

Specialprocessor räckte inte till – byggde egen syntdator

När Hasse Nordelius och Hans Gréen skulle bygga världens kanske modernaste synt visade det sig att signalprocessorn TMS 320 inte räckte till. Den var tio gånger för långsam. Den svenska synthen, som nära nog kan härma en flygel, ska ta upp kampen med japanska och amerikanska instrumenttillverkare.

Med avancerad digitalteknik och standard TTL-kretsar konstruerar Hasse Nordelius i samarbete med Hans Gréen, som står för programvaran, en additiv digital synt, som enligt datatidskrifterna verkligen ligger ett antal år fram i tiden. De stora tillverkarna har ännu inte löst de tekniska svårigheterna eller inte ansett denna typ av synt kommersiellt lönsam att ta fram. Enligt rykten har dock Yamaha liknande idéer på gång, men det lär kostastone dröja 2-3 år innan de har någon modell klar för tillverkning.

Traditionell syntes

De flesta traditionella syntar arbetar med subtraktiv syntes, där man utgår från någon standardvågform, t ex sågtand eller pulsvåg och därefter filtrerar bort oönskade övertoner (se ET nr 9 och 12/83).

Vid FM-syntes används frekvensmodulation med ett antal bärvågor och modulatorer, alla inom audiospektrum. Denna metod är praktisk att implementera i elektronik, men mycket svårhanterlig för musikern.

Additiv syntes

Hasse Nordelius har i stället valt den additiva syntesen, som går ut på att bygga upp en musikalisk ton överton för överton. Man adderar alltså ett stort antal si-

nuvågor som ljuder tillsammans under olika lång tid. För att på detta sätt något så när fullständigt beskriva en önskad klangfärg för synthen behövs ett mycket stort antal parametrar och datorn i synthen får en stor mängd data att uppdatera ett antal gånger i sekunden.

Snabba kretsar

Detta är orsaken till de tekniska svårigheterna. Det gäller att använda mycket snabba kretsar och dessa får dessutom arbeta på gränsen till vad de klarar. Hasse har undvikit ECL och Schottky och i den första prototypen använt Fairchilds F-serie, eftersom de är snabbare än Schottky och man slipper tidsfördröjningen vid konvertering från ECL-nivåer.

Synthen är uppbyggd kring 2×128 digitala sinusoscillatorer. Indelningen i par används för att ge en stereobild av ljudet, t ex med en liten sidstämning mellan de två oscillatorerna. För övrigt är parameterinställningen densamma för båda oscillatorerna i ett par och de ligger parallellt.

De 128 oscillatorerna är uppdelade på åtta toners polyfoni med 16 övertoner el-

ler övertongrupper på varje. Varje oscillator kan nämligen utgöra en grupp av övertoner (sinusvågor) staplade harmoniskt på varandra. Detta ger totalt bortåt 45 övertoner på varje spelad ton.

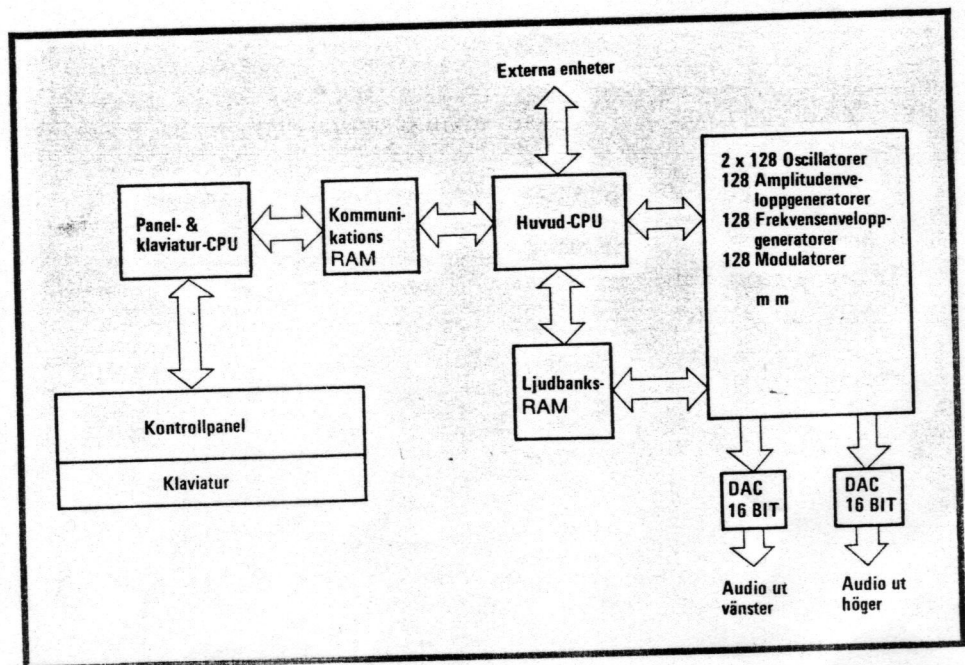
Upplösningen för övertonerna ligger på $1/64$ halvton, vilket betyder att man egentligen inte skulle kunna åstadkomma en riktigt ren harmonisk övertonsserie. För detta ändamål finns dock en speciell tabell som processorn läser ur.

