

Mätningar med avancerade metoder

Svante Granqvist
2008-11-12 13:41

Laboration i DT2420/DT242V

Högtalarkonstruktion

Mätningar på högtalare med avancerade metoder

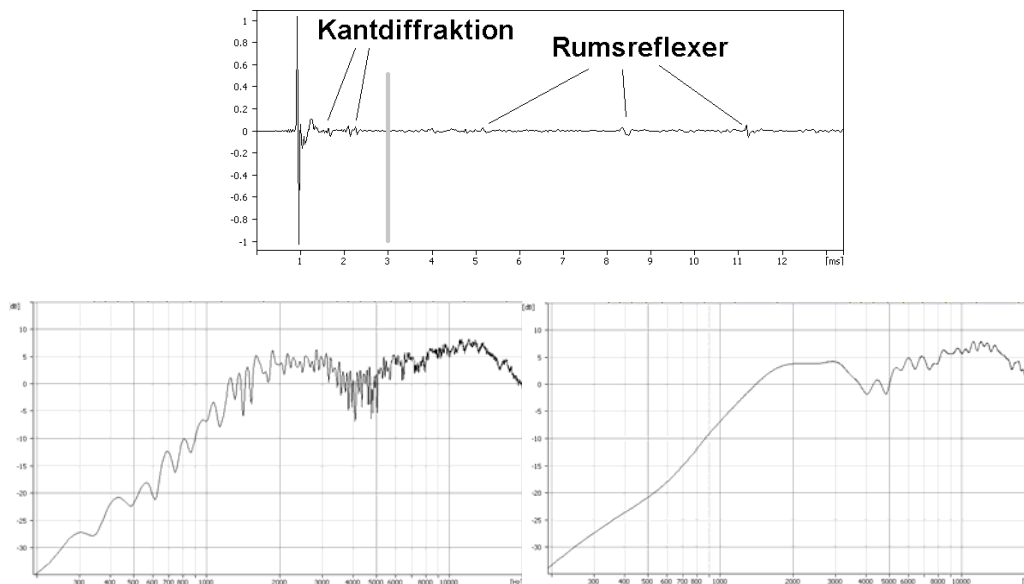
Med datorerna och signalprocessningens intåg har det utvecklats nya effektivare metoder för uppmätning av högtalares tonkurva och distorsion. De kan i många avseenden eliminera behovet av att mäta utomhus eller i ett ekofritt rum. Läs gärna igenom kapitel 6 och 7 i d'Appolito inför labben.

Metoder att mäta tonkurva

Att mäta tonkurva handlar ju om att ta reda på hur ett system överför olika frekvenser. För varje frekvens tillför en högtalare en amplitudfaktor och en fasvridning. Det uppenbara sättet att mäta tonkurva (=amplitudfaktorn uttryckt i dB som funktion av frekvensen) blir att tillföra högtalaren en sinusformig signal med en frekvens i taget och rita upp hur ljudet från högtalaren varierar i styrka. Innan datorernas intåg fanns det avancerade analoga apparater som automatiserade detta; de genererade typiskt logaritmiska sinussvep och registrerade amplituden på ljudsignalen. Detta gör också vad datorprogrammet Tombstone som vi använde i elektroakustikkursen och i DT242V i laboration 2. Med en sådan mätning förloras fasinformationen.

Fouriertransform av impulssvar

Med den digitala signalbehandlingens intåg så har det dock dykt upp nya metoder att mäta tonkurva. Fouriertransformen kan användas för att bestämma styrka och fasläge på en godtycklig signals frekvensinnehåll. Man kan alltså spela alla frekvenser på en gång och i efterhand ”plocka isär” signalen i dess olika frekvenskomponenter. I princip räcker det alltså med att spela en enda impuls (som ju innehåller alla frekvenser) och utföra en fourieranalys på ljudet från högtalaren.



Figur 1. Överst: Impulssvar för diskantelementet i en högtalare i rum. Före 3 ms syns impulssvaret från elementet och baffelkanterna. Efter 3 ms syns reflexioner från rummets väggar. Vänster: Spektrum för hela impulssvaret. Höger: Spektrum för impulssvaret, trunkerat vid 3 ms.

Mätningen som förut varade i flera sekunder kan nu reduceras till att mäta under impulssvarets längd, vanligen en bråkdel av en sekund. Detta för med sig flera fördelar utöver att mätningen går snabbare.

