

## Fasbrus – Jens Koefoed SM7OVK

Med den här artikeln vill jag försöka förklara lite om fasbrus. Det blir inga teori-utläggningar utan där hänvisar jag till den litteratur som finns att tillgå i ämnet. Det här är inget nytt och mycket har redan skrivits "populärvetenskapligt" i ämnet, men fortfarande verkar det som om allt för många radioamatörer, men även radio-konstruktörer för den delen, verkar stoppa huvudet i sanden. Ordet fasbrus har i den här artikeln blandats lite med andra typer av brus, men jag tror inte det spelar någon större roll för den populärvetenskapligt intresserade radioamatören. Syftet med artikeln är att sprida en medvetenhet till alla radioamatörer så att vi kan samsas på ett bättre sätt om den naturresurs vi har fått tillgång till.

### “Miljöbov”

Om utsläpp av koldioxid är ett stort miljöhot, så är fasbrus i stort sett det samma för radiovärlden! Det bildas brus på många sätt i vår värld, inte bara ute från rymden där vi alltid har ett bakgrundsbrus, utan också från elmotorer och annan utrustning som kan stråla ut störningar som i vissa frekvensområden kan uppfattas som brus. Just fasbrus är väldigt vanligt i radiosändarsammanhang och eftersom det många gånger är höga effekter och dessutom antenner som strålar ut denna energi så kan den nå långt.

Fasbrus bildas i alla oscillatorer och kan sedan inte filtreras bort helt. En enklare oscillator har ibland ett högre fasbrus än en mer komplicerad, men det måste inte alls vara så - en vanlig kristalloscillator har oftast ett väldigt lågt fasbrus.

Många gånger kan man reducera fasbruset med en bra PLL-koppling, dvs själva kontrollen av oscillatoren. Tyvärr kan det kosta en hel del pengar att ta fram en bra oscillator-lösning varför tillverkarna av modern utrustning inte alltid är så intresserade av att åtgärda problemen även om lösningarna ibland kan vara väldigt enkla. Redan på 70-talet så var bland annat Leif, SM5BSZ, väldigt aktiv och försökte få oss och tillverkarna av amatörradio-utrustning medvetna om problematiken genom att bidra med modifieringar av radioapparater som vida ökade deras prestanda. En prestanda som tyvärr fortfarande många gånger de nya amatörradio-apparaterna inte kommer i närheten av idag.