Fourier

Alla ljud i synthen skapas alltså med additiv fouriersyntes där den resulterande vågformen är en summa av sinusvågor enligt:

$$S(t) = \sum_{i=1}^{16} G_i(t) \sin [FR_i M_i(t) 2\pi t + V_i]$$

där F är grundtonens frekvens, R_i är respektive multipel av grundtonen, $M_i(t)$ är modulationsfaktorn från en lågfrekvensoscillator, $G_i(t)$ är volymenveloppen för



Figur 1. Blockschemat över synthen.



Hasse Nordelius och Hans Gréen provar en ton i sin synt. En av marknadens kraftigaste signalprocessorer räckte inte till för signalbearbetningen utan de fick utveckla en egen skräddarsydd dator för synten.

en icke oscillatorn och V_i är fasvinkeln för densamma.

Samplingsfrekvens

Vid valet av samplingsfrekvens är det flera faktorer att ta hänsyn till: krav på bandbredd, antal toner i polyfonin, vilket tillsammans med antalet övertoner/övertongsgrupper bestämmer antalet oscillatorer.

Slutligen sätter processorerna cykeltid gränsen. Kravet på bandbredd för en synt, för att rymma tillräckligt med övertoner brukar sättas vid 15 kHz. I detta fall är cykeltiden 300 ns och antalet oscillatorer 128 vilket ger samplingsfrekvensen $1/(128 \cdot 300 \text{ ns}) = 26 \text{ kHz}$. Bandbredden, den så kallade Nyquistfrekvensen (se ET nr 14/83) gör halva samplingsfrekvensen, dvs 13 kHz. I detta fall går cykeltiden inte att nedbringa ytterligare, vilket gör att en ökning av bandbredden sker på bekostnad av antalet oscillatorer. Den bästa kompromissen ljudmässigt och spelmässigt är att behålla 13 kHz bandbredd och 128 oscillatorer.

Målet i framtiden är att med hjälp av bl a dubbelt så snabba PROM-kretsar, t ex fusible link, kunna halvera cykeltiden till 150 ns. Dessa kretsar är dock betydligt dyrare och inte heller lämpliga för en halvfärdig prototyp. Alltså ligger samplingsfrekvensen på 26 kHz, vilket innebär att samtliga 416 parameterinställningar ska hinna uppdateras inom ett 38 μs långt tidsintervall. Detta betyder totalt 25–50 miljoner fullständiga operationer (multiplikationer och additioner) i sekunden. Så snabba standardprocessorer finns inte i dag.

Hasse Nordelius övervägde ett tag att använda sig av Texas signalprocessor TMS 320. Den är extremt snabb och har en inbyggd maskinvarumultiplikator som multiplicerar 16-bitars ord på 200 ns. Men

med användning av åtta sådana skulle systemet fortfarande vara tio gånger för långsamt. Detta skulle kunna kompenseras genom att totalt använda 80 st TMS 320, vilket dock är orimligt eftersom kretsarna kostar 1 000:– styck. Enbart processorkostnaden för en synt skulle bli 80 000:–!

