

Mätning av högtalarens tonkurva

Svante Granqvist
2008-10-21 16:20

Laboration i DT242V

Högtalarkonstruktion

Mätning av högtalarens tonkurva

Mätning av högtalarens tonkurva

Under denna mätning ska du prova på några olika metoder för att mäta högtalarens tonkurva. Vi ska studera vad som händer inuti, nära och på stort avstånd från lådan. Rummets egenskaper kommer att spela in, vilket i princip inte är önskvärt i denna mätning. Senare i kursen kommer vi att återvända till denna typ av mätning men med mer raffinerade metoder. Läs gärna kapitel 4 inför labben.

Högtalarens tonkurva

Det är egentligen felaktigt att tala om högtalarens tonkurva som om det fanns en enda väldefinierad tonkurva. En högtalare har så gott som alltid olika tonkurvor sett från olika riktningar och i någon mån även på olika avstånd. Tonkurvorna är alltså flera. När högtalaren står i ett vanligt rum med fronten riktad mot lyssnaren kommer ljudet att nå honom/henne dels via direktljudet som strålas ut i 0° -riktningen, men även från andra riktningar via en eller flera reflexioner mot väggarna. Av detta kan man förstå att en väl utformad tonkurva i 0° -riktningen inte nödvändigtvis är tillräckligt för god återgivning.

Även om man vid lyssning nås av ljud från flera håll via direkt och reflekterat ljud, så är det bra för högtalarkonstruktören att kunna mäta och analysera ljudet separat i de olika riktningarna. Man är mao inte primärt intresserad av rummets egenskaper, utan vill gärna veta hur högtalaren beter sig i olika riktningar utan väggreflexer.

Den typen av mätningar kan göras utomhus, tex med högtalare och mikrofon upphissad i en flaggstång, men det är inte särskilt praktiskt. Alternativt hyr man in sig i ett ekofritt rum. Detta är dock ganska dyrt och faktum är att även ekofria rum dämpar ganska dåligt vid riktigt låga frekvenser.

Vi kommer under denna och en senare laboration att titta på några metoder att mäta högtalares tonkurva i olika riktningar och frekvensområden. Det visar sig att det finns flera metoder som är olika lämpade för olika frekvensområden, och typiskt använder man sig av flera metoder som man kombinerar för att täcka in hela frekvensområdet. På så sätt kan man mäta inomhus utan att ha tillgång till ett ekofritt rum.

Lågfrekvensområdet

Lågfrekvensområdet för en högtalare är på ett sätt komplicerat att mäta på grund av att de flesta rum påverkar tonkurvan långt mer än högtalaren själv. Å andra sidan är högtalare nästan alltid rundstrålande i detta område, vilket gör att man inte behöver mäta upp tonkurvan i många riktningar.

Närfältsmätning

Man kan undertrycka reflexioner från rummets väggar genom att placera mätmikrofonen extremt nära högtalarens membran. Man kan omvandla ljudtrycket uppmätt nära till det man skulle ha mätt på avståndet d i fri rymd genom att multiplicera trycket med faktorn $\alpha=r/4d$ där r är elementets effektiva radie.

För system med flera strålande öppningar, tex ett basreflexsystem, kan man mäta bidragen från respektive öppning och sedan addera bidragen i datorn. Det är dock mycket viktigt att man håller reda på faslägena för de olika signalerna; enbart amplitudinFORMATION räcker inte för att summera de två bidragen.

Närfältsmätningen fungerar mycket bra om våglängden är mycket större än elementet och om eventuella störkällor sitter på stort avstånd. Det senare kan bli ett problem om basreflexöppningen sitter väldigt nära elementet. Närfältsmätningen av elementet blir

då ”smittat” av portens strålning och tvärtom. Baffelsteget syns *inte* i en närfältsmätning.

