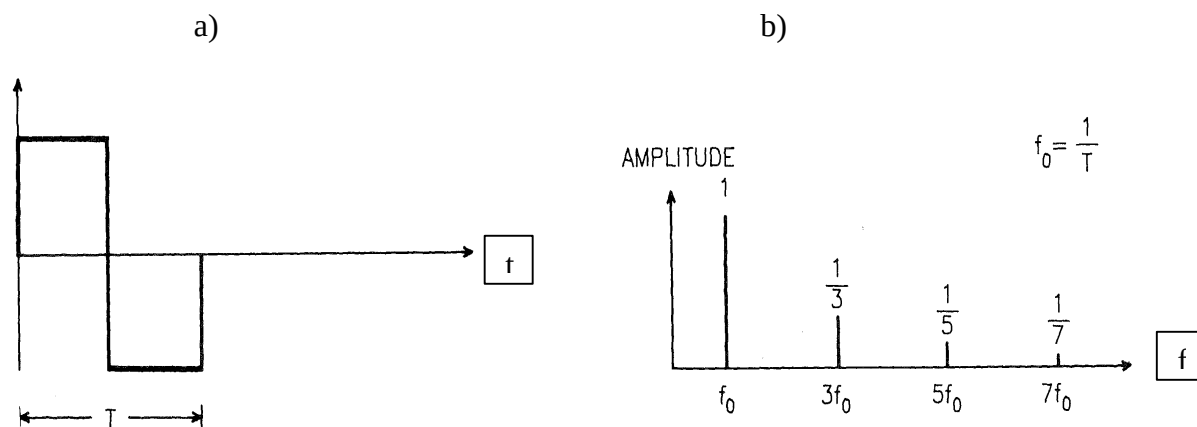


Fig 2.5.3 a) og b)

I figuren over til venstre ser vi amplituden til en firkantbølge som varierer med tiden, og som er satt sammen av uendelig mange sinuskomponenter. Perioden til bølgeformen kalles T . Til høyre ser vi frekvensspekteret til firkantbølgen. Det inneholder frekvenskomponenter som er odder harmoniske av grunntonen. Her er det amplituden som varierer som funksjon av frekvensen.

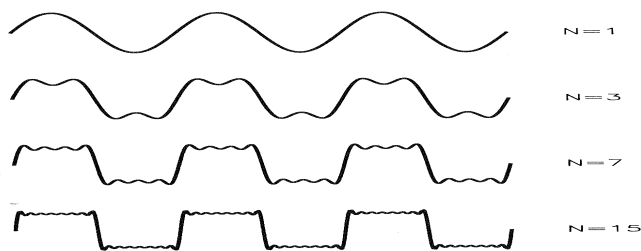


Fig 2.5.4

Øverst i figuren ser vi en sinusbølge med én enkel sinuskomponent. De tre andre bølgene er sinusbølger, som er satt sammen av henholdsvis tre, sju og femten sinuskomponenter.

Selv etter at 15 overtoner har blitt addert sammen, ser vi av figur 2.5.4 at bølgeformen ikke er perfekt kvadratisk. Grunnen til dette, er at en "perfekt" firkant kun kan eksistere i et system med et uendelig antall overtoner. Fig 2.5.5 beskriver to andre vanlige signal som blir brukt i musikkstudioer. Som forventet, er spekteret av en vanlig sinusbølge veldig enkelt, og inneholder bare en frekvens. En sagtannbølge derimot, har et rikere spekter. Lyder med ekstreme mengder av høyharmonisk energi, høres ut som "irriterende" summing.

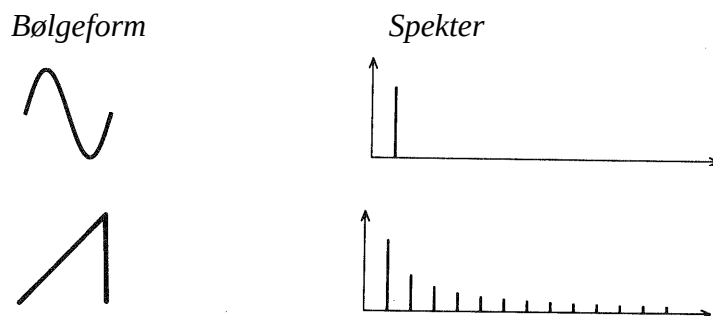


Fig. 2.5.5

I figuren over ser vi en enkel sinusbølge med tilhørende frekvensspekter øverst, og tilsvarende for en sagtannbølge nedenfor.

Omhylningskurven (spectral envelope) av frekvensspekteret til en tone er meget viktig for den særegne klangen. Den beskriver mønsteret av energifordelingen (frekvensfordelingen) i et spekter. Omhylningskurven kan beskrives grafisk ved å koble sammen toppene av amplitudene i frekvensspekteret (se fig 2.5.6).