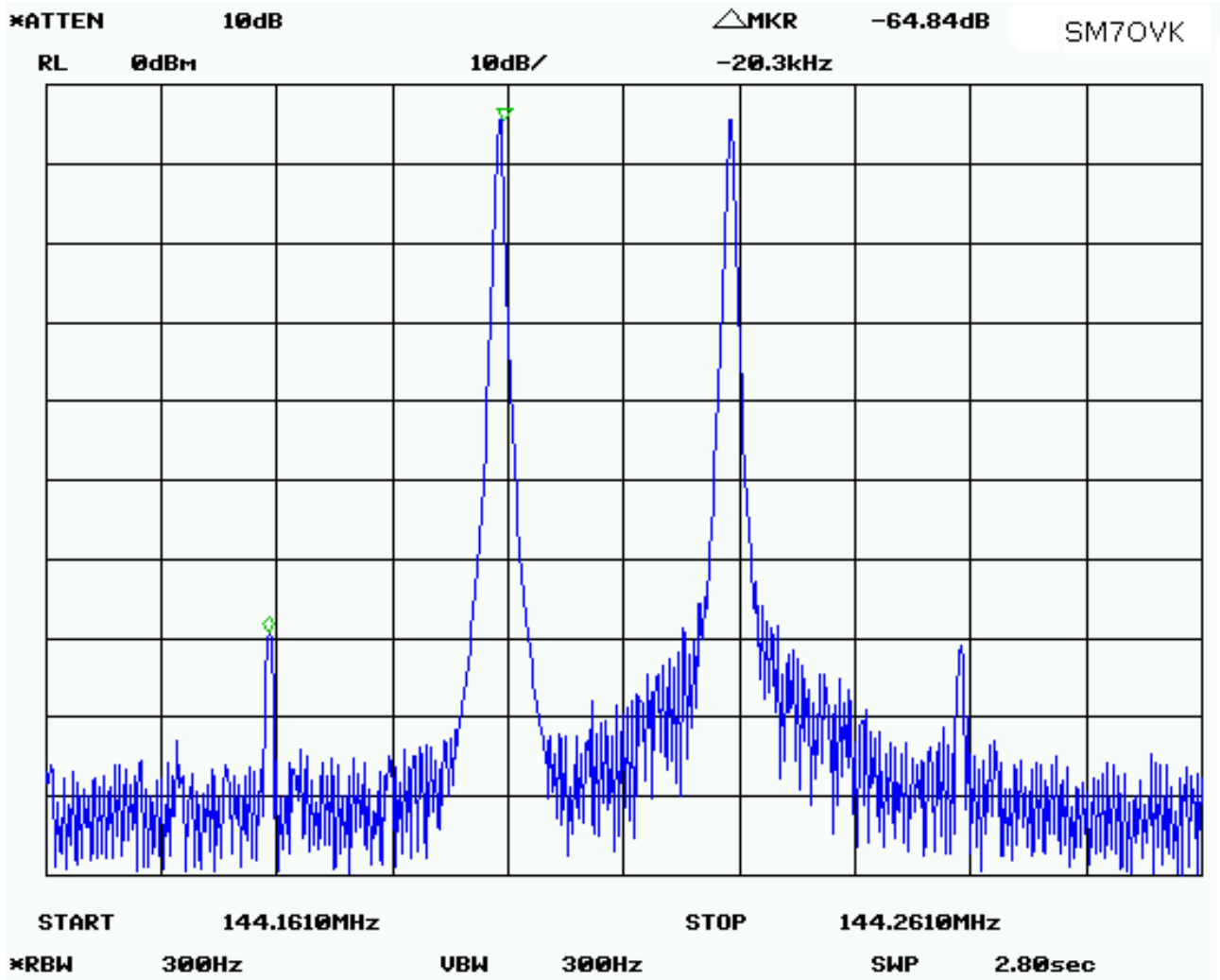
Tyvärr används många gånger oscillator-lösningar från HF-rigggar på VHF- och UHF-banden där det högre antenn-gainen ger högre fältstyrkor med nya problem. Det är alltså långt ifrån alla kortvågs-rigggar som är lämpade att användas tillsammans med transverter till högre frekvensband.

### Lite om brus

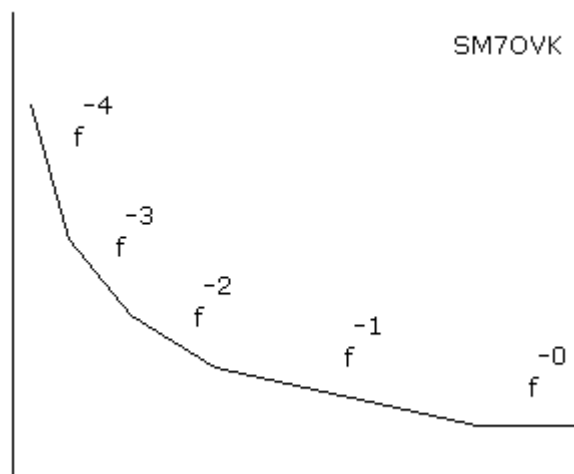
Allt brus är additivt, dvs alla sorters brus läggs ihop med varandra och med nyttsignalen. Det brus som radions lokaloscillator innehåller kommer att lägga sig på den mottagna signalen, men också på den utsända eftersom man oftast använder samma lokaloscillator för både sändning och mottagning. Fasbruset i den signal som sänds ut dämpas precis som nyttsignalen, dvs som en helt vanligt "radiosignal". Förstärker man sin utsignal, så förstärks även det utsända bruset lika mycket.