Parallellprocessing

I stället har Hasse Nordelius själv byggt en form av processor där man dock inte kan gå in och göra ändringar. Systemet arbetar med parallellprocessing och digital pipelining med 5–6 parallella ledningar med 5–6 stationer på varje.

Tiden mellan två stationer är 300 ns. Allt sker tidsmultiplexat och sammanförs därefter till en digital-analog-omvandlare. Ordlängden är 20 bitar och man använder parallella bitslicelement, maskinvaruadderare på 4 bitar, följda av latchar som slussar data vidare till nästa station.

Den största svårigheten vid konstruktionen av synten har varit just att få upp snabbheten vid behandlingen av data. Det har bl a gällt att hitta tillräckligt snabba minnen. I den nuvarande prototypen används RAM med en accesstid på 40 ns och EPROM med en accesstid på 200 ns. Egentligen skulle det behövas snabbare PROM, med en accesstid ned mot 100 ns, men så snabba är alltså inte lämpligt att använda i dag på grund av pris och utförande.

I stället har diverse knep fått användas. Bl a hämtas vissa data ur minne en cykel innan beräkningen med dem ska göras. Parallellprocessingen med digital pipelining är ju också en effektiv genväg förbi dagens alltför långsamma standardprocessorer.

Speciälsydda kretsar

I framtiden kommer audioindustrin att ut-

veckla snabba specialiserade processorer för digital ljudbehandling. De får ett mycket brett användningsområde, bl a för bandspelare och mixerbord, vilket kommer att ge en låg kostnad.

Yamaha har flera sådana projekt på gång och har också i sin polyfona FM-synt DX 7, med 96 digitala oscillatorer, lyckats med konststycket att pressa samman elektroniken på två VLSI-chip. På så vis har de med stora serier lyckats få ned priset på en DX-7 synt till ca 14 000:–.

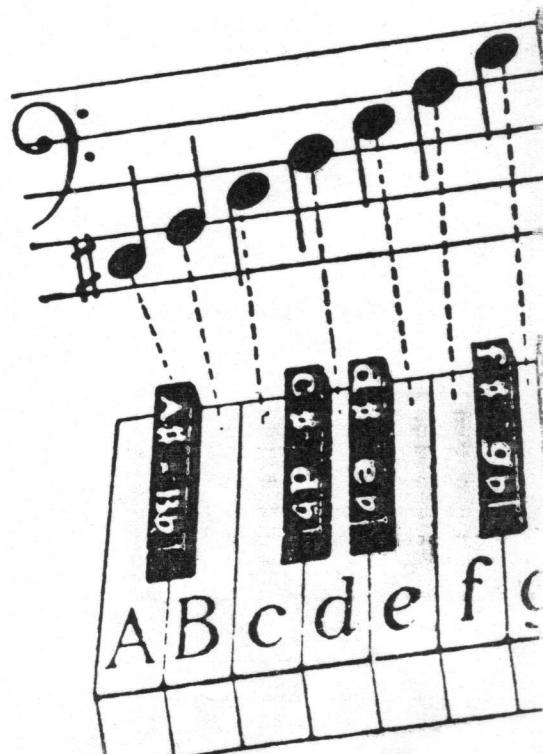
Hasse Nordelius som är hänvisad till ett mycket stort antal standardkretsar kommer inte att kunna få ned priset på sin synt under 50 000:–. Det är alltför kostsamt och orealistiskt att tänka sig elektroniken integrerad på några få chip.