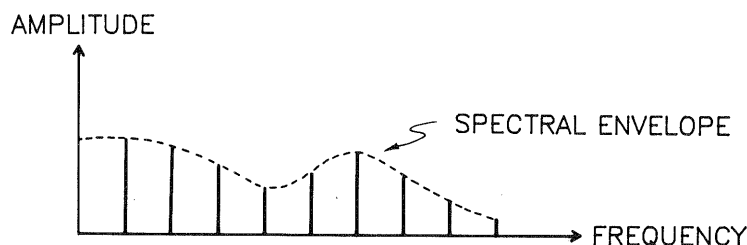


Fig. 2.5.6

Figuren viser omhylningskurven av frekvensspekteret til en tone. Omhylningskurven gir oss ett bilde på energifordelingen til tonen.

To toner som har like omhylningskurver og omtrent samme grunnfrekvens, vil høres nesten like ut. Hvis to toner har forskjellig grunnfrekvens, men samme energifordeling, vil de derimot høres ulike ut.

2.6 Hjelpemidler i musikk syntese.

Adder:

En adder har minst to innganger og en utgang. Prinsippet er å mikse signaler sammen. Men man kan også fjerne uønskede komponenter ved hjelp av en adder, noe som kalles subtraktiv syntese. Det er også mulig å multiplisere et signal med en konstant. Dette vil føre til økning/minkning av amplituden i signalet. Dette kalles amplifikasjon/attenuasjon.

Oscillator:

En oscillator genererer periodiske bølgeformer, der man kan bestemme amplitude, frekvens og type bølgeform. Fasen beskriver til hvilket tidspunkt på bølgeformen oscillatoren begynner.

2.7 Generering av funksjoner av tid.

Vi kan også lage omhylningskurver som er funksjoner av tid. Dette er kurver som beskriver lydtrykket som varierer med tiden. Disse er svært viktige for klangen til tonene, og er delt opp i tre faser, angrepsfase, stabil fase og utsløkningsfase. Vi kan også få amplituden til hver sinuskomponent til å variere med tiden, noe som ofte er tilfelle i naturlige lyder. Angrepsfasen beskriver hvordan amplituden øker i startfasen av en tone. Den stabile fasen beskriver tonen i en tilnærmet konstant fase. Utsløkningsfasen sier oss noe om hvordan tonen dør ut. I eksperimentet vårt er det hovedsakelig utsløkningsfasen som er av betydning. Formen på angrepsfasen og utsløkningsfasen har stor innflytelse på klangen til en tone. I figur 2.7.1 ser vi de to vanligste formene som blir brukt i datagenerert musikk: lineær og eksponentiell form.

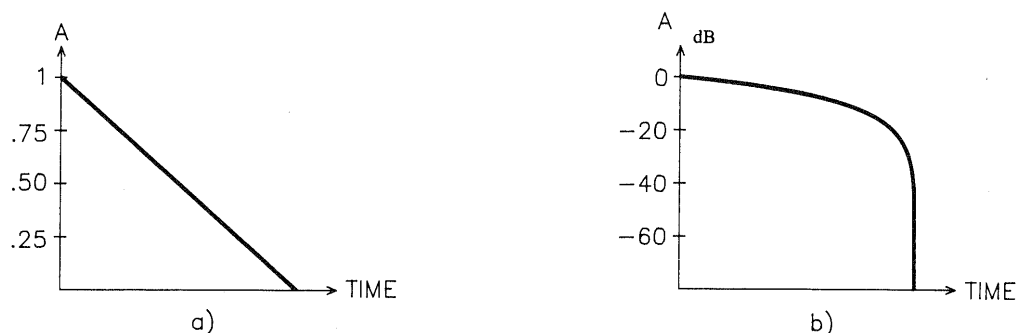


Fig 2.7.1

Til høyre ser vi at trykkamplituden til en tone slokkes ut logaritmisk, som funksjon av tiden. Lytteren vil oppfatte dette som en lineær utsløkning, skissert i figuren til venstre.

En eksponentiell tidsavhengighet av amplituden A , vil oppfattes av en lytter som en lineært avtagende lydstyrke. Dette må vi ta hensyn til når vi skal generere angrepsfasen og utsløkningsfasen til lyden. Naturlige vibrasjoner vil nesten alltid slokkes ut eksponentielt. I akustiske instrumenter er angrepet normalt kortere enn utsløkningsfasen. Dette gjelder også i vårt eksperimentet med gitar.