Mätning med mikrofonen inuti lådan

Eftersom högtalaren är rundstrålande vid låga frekvenser kan den betraktas som en punktkälla. Det enda man behöver veta om en punktkälla för att bestämma dess ljudnivå är dess källflöde (mätt i m^3/s). Detta källflöde är samma som det som flödar ut ur lådans kavitet. Detta flöde, i sin tur ger upphov till ett ljudtryck inuti lådan och det trycket kan vi mäta med en mikrofon. Detta inre tryck kan räknas om till trycket på avståndet d genom att multiplicera uppmätt ljudtryck (inuti lådan) med $\alpha = (\omega^2 V_b) / (4d\pi c^2)$, där c är ljudhastigheten 343 m/s, ω är vinkelfrekvensen $2\pi f$ och V_b är lådans volym. Faktorn ω^2 innebär att den uppmätta tonkurvan ska lutas med +12 dB/oktav, vilket kan ordnas i datorprogrammet.

Metoden fungerar bra både till slutna lådor och basreflexlådor och med basreflexlådan fås en automatisk summering av bidragen från element och port. Eftersom mikrofonen sitter inuti lådan blir rummets bidrag i praktiken försumbart. Det blir dock lätt mycket höga ljudtryck inuti lådan, så man måste vara observant på risken att överstyra mikrofonen. 80 dB ljudtrycksnivå utanför lådan kan utan vidare ge 130 dB inuti lådan vid låga frekvenser. Baffelsteget syns inte heller vid mätning med mikrofon inuti lådan..

Högfrekvensområdet

Högfrekvensområdet är mer komplicerat än lågfrekvensområdet i det att högtalaren har en riktnings- och avståndsberoende tonkurva. Rikttningsberoendet är i sig intressant för konstruktören, medan avståndsberoendet mest ställer till det i och med att det omöjliggör nyttiga närfältsmätningar vid höga frekvenser.

Högfrekvensområdet måste alltså mätas på någorlunda stort avstånd. Detta gör att reflexer från rummets väggar kommer att påverka tonkurvas utseende. Detta är dock inte lika allvarligt som i lågfrekvensområdet eftersom frekvensen som regel är högre än Schröders gränshastighet. Detta gör att tonkurvan visserligen ser taggig ut, men denna taggighet kan ofta filtreras bort med ögat eller med ett filter (eng: smoothing). Man kan ändå se den underliggande bredbandiga strukturen i kurvan. Det finns dock metoder att helt undvika inverkan av rummets reflexer som vi ska se vid ett senare labbtillfälle.

Avståndet till mikrofonen vid vanlig sveptomsmätning blir en kompromiss mellan inverkan från rumsreflexer och högtalarens avståndsberoende tonkurva. Som sades under ”närfältsmätning” så syns inte baffelsteget om mikrofonen placeras alldeles intill membranet. Detta beror på att de diffraktionskällor som uppstår vid baffelns kant strålar på väsentligt större avstånd från mikrofonen än membranet. Vid mätning av högfrekvensområdet, där bla baffelsteg och konuppbyggnader är viktiga, måste därför avståndet till alla strålande delar av högtalaren vara ungefär lika stort. Skillnaden mellan avstånden måste vara liten i förhållande till våglängden. Å andra sidan vill man ändå att ljudet ska domineras av direktljudet. Detta innebär att mikrofonen åtminstone ska placeras innanför rummets efterklangsradi. Sammantaget brukar detta leda till att man i praktiken gärna mäter en normalstor högtalares högfrekvenstonkurvor inom någon meters avstånd.

Labbutrustningen

Du kommer att ha tillgång till en labbhögtalare med två Seaselement; ett baselement CA18RLY H1217-08 ohm och ett diskantelement 27TDFC/TV H1210 6 ohm. Lådan har ett 75 mm basreflexrör, som du får kapa till lämplig längd. Lådan drivs av ett 75 W slutsteg som i sin tur matas av ett USB-ljudkort. Till USB-ljudkortet kopplas även en mätmikrofon av budgettyp, en Behringer ECM8000.

Tombstone

Tombstone är ett program som skrevs till kursen i Elektroakustik i syfte att ersätta de äldre analoga sveputrustningarna. Programmet genererar ett logaritmiskt sinussvep som matas till mätobjektet (högtalaren) och mäter sedan amplituden på signalen som kommer in på ingången. Tombstone registrerar *inte* fasläget på insignalen.