Övertro på mikrodata

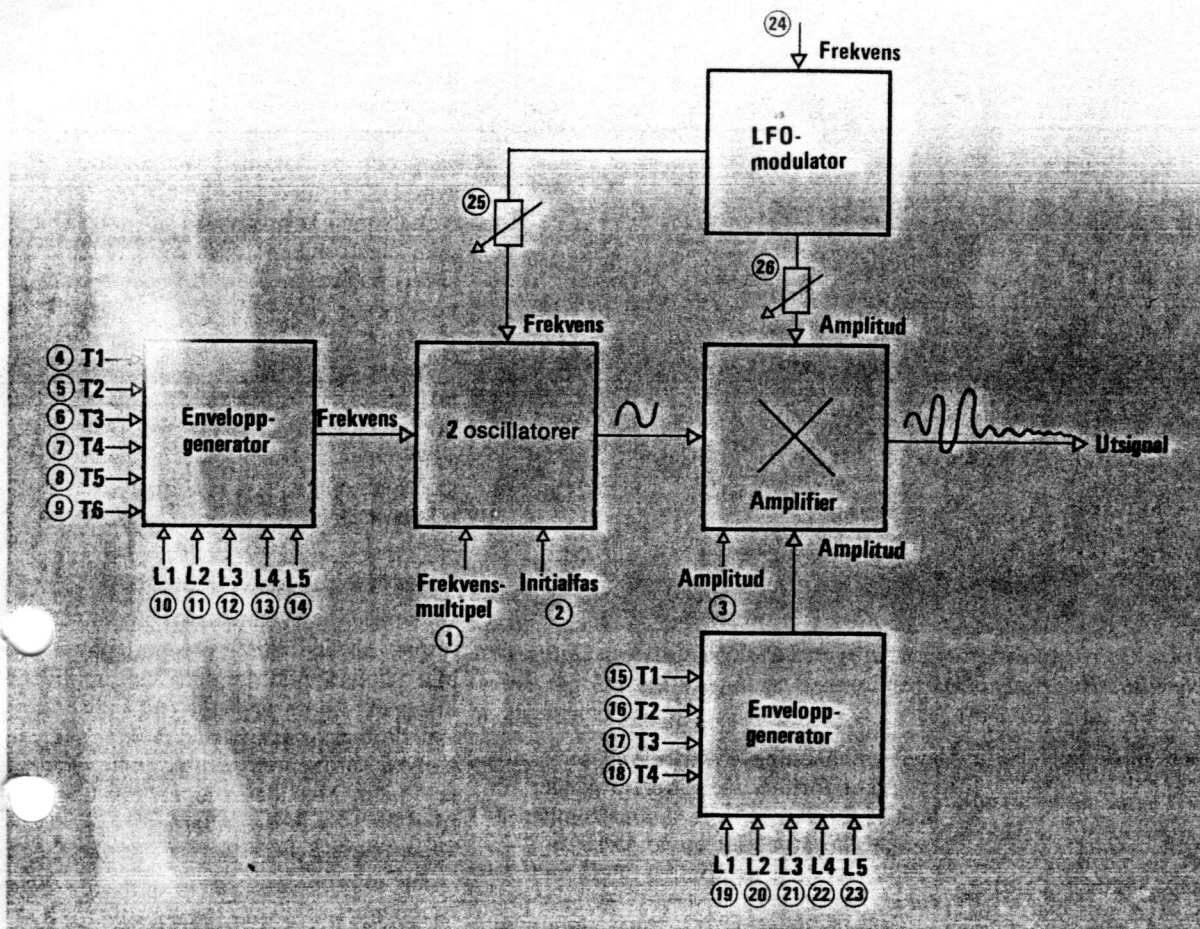
En period fanns en övertro på mikrodatarens användbarhet för ljudsynt och bl a alphaSyntauri, som är uppbyggd kring en Apple II-dator, påstods kunna åstadkomma nästan alla tänkbara musikaliska ljud genom additiv syntes (se ET nr 14/83). Men detta är en mycket grov förenkling, vilket förklarades i artikeln i Elteknik.

En mikroprocessor är i det här sammanhanget mycket långsam och kan endast utföra ca 10 000–15 000 multiplikationer och additioner per sekund. Detta kan jämföras med motsvarande kapacitet hos superdatorn Cray I, nämligen 33 miljoner, och kravet för högkvalitativ additiv ljudsynt, 25–50 miljoner.