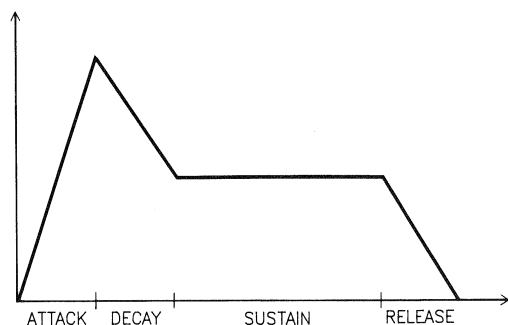


Fig. 2.7.2

Figuren viser en vanlig generert omhylningskurve, som kalles ADSR (attack, decay, sustain, release). Dette er den mest brukte metoden for å imitere omhylningskurven i et akustisk instrument i billige keyboard. Her varer lydstyrken til tonen med tiden.

3. SYNTSEMETODER (referanse 3 og 6)

3.1 Additiv syntese.

Additiv syntese er en av de første teknikkene som ble tatt i bruk i datamaskingenerert musikk. Additiv syntese har sin rot i Fouriers teorem, som stadfester at enhver periodisk bølgeform kan beskrives som en sum av sinusbølger med varierende amplituder og harmoniske frekvenser. Spektralkomposisjonen blir bestemt fra den stabile fasen til tonen, og blir gjort ved fourieranalyse.

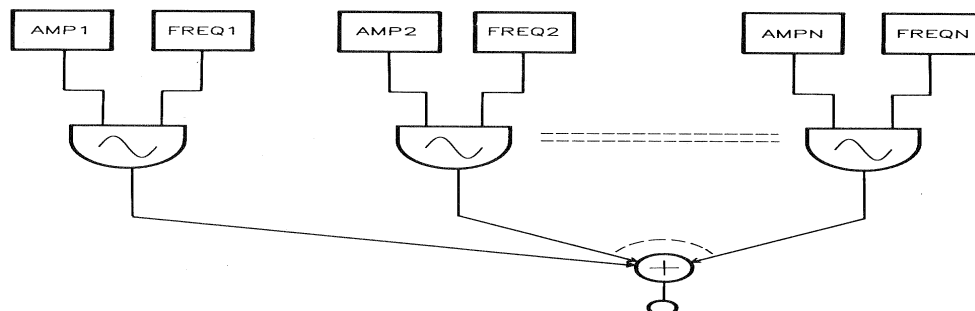


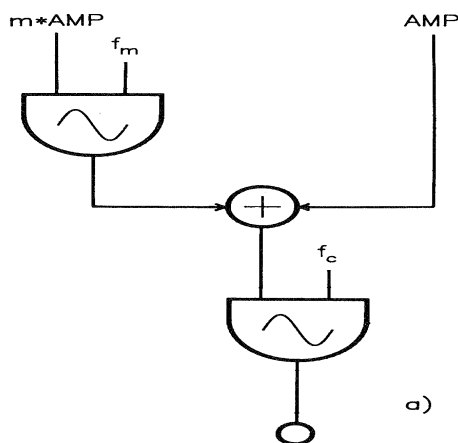
Fig. 3.1.1

Figuren over er en enkel beskrivelse av additiv syntese. Innkommende amplitude- og frekvenssignaler kommer fra uavhengige generatorer. Utgangssignalene fra alle oscillatorene blir addert sammen til en komplett lyd, derav navnet additiv syntese.

Syntese av én tone, som i vårt tilfelle, er basert på modellen som er skissert i figuren 3.1.1. Med separate sinusoscillatorer kan utgangssignalene fra alle oscillatorene bli addert sammen til en komplett lyd, derav navnet additiv syntese. Har man nok oscillatorer med vilkårlige sett av uavhengige spektralkomponenter, kan man teoretisk generere enhver lyd. Når man gjør slike operasjoner, er det nyttig å ha kunnskap om gangen i en lyd. Fordelen med additiv syntese er at vi får komplette og uavhengige oversikter for hver enkelt spektralkomponent. Men en praktisk ulempe er at det kreves et stort antall enhetsgeneratorer, og det tar derfor mye plass i datamaskinen. Når man syntetiserer komplekse lyder, er det ikke uvanlig å benytte ti eller flere oscillatorer i én eneste stemme/tonen. I vårt eksperiment har vi benyttet seks oscillatorer.

3.2 Modulasjon.

Modulasjon er variasjon av amplituden, fasen eller frekvensen til en oscillator i samsvar med et annet signal. Oscillatoren som blir modulert kalles bæreroscillator. Uten modulasjon genererer den en konstant bølgeform, som kalles bærebølge. Ved modulasjon blir bærebølgen forandret, slik at utgangssignalet kan ses på som en kombinasjon av den originale bærebølgen og den endrede. Spektralkomponentene av et modulasjonssignal deles inn i to typer: bærerkomponenter og sideband. Frekvensen til et sideband beregnes både ut fra bærerfrekvens og modulasjonsfrekvens. Frekvensen til bærerkomponenten beregnes kun ut fra frekvensen til bæreroscillatoren. Spekteret av en modulert frekvens inneholder en komponent av bærerfrekvensen og uendelig mange sideband, som er plassert i begge retninger fra bærerfrekvensen i frekvensintervall $f_c \pm f_m$, $f_c \pm 2f_m$, osv. Andre eksempler på modulasjonstyper er ring-, singelsideband- og vibratomodulasjon, noe vi ikke skal gå nærmere inn på her.