Eftersom Windows introducerar en aningen svårkontrollerad fördröjning mellan ut- och ingång så behöver de synkroniseras. Detta åstadkoms med en triggsignal som ljuder före svepet. När insignalens amplitud stiger över en tröskelnivå, förstår programmet att triggsignalen har nått ingången och därmed kan frekvenssvepet ritas upp så att det stämmer med frekvensaxeln.

För att systemet med trigging ska fungera så måste triggnivån vara riktigt inställd, och triggsignalen måste ha en frekvens som lätt tar sig igenom systemet. Står triggnivån för lågt kan svepet starta pga bakgrundsstörningar, *detta ger en tonkurva som är förskjuten i frekvensled*. Står den för högt startar inte registreringen.

Inställningen av triggingen är viktig och ställer ofta till problem för förstagångsanvändaren, men när man väl har förstått systemet så är den tämligen okomplicerad.

Tombstone kan också ordna med en lutning av tonkurvan. Detta kommer väl till pass vid mätningen med mikrofon inuti lådan, som ju kräver en lutning på +12 dB/oktav.

Kort om att mäta i grupp

Ni kommer att vara många personer i samma rum och alla kommer att göra mätningar med sinussvep, som i princip kräver en tyst omgivning. Man ska absolut prata med varandra om labben, det är både trevligt och nyttigt, men det kan också störa mätningar i de andra grupperna.

Därför:

När ni hör Tombstones synksignal hos någon granne, var tysta tills svepet är färdigt.

Tack för visad hänsyn.

Mätning av högtalarens tonkurva

Använd Tombstone för att mäta upp labbhögtalarens tonkurva under förutsättningarna nedan. Spara varje mätning med filnamnet i högerkolumnen. Elementen är numrerade på baksidan med spritpenna.

Vid slutet av labben: Låna USB-minne av Svante för att föra över filerna. De kommer att läggas upp på webben så att alla kan titta på dem.

Mikrofonposition	Filnamn (byt n mot systemets nummer)
Närfält bas (1cm)	n_woofer_1cm.tom
Närfält port (1cm)	n_port_1cm.tom
Närfält diskant (1cm)	n_tweeter_1cm.tom
Inuti lådan (med + 12 dB/oktav lutning)	n_inside_box.tom
Fjärrfält 0,5 m bas/port 0°	n_woofer_05m_0deg.tom
Fjärrfält 0,5 m bas/port 15° upp	n_woofer_05m_15degup.tom
Fjärrfält 0,5 m bas/port 30° upp	n_woofer_05m_30degup.tom
Fjärrfält 0,5 m bas/port 45° upp	n_woofer_05m_45degup.tom
Fjärrfält 0,5 m bas/port 15° ner	n_woofer_05m_15degdown.tom
Fjärrfält 0,5 m bas/port 30° ner	n_woofer_05m_30degdown.tom
Fjärrfält 0,5 m bas/port 45° ner	n_woofer_05m_45degdown.tom
Fjärrfält 0,5 m bas/port 30° vänster	n_woofer_05m_30degleft.tom
Fjärrfält 0,5 m diskant 0°	n_tweeter_05m_0deg.tom
Fjärrfält 0,5 m diskant 15° upp	n_tweeter_05m_15degup.tom
Fjärrfält 0,5 m diskant 30° upp	n_tweeter_05m_30degup.tom
Fjärrfält 0,5 m diskant 45° upp	n_tweeter_05m_45degup.tom
Fjärrfält 0,5 m diskant 15° ner	n_tweeter_05m_15degdown.tom
Fjärrfält 0,5 m diskant 30° ner	n_tweeter_05m_30degdown.tom
Fjärrfält 0,5 m diskant 45° ner	n_tweeter_05m_45degdown.tom
Fjärrfält 0,5 m diskant 30° vänster	n_tweeter_05m_45degleft.tom