AlphaSyntauri har en grov upplösning och den allvarliga begränsningen att alla ljud skapas i en vågformsmatrix över en period av ljudet. Detta betyder att endast periodiska ljud kan skapas, där alla övertoner är heltalsmultiplar av grundtonen. Envelopinställningen (stigtid, hålltid, ➔



Figur 2. Principschema över en av de 128 (16) ljudgenereringsenheterna med samtliga 26 styrparametrarna inritade.



hållnivå och avklingningstid) är densamma för samtliga övertoner.

Klangfärg

Klangfärgen från de flesta musikinstrument är dock inte uppbyggd på det sättet. Genom fourier- och spektralanalys av t ex en ton från ett piano visar det sig att det som ger den karakteristiska pianoklangen är att vissa övertoner är icke-heltalsmultiplar av grundtonen och att alla övertoner ljuder olika länge och har individuella amplitudförlopp. I vissa fall kan t ex någon överton dominera över grundtonen under ett antal ms av attacken. Detta gäller också för violin. Precis när stråken börjar dras över strängen als en spik av övertoner som sedan snabbt minskar i volym för att därefter åter öka i amplitud.

Många blåsinstrument karakteriseras av dominanta udda övertoner som når sina amplitudtoppar senare ju högre frekvens de har. De avklingar också snabbare med ökande frekvens.

Programmering

För att kunna programmera ett så exakt övertonsspektrum väljs övertonerna som en multipel av grundtonen med en heltals-siffra och två decimaler. De 128 separata amplitudenveloppen är inte av traditionell typ, utan man definierar fem oberoende nivåer och sex tider. Dessa kan användas för att t ex skapa amplitudspikar vid attacken (se figur 3).

Kurvsegmenten utgör så gott som linjä-

ra approximationer av den sökta enveloppen, vilket visat sig inte ha någon betydelse för trovärdigheten. Hasse Nordelius har t ex skapat ett flygelljud på sin prototyp, som inte går att skilja från en äkta flygel.

Anslagskänslighet är också mycket viktigt för att få "flygelrespons". Känsligheten kan programmeras i åtta nivåer och varje nivå kan innehålla en godtycklig förändring av ljudet beroende på vilket slags instrument det gäller. Det kan vara ökande volym, skarp attack, vibrato, eller total förändring av klangfärgen.

Modulation såsom vibrato kan alltså programmeras in i anslagskänsligheten. Den kan också styras med ett modulationshjul vid sidan av klaviaturen. Modulationen genereras av en separat lågfrekvensoscillator, LFO, för varje överton. Den kan styra övertonens frekvens och amplitud i godtyckliga proportioner.

En andra uppsättning enveloppgeneratorer används till frekvensen hos varje överton. Även denna varierar nämligen med tiden hos många instrument och ger instrumentet dess speciella ljudkaraktär. Övertonerna kan t ex starta på en annan frekvensnivå än den slutliga och glida omkring 20-25 ms innan de stabiliserar sig. Principen för denna pitchenvelop är densamma som för amplitudenveloppen, men den har två tidsparametrar mindre.

Kopiering

Totalt ger detta 320 totalt oberoende envelopparametrar att programmera för en

ljudinställning. Det blir både tidsödande och onödigt tungarbetat, eftersom många övertoner kan ha samma enveloppställning med eventuellt någon liten justering av en enstaka parameter. Därför finns det möjlighet att kopiera enveloppställningen till flera övertoner, och detsamma gäller för de övriga 96 parametrarna för modulation, fasförskjutning, amplitud och frekvens.

Uppdelad klaviatur

Klaviaturen går att dela upp i åtta godtyckliga delar med olika ljudinställningar. Det går dels att använda för att kompensera olika övertonsspektra inom olika delar av registret för ett musikinstrument och dels för att t ex få helt skilda ljud på melodi och ackompanjemang.

Med de åtta olika anslagsnivåerna betyder det att klaviaturen samtidigt kan rymma högst 64 olika ljudinställningar. Ljudbanken i syntens minne rymmer totalt 256 ljudinställningar. När det interna minnet är fyllt kan man via kassett interface lagra inställningar på kassett. Tanken är också att man ska kunna köpa en kassett med ett antal färdiga bra grundljud, exempelvis flygel, orgel, stråkar och blås.