Figur 3.2.1

Figuren viser et instrument som utfører klassisk amplitudemodulasjon (AM). Bærerfrekvensen har konstant frekvens f_c , og modulasjonsoscillatoren har frekvens f_m . Bærerfrekvensen blir addert sammen med uendelig mange sideband, som er plassert i begge retninger fra bærerfrekvensen, i frekvensintervall $f_c \pm f_m$, $f_c \pm 2f_m$, osv.

3.3 Støygeneratorer.

En oscillator produserer periodiske bølgeformer med veldefinerte spektralkomponenter.

Spekteret er et diskret spekter, fordi energien

finnes kun ved visse frekvenser. Det motsatte av et diskret spekter er et fordelingsspekter, der energien eksisterer for alle frekvenser. De fleste støylyder som fins i naturen har tette fordelingsspektre. Vi kan tenke oss at kilden består av en sum av harmoniske spenningssignaler:

$$V(t) = \sum_{i=1}^n V_{mi} \times \sin(w_i t + j_i), \quad (9)$$

der $V(t)$ er det tidsvarierende spenningssignalet, V_{mi} og w_i er spenningsamplitudene og vinkelfrekvensene ($2\pi/T$) til de forskjellige sinuskomponentene, for $i=1, 2, \dots, n$. j_i er fasen til spenningssignalet, som i dette tilfellet er lik null for $i=1, 2, \dots, n$. Dersom de enkelte amplitudene V_{mi} er like store, kalles dette for hvit støy (se figur 3.3.1). I et virkelig støysignal er amplitudene V_{mi} og j_i tilfeldige, men om vi måler flere ganger, vil middelverdien bli de samme.

Klimprelyden ved anslag på gitarstrengen, er et eksempel på støy. Vi har utelatt å generere klimprelyden, fordi man da må lese av frekvensverdiene i det tette fordelingsspektret til opptaket av klimprelyden, og deretter putte disse verdiene i en algoritme som genererer klimprelyden. Dette ville tatt lang tid, så vi har i stedet benyttet noen få avleste frekvenser i det diskrete spekteret, i utslukningsfasen til tonen. Resultatet har blitt en brukbar gitartone.

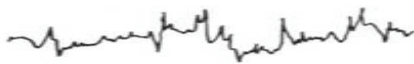


Fig 3.3.1

Figuren over er hentet fra "Korg MS-50 – What you need to know to synthesize sounds", referanse 5, og er en skisse av hvit støy.

4. METODE

4.1 Digitalt opptak av elgitartone E (lav).

Gitaren kobles til lydinngangen på en datamaskin, via en strømledning (se figur 4.1.1). Trykkbølger fra den vibrerende gitarstrengen, omformes til et elektrisk analogt signal, ved hjelp av mikrofoner på gitaren. Før datamaskinen kan lese signalet, må det omformes fra et analogt til et digitalt signal. Dette skjer ved hjelp av en omformer. Det digitale signalet lagres deretter i ei lydfil (wavfil) i et lydprogram. Ved å bruke algoritmer i programmet MATLAB, kan vi spille av lydfile og samtidig fouriertransformere signalet. Vi får da delt opp signalet i komponenter, som blir lagret hver for seg i programmet. Disse beskrives så grafisk i et frekvensspekter, med tilhørende verdier for lydtrykk. Vi leser av de seks første frekvensverdiene med tilhørende verdier for lydtrykk, og setter disse i en tabell.

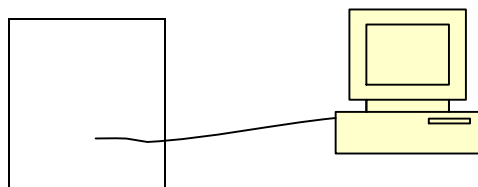


Fig 4.1.1

Figuren viser en elgitar som er koblet til lydinngangen på en datamaskin via en strømledning. Trykkbølger fra den vibrerende gitarstrengen, omformes til et elektrisk analogt signal, ved mikrofoner på gitaren. Signalet går så gjennom et lavpassfilter og omformes deretter til et digitalt signal, slik at datamaskinen kan lese signalet.