Fouriertransform av trunkerat impulssvar

Om högtalarens impulssvar är väsentligt kortare än tiden till första reflexen från rummets väggar så kan impulssvaret trunkeras, dvs man klipper helt enkelt bort de sena delarna av impulssvaret och gör analysen på de tidiga delarna. På detta sätt har man skenbart utfört mätningen under ekofria förhållanden.

I Figur 1 syns hur man via trunkering av impulssvaret kan ta bort rumsreflexerna och därmed även den ”taggighet” i tonkurvan som blir följderna av dem. Denna taggighet känner vi igen från fjärrfältsmätningar. I och med trunkeringen slipper vi rumsreflexerna och den underliggande tonkurvan som representerar ljudet som högtalaren strålar ut i ekofri rymd träder fram.

Metoden har givetvis begränsningar. Den allvarligaste är att ett kort trunkerat impulssvar inte kan ge information om låga frekvenser. Det är ju rätt rimligt att åtminstone en period av en viss frekvens behöver rymmas i trunkeringsfönstret för att man ska kunna uttala sig om dess styrka. För att mätningen ska fungera med så låga frekvenser som möjligt så bör därför rumsreflexerna komma så sent som möjligt. Detta i sin tur innebär att högtalare och mikrofon bör placeras på så stort avstånd som möjligt ifrån de reflekterande ytorna i rummet. Här finns det en del knep att ta till, se tex ”ground plane measurements” på s. 63 i d’Appolito.

Via impulssvaret kan man alltså mäta systemets tonkurva som om mätningen hade gjorts i ekofritt rum, åtminstone för höga frekvenser.

Att mäta impulssvaret direkt

Högtalarsystemets impulssvar kan *i princip* mätas genom att man skickar en impuls till det och mäter ljudet med en mikrofon. Mikrofonsignalen är då, om mikrofonen är bra, per definition en kopia av högtalarens impulssvar.

Problemet med den direkta metoden ovan är att en impuls innehåller väldigt lite energi för en given maximal momentan amplitud. Man vill att impulsen ska bestå av ett enda sampel med maximal amplitud och resten av samplen ska vara nollsample. Gör man så, så kommer impulssvaret med stor sannolikhet att överröstas av bakgrundsbuller.

Att beräkna impulssvaret indirekt

Systemets ton- och faskurva innehåller precis samma information som impulssvaret. I själva verket är de ett fouriertransformpar, och via fouriertransformen och den inversa fouriertransformen kan vi räkna om mellan de två sätten att representera överföringsfunktionen.

Det betyder att vi kan mäta ton- och faskurvan inklusive alla rumsreflexer och sedan beräkna impulssvaret via den inversa Fouriertransformen. Vi kommer då att se ett impulssvar liknande det i Figur 1, som innehåller även de sena reflexerna från rummets väggar. På så sätt har vi erhållit systemets impulssvar, fast vi matade systemet signal som inte var en impuls. Vi kan faktiskt välja en godtycklig signal, bara den innehåller alla frekvenser.

Det finns andra signaler än impulsen som har ett vitt spektrum, som tex vitt brus eller linjära sinussvep. Faktum är att signalen inte ens behöver vara vit (=ha samma amplitud på alla frekvenskomponenter), vi vet ju hur stark varje komponent är på ingång och utgång och vi vet deras faslägen. Det kan vi ju ta reda på genom att göra

spektralanalys på in- och utsignal. Det går alltså bra även med rosa brus eller logaritmiska sinussvep.