Stradivariusfilter

En ytterligare karaktäristisk egenskap hos klangfärgen från ett musikinstrument som kan vara mycket viktig är dess formant. Det är vissa frekvenser som hos det akustiska instrumentet är extra för-

stärkta eller undertryckta på grund av klanglådans material och konstruktion.

Formanterna får alltså olika placering i övertonsspektrum beroende på vilken ton man spelar. De ligger fast frekvensmässigt och bildar ett eget formantspektrum. Det är t ex formanterna som ger den berömda Stradivariusfiolen dess vackra ton. Ett sådant Stradivariusspektrum och andra filterfunktioner kan lagras som en stor tabell i ett RAM i synten och ge ett betydligt mer levande ljud.

Programvara

Styrprogrammet är ett stort skräddarsytt assemblerprogram som samordnar hela syntens funktion. Förutom de hittills uppräknade editeringsfunktionerna används huvudprocessorn för ett flertal ytterligare uppgifter. Den sköter kommunikationen med eventuella externa minnen och externa processorer. Man kan t ex genom det standardiserade MIDI-systemet (Musical Instrument Digital Interface) låta synten styra eller styras av en annan synt.

Det går också att koppla syntens till en polyfon sequencer, med vars hjälp man kan programmera in hela musikstycken i

realtid för att sedan låta sequencern spela upp dem på syntens. Eventuellt kommer en sequencer att byggas in direkt i syntens.

Huvudprocessorn sköter också vissa speciella spelparametrar som exempelvis glissando och portamento, vilka innebär olika glidande variationer i tonhöjd.

Dessutom styrs allokeringen av de befintliga oscillatorerna därifrån. En listfunktion används för att välja bort en röst från en tidigare nedtryckt tangent och prioritera den till den senast nedtryckta, när den åttatoniga polyfonin överskrids.

Hans Gréen som utvecklat programvaran är sedan tidigare van vid specialiserade programstrukturer där stora mängder data ska behandlas under mycket kort tid. Alla instruktioner måste skrivas direkt i assembler för att inte bli för tidsödande.

Det speciella med detta projekt är att maskinvara och programvara hela tiden utvecklas parallellt i ett nära samarbete. Det finns inga låsta maskinvarustrukturer som programvaran måste anpassas helt efter, vilket är det vanliga.

Ingen ny idé

Additiv syntes är egentligen inget nytt.

Hasse Nordelius fick idén till den ideala syntens efter att ha läst en artikel i Radio & Television för över 15 år sedan som handlade om additiv ljudsyntes.

Men med den tidens teknik var det omöjligt att konstruera ett sådant instrument och Hasse hade precis slutat grundskolan och behövde också mer kunskaper för att kunna realisera idén. Han fick börja med att bygga orglar och kopior av andra syntar.

I dag finns det för forskningsändamål stora additiva syntar kopplade till jättedatorer på olika institutioner och universitet runt världen. Framst i USA, t ex på Stanford. Men ingen av dessa är bra i realtid. Dessutom är de mycket svårhanterliga. Däremot finns det ingen kommersiell additiv synt i dag.

Musikeranpassad

Det kommer att dröja ytterligare minst ett halvår innan Hasse Nordelius har en färdig prototyp för att starta serietillverkning av sin modell. Han gör fortfarande hela tiden förbättringar och plockar ut fler och fler styrparametrar för att göra instrumentet så flexibelt och dynamiskt som möjligt.

Samtidigt gäller det att behålla överskådligheten så att en musiker utan närmare tekniska kunskaper ska kunna handskas med det. Ljudskapandet blir mycket logiskt men det lär ändå ta tid innan en musiker får känslan för vilka parametrar som åstadkommer vilka förändringar i ljudet och vad som är karaktäristiskt för olika instrument.

En idé är att ha en LCD-matris på kontrollpanelen för grafisk representation av t ex en amplitudenvolpp i taget. På så vis kan man gå in och titta på färdiga ljud, göra småändringar och lära sig hur de är uppbyggda.