4.2. Syntese av gitartone E (lav):

For å generere en gitartone bruker vi algoritmer i programmet MATLAB. Først lager vi en tidsvektor som bestemmer hvor lenge tonen skal vare. Deretter blir det opprettet en variabel for hver enkelt sinuskomponent. Disse legges sammen til en sinusbølge. Amplituden til tonen varierer med tiden, tilnærmet på formen $\sin(p t) / p t$. Derfor lager vi en omhylningskurve på denne formen. I tillegg lager vi en eksponentiell omhylningskurve, som kombineres med den andre. Vi normaliserer funksjonen slik at maksimalverdi blir 0,5. Til slutt lager vi algoritmer, som beskriver tonen grafisk og genererer hørbar lyd. Tonen kan høres ved at vi kobler høyttalere på datamaskinen.

5. RESULTATER.

5.1 Digitalt opptak av elgitartone E (lav).

Nedenfor ser vi omhylningskurven til elgitartonen:

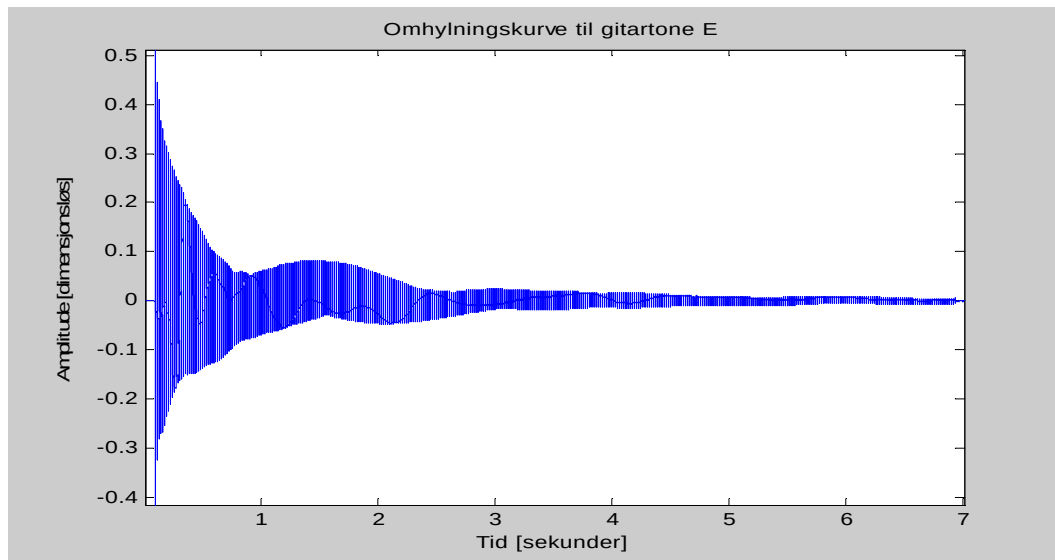


Fig. 5.1.1

På figuren ser vi at tonen har omtrent ingen angrepsfase, og funksjonen i utsløkningsfasen er tilnærmet på formen $\sin(p t)/p t$.

Frekvensspekteret til elgitartonen er beskrevet på to forskjellige skalaer i figurene nedenfor:

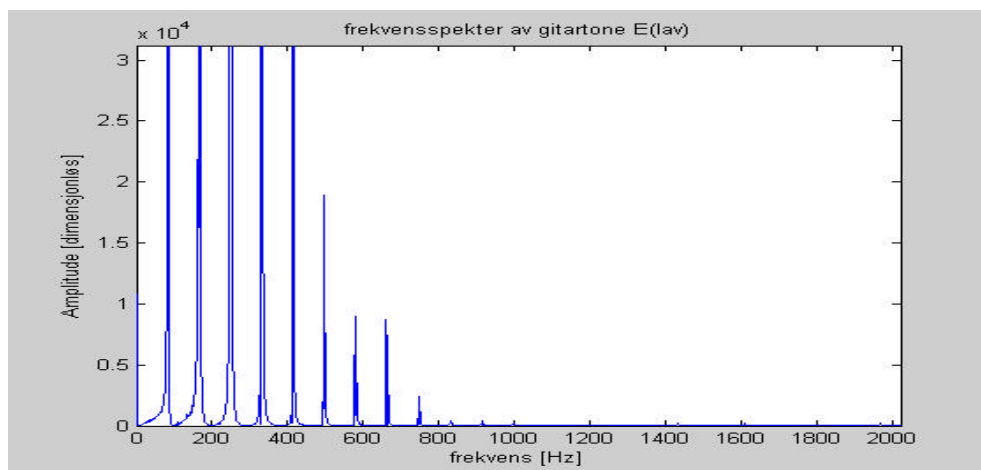


Fig 5.1.2 a)

Over ser vi de 15 mest fremtredende frekvensene til gitartonen.