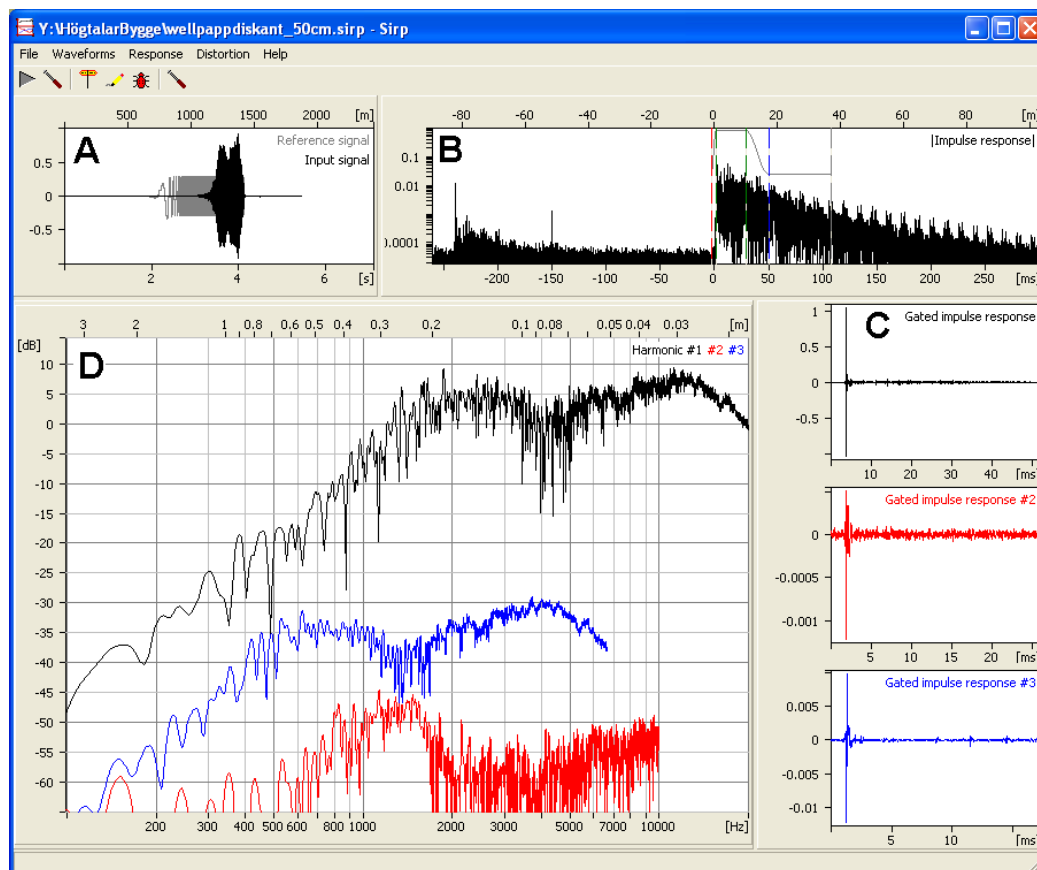
Därmed kan vi få fram systemets impulssvar genom att räkna baklänges från en excitation med en godtycklig signal, bara den innehåller alla frekvenser.

Val av exciterande signal

Historiskt har förstås flera typer av signaler prövats. De vanligast använda är sk MLS-brus och sinussvep. MLS-signalen har fördelen att den innehåller maximal energi, och att beräkningen av impulssvaret kan förenklas. Det senare var viktigare förr än nu eftersom datorutvecklingen har gått framåt. I labben kommer vi att använda logaritmiska sinussvep eftersom de även kan användas för att mäta harmonisk distorsion.

Kort om programmet Sirp

Sirp är ett program som genererar ett logaritmiskt sinussvep, mäter en mikrofonsignal och beräknar impulssvaret från dessa. Från impulssvaret kan man välja den bit som är intressant för att med detta trunkerade impulssvar få fram en virtuell ekofri tonkurvemätning.



Figur 2. Programmet Sirp. I fönster A syns referenssignalen (grå) och mikrofonsignalen (svart), I fönster B syns absolutbeloppet av impulssvaret på logaritmisk amplitudskala. I fönster C syns den utvalda delen mellan c:a -3 och 48 ms (svart) och urklipp kring -150 ms (röd) och -240 ms (blå), de senare motsvarar harmonisk distorsion. I fönster D syns Fouriertransformen av impulserna i fönster C.