Fördelar

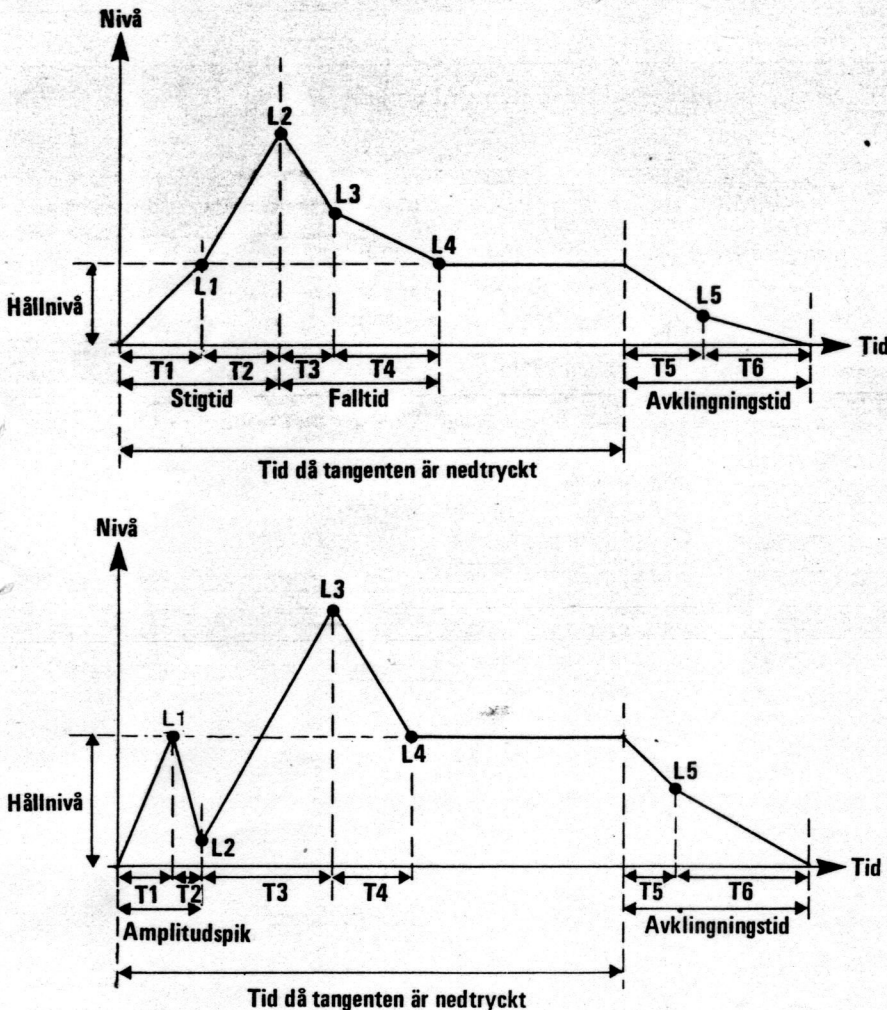
Men fördelarna med syntens är odiskutabla. När man väl har sina ljud inprogrammerade kan man genom en enda knapptryckning byta mellan konsertflygelljud, Hammondorgel, marimba, eller vad man nu vill ha. Anslagskänsligheten ger den rätta feedbacken och framför allt blir syntens möjlig att bära med sig, till skillnad mot en riktig flygel. Alla de egenskaperna kan ingen av dagens syntar skryta med.

Digitala trummor

Hasse Nordelius arbetar också för närvarande med att tillverka och sälja små digitala trumplattor som han har konstruerat.

Trumplattorna liknar till formen kassettunderlägg och de innehåller kassetter med digitalt samplade ljud från allt mellan orkesterpukor och handklapp. De har ställbar anslagskänslighet från fingerspel till tungt spel med trumstockar och en fantastisk dynamik. Fabrikatet heter Clavia och de kostar ca 2 500:—.

Örjan Ericson



Figur 3. Övre figuren visar amplitudenvolppen inställd som "standardenvolpp". I undre figuren är amplitudenvolppen inställd för att ge en extra attack vid anslaget av tonen.