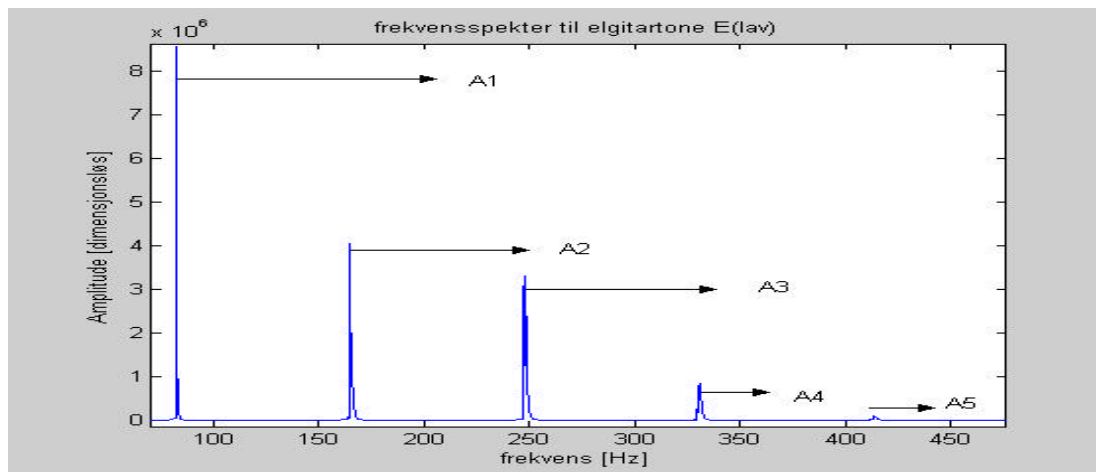


Fig 5.1.2 b)

Her ser vi kun de 5 første frekvensen, men det er lettere å lese av verdier i denne figuren enn fig. 5.1.2 a).

Amplitudenavn	Styrke [uten benevnning]	frekvens [Hz]
A1(grunntone)	8,55E+06	82,4
A2(1.overtone)	4,05E+06	164,8
A3(2.overtone)	3,30E+06	247,2
A4(3.overtone)	8,33E+05	329,6
A5(4.overtone)	8,80E+04	412
A6(5.overtone)	1,90E+04	494,4

Tabell 5.1.1

I tabellen over ser vi avleste verdier for de seks første amplitudene med tilhørende frekvenser til gitartonen.

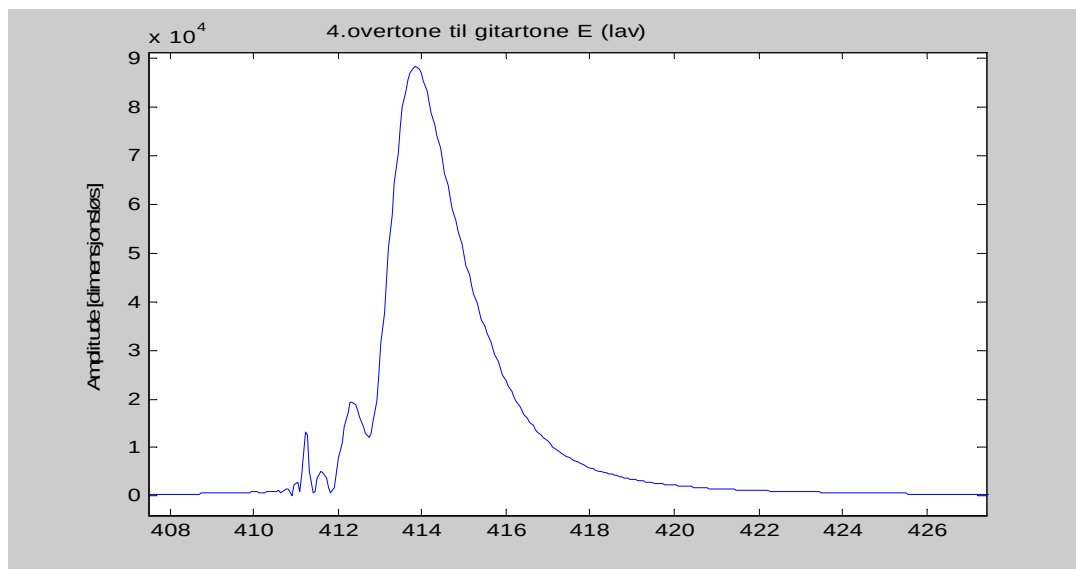


Fig. 5.1.3

På figuren over har vi zoomet inn 4. overtone:

Vi legger merke til at det er flere småtopper i overtonen. Dette kommer av moduleringen av tonen.