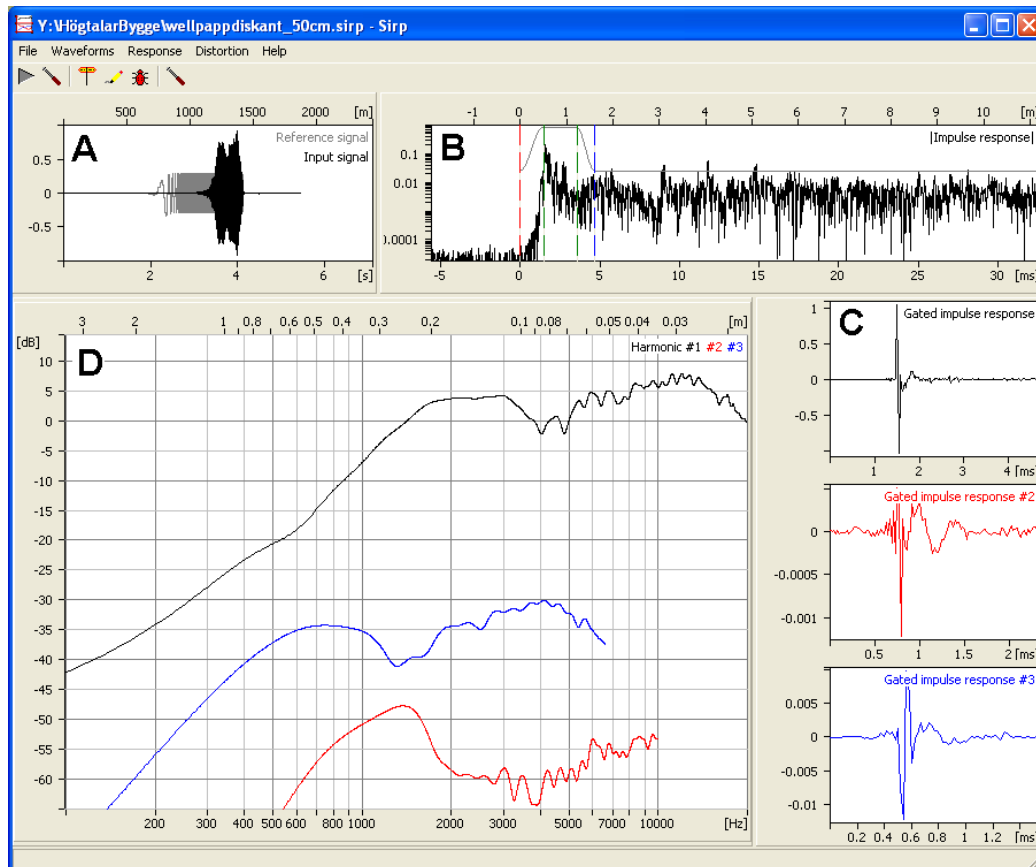
Distorsionsmätning

Eftersom excitationssignalen är ett logarimiskt sinussvep, kommer eventuella olinjäriteter i högtalaren att dyka upp som impulser före huvudimpulsen i högtalarens impulssvar. Sirp kan lokalisera dessa automatiskt och rita upp 2-5:e deltonens amplitud som funktion av frekvensen.

Handhavande

I Figur 2 syns hur man väljer en bit av impulssvaret i fönster B (=trunkerar det) och hur det sedan räknas om till tonkurvor och distorsionsförlopp i fönster D. Här har man valt ett så pass långt fönster att flera av rummets reflexer finns med, vilket syns på den taggiga tonkurvan och de sena topparna i svarta kurvorna i B och C.

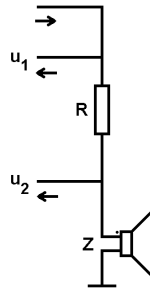
I Figur 3 har tidsskalan i fönster B expanderats och ett kortare fönster valts. Här kan man se att huvudimpulsen anländer till mikrofonen efter c:a 1,5 ms, vilket motsvarar 0,5 m löpväg. Vid 2,5 ms kommer reflexer från lådans kanter och därefter kommer flera impulser från rummet. Tonkurvan uppvisar nu ett betydligt lugnare förlopp, men är inte tillförlitlig mot lägre frekvenser.