5.2. Syntese av gitartone E (lav):

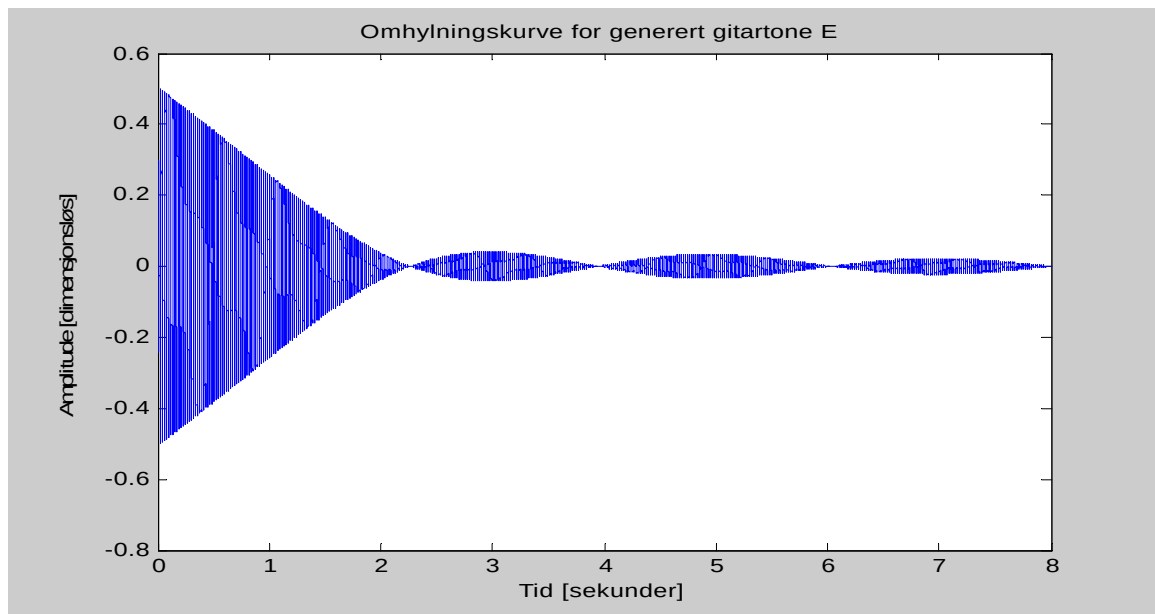


Fig. 5.2.1

Over ser en skisse av omhylningskurven til den genererte tonen:

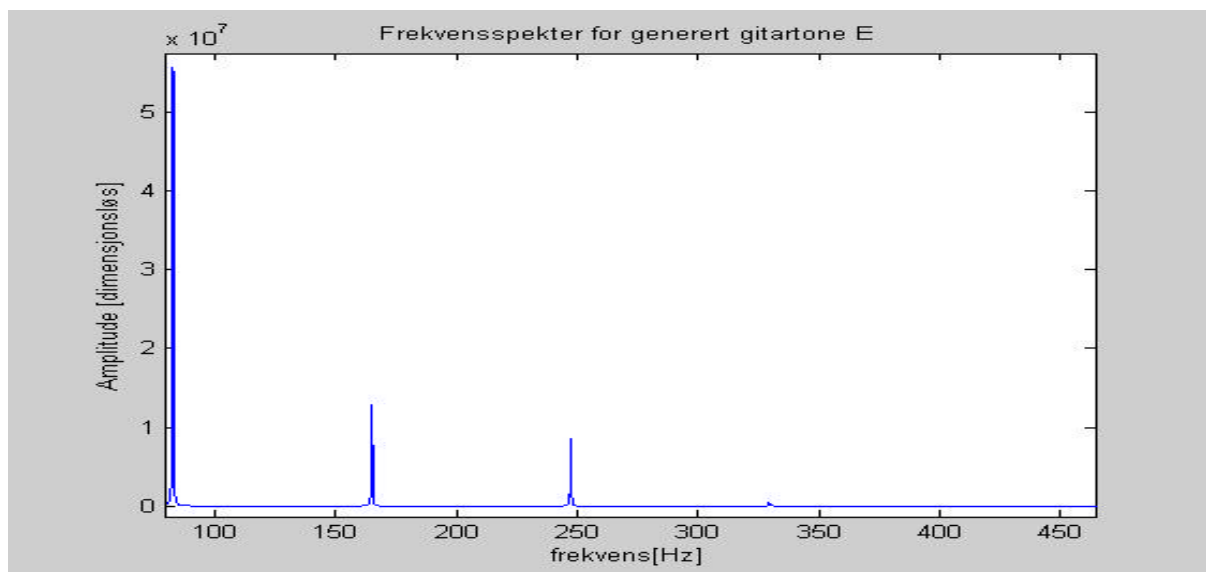


Fig. 5.2.2

I denne figuren ser vi frekvensspekteret til den genererte tonen. Vi ser at grunntonen og de tre første overtonene er synlige, mens de to siste overtonene ikke er sterke nok til å vises i figuren. Disse kan finnes ved å zoomme inn på angitte områder. Vi legger merke til at omhylningskurvene til den genererte tonen og den naturlige tonen ikke er helt like. Disse ville blitt mer lik hvis vi hadde benyttet amplitudeverdiene, som står i tabell 5.1.1. Vi har i stedet valgt å prøve ut forskjellige syntesemetoder.

GITARSYNTESE

generer tidsvektor

```
t=(0:8*fs)/fs;
```

varighet på 8 sekunder

generer sinustone

```
a1=8.55e6;
```

```
y=a1*sin(2*pi*82.4*t);
```

82.4 Hz

```
a2=(4.0534e6);
```

```
y2=a2*sin(2*pi*2*82.4*t);
```

2*82.4 Hz

```
a3=(3.2995e6);
```

```
y3=a3*sin(2*pi*3*82.4*t);
```

3*82.4 Hz

```
a4=8.3266e5;
```

```
y4=a4*sin(2*pi*4*82.4*t);
```

4*82.4 Hz

```
a5=8.8e4;
```

```
y5=a5*sin(2*pi*5*82.4*t);
```

5*82.4 Hz

```
a6=1.9e4;
```

```
y6=a6*sin(2*pi*6*82.4*t);
```

6*82.4 Hz

```
tone=w.*(y+y2+y3+y4+y5+y6);
```

adderer hver sinuskomponent til en sinusbølge

generer envelope

```
w(1:1000)=linspace(0,1,1000);
```

genererer angrepsfasen til omhylningskurven

```
wexp=exp(-t(1:length(t)-1000));
```

genererer eksponentiell utslokningsfase

```
modf=0.5;
```

```
wmod=sinc((modf*t(1:length(1*t)-1000)));
```

genererer utslokningsfase på formen
 $\sin(\pi X)/\pi X$

modulasjon=0.5;

```
w(1001:length(t))=(1-modulasjon)*wexp+modulasjon*wmod; modulerer de to utslokningsfasene
```

genererer grafisk skisse av lyden og lager hørbar lyd

```
tone=0.5*tone/max(tone);
```

normaliser til maxverdi=0.5

```
plot(t,tone)
```

skriver ut grafisk skisse av den genererte tonen

```
sound(tone,fs)
```

genererer tonen som hørbar lyd

Figur 5.2.3

Over ser vi algoritmen som ble brukt for å generere tonen i programmet MATLAB

6. KONKLUSJON

Vi har sett at den naturlige gitartonen omtrent ikke har noen angrepsfase, og at funksjonen til omhylningskurven er tilnærmet på formen $\sin(p t)/p t$. Vi har brukt en kombinasjon av denne formen og en eksponentiell form til omhylningskurve i den genererte tonen.

Amplitudene i frekvensspekteret til den genererte tonen, avviker litt fra de i den naturlige tonen. Dette kommer av at vår omhylningskurve ikke er helt lik omhylningskurven til den naturlige tonen.

Vi har hørt at den genererte tonen er ganske lik den naturlige, men vi merket at klimprelyden har uteblitt i den genererte tonen. For å få tonen mer lik den naturlige, kan vi syntetisere denne klimprelyden ved hjelp av en støygenerator, men dette krever mye tid. Vi hører også at modulasjonen har forårsaket mer vibrerende lyd i den genererte tonen, enn i den naturlige.

Men til tross for noen ulikheter i de to tonene, har den genererte tonen blitt gjenkjennelig som en elgitartone, ved hjelp av relativt enkle syntesemetoder.

7. REFERANSER

1. Kompendium til faget TTT4190 Musikkteknologi, Syntese av musikk, oversikt, A. Krokstad, vår 2004.
2. Computer Music, synthesis, composition and performance, Dodge & Jerse, kap.1.4-1.6, 2.2, 2.6, 3.2, 3.3, 3.5, 1985.
3. Computer Music, synthesis, composition and performance, Dodge & Jerse, kap. 3.7- 3.9, 1985.
4. Musical Applications of Microprocessors, music synthesis principles, H. Chamberlin, 1980.
5. Korg MS-50, what you need to know to synthesize sounds, ukjent forfatter, internett.
6. Hefte for laboratorieøvelse I MNFFY103- Elektrisitetsslære, vekselstrøm, Thor Bernt Melø, 2004.
7. Forelesningsnotater i faget FY1003, Jon Andreas Støvneng, vår 2004
8. Generell Fysikk, bind 2, kap. 27.5, E. Lillestøl, O. Hunderi og J. R. Lien, 2001

I tillegg har følgende kilder blitt benyttet under skrivingen:

- Sound on sound, part 14, An introduction to additive synthesis, synth secrets, juni 2000.
- Science & Music, Sir James Jeans 1968.
- http://www.nst.ing.tu-bs.de/schaukasten/fourier/en_idx.html.