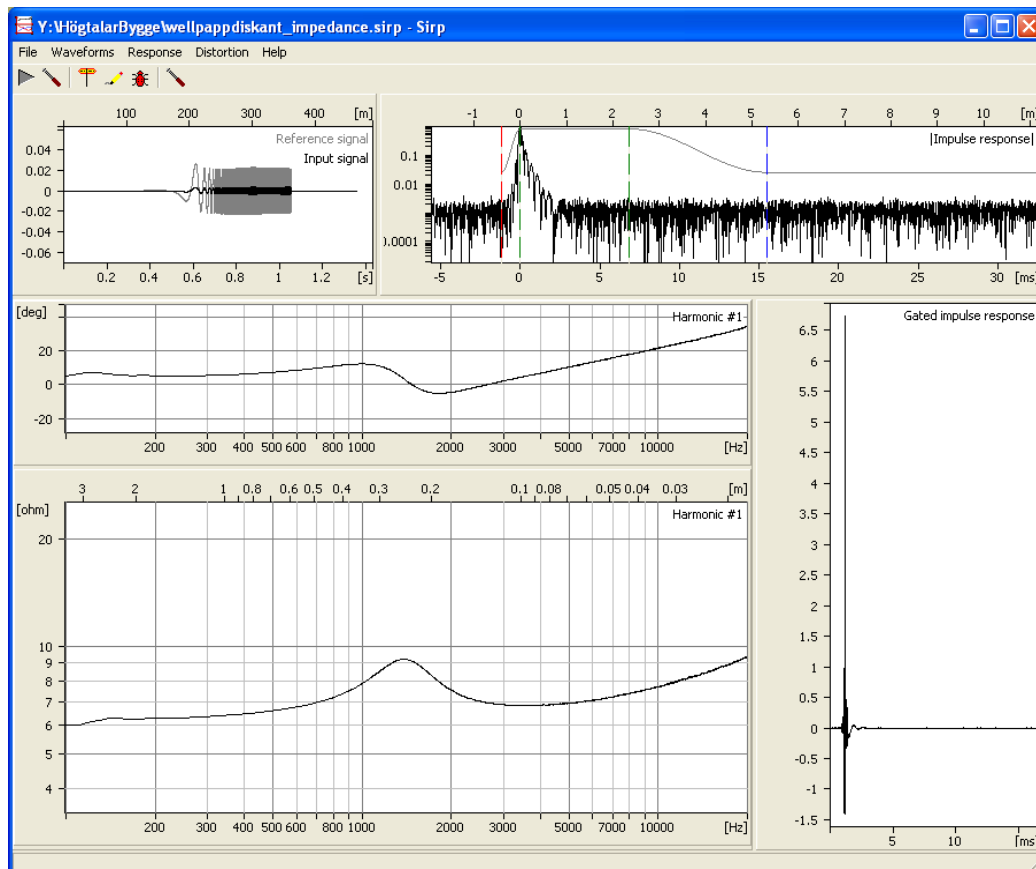
Figur 3. Samma signal som i Figur 2, men här har man zoomat in på huvudimpulsen i fönster B och valt en kortare bit av signalen. Denna mätning motsvarar en mätning i ekofritt rum vid höga frekvenser.

Mätning av elektrisk impedans

Sirp kan också mäta den elektriska impedansen hos högtalarelementet. Detta görs enligt samma princip som i laboration 1 via ett seriemotstånd. Sirp räknar om de spänningar den får till en impedanskurva, inklusive impedansens fas. Egentligen behöver man inte trunkera det impulssvar man får vid den här mätningen, men det är inte särskilt kritiskt så vi gör det ändå.



Figur 4. Impedansen mäts med denna koppling. Sirp kan räkna ut impedansens belopp och fasvinkel genom att mäta spänningarna u_1 och u_2 .



Figur 5. Mätning av impedanskurva görs på nästan samma sätt som tonkurvemätningen.

Utförande av labben

Använd Sirp för att mäta upp labbhögtalarens tonkurva under förutsättningarna nedan. Spara varje mätning med filnamnet i högerkolumnen. Lådorna är numrerade på ovansidan. Det är noga att mikrofonen hamnar på samma plats vid mätning av bas och diskant, eftersom fasläget kommer att vägas in i simuleringen senare.

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.

Mätning	Filnamn (byt n mot systemets nummer)
Impedans, baselement	n_woofer_imp.sirp
Impedans, diskantelement	n_tweeter_imp.sirp
Närfält bas (1cm)	n_woofer_1cm.sirp
Närfält port (1cm)	n_port_1cm.sirp
Närfält diskant (1cm)	n_tweeter_1cm.sirp

När dessa mätningar är gjorda och sparade, kontrollera att ni kan spara både impedanskurvan och tonkurvan till en sirp-fil som kan läsas av Basta!. Fortsätt sedan med mätningarna nedan.

Fjärrfält 1 m diskant 0°	n_tweeter_1m_0deg.sirp
Fjärrfält 1 m bas/port 0°	n_woofer_1m_0deg.sirp
Fjärrfält 1 m diskant 45° upp	n_tweeter_1m_45degup.sirp
Fjärrfält 1 m bas/port 45° upp	n_woofer_1m_45degup.sirp

I mån av tid

Fjärrfält 1 m bas/port 30° vänster	n_woofer_1m_30degleft.sirp
Fjärrfält 1 m diskant 30° vänster	n_tweeter_1m_30degleft.sirp
Fjärrfält 1 m diskant 30° ner	n_tweeter_1m_30degdown.sirp
Fjärrfält 1 m bas/port 30° ner	n_woofer_1m_30degdown.sirp