Hur ser fasbruset ut? Tittar vi på figur 1 så ser man två signaler med klart högre amplitud än de två ute vid kanterna, (de två mindre ute i kanterna bortser vi ifrån i den här artikeln). Detta är två olika signalgeneratorer där den högra är mycket billigare än den vänstra. Den högra är en Fluke 6061A med ett tydligt fasbrus, dvs ett ökande brus vid signalens sidor med en klar ökning jämfört med spektrum-analysatorns grundbrus ju närmare centerfrekvensen eller carriern vi tittar. Den vänstra är en Rohde&Schwarz SMIQ där vi knappast kan se fasbruset på den här bilden. Naturligtvis har R&S-generatorn också ett fasbrus, men med den inställningen som har använts av spektrum-analysatorn så kan man knappast se det.

Eftersom alla oscillatorer innehåller fasbrus så är det naturligtvis intressant att veta hur mycket och framför allt att veta hur snabbt det avtar från carriern. Ju snabbare fasbruset avtar desto renare signal och man kan nästan säga att ju svagare signaler kan man höra, om bara inte bakgrundsbruset är starkare. Man kommer heller inte att störa sin omgivning lika mycket, vilket vi ju inte heller vill!



*Drawing 1: Oscillators with phasenoise*



*Drawing 2: Characterization of noise sideband in the frequency domain.*

Fasbruset brukar karakteriseras enligt figur2, där de olika områdena på kurvan härstammar från olika fysikaliska processer i oscillatorn och dess styrning. Delen längst till höger,  $f^0$ , är vitt brus och kan jämföras med det vanliga bakgrundsbruset.  $f^1$  är det man kallar 1/f-brus eller flicker noise, dvs ett brus som ökar med minskande frekvens, något som nog de flesta hört talas om när man talar om tex olika halvledare. Det man tydligt ser är att de olika komponenterna ökar snabbt i styrka ju närmare man tittar på oscillatorns carrier. Valet av komponenter i oscillatorn är alltså av största betydelse, både den aktiva komponenten och Q-värdet i svängningskretsen.

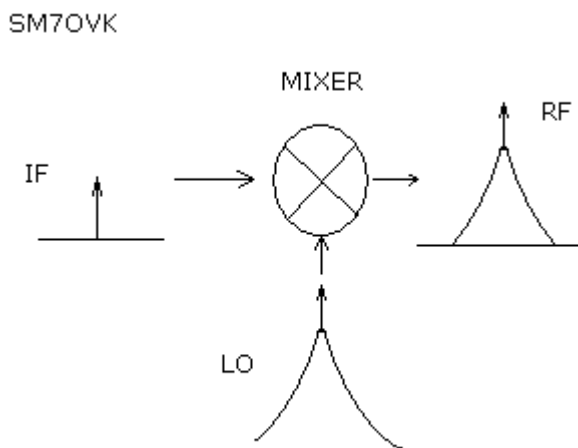
Det skall tilläggas att detta gäller precis alla oscillatorer, även tex en CPU med inbyggd processor. Slarva tex aldrig med de små kapacitanserna som brukar sitta vid resonatorn eller kristallen. Oscillatorn fungerar kanske, men utan dessa kondensatorer så ökar oscillatorns brus och en överton landar kanske i närheten av en frekvens du senare vill lyssna på!

## Vad händer vid sändning?

Den modulerade signalen, tex en nycklad carrier, är ofta "tillverkad" i radion med en liten kristall-oscillator på en mellanfrekvens, IF. (Många gånger används samma oscillator som BFO vid mottagning.) Denna nyttosignal är ganska ren, det är ju normalt en kristalloscillator. När den sedan mixas med lokaloscillatorn så tillförs lokaloscillatorns brus på nyttosignalen, se figur3.

Precis samma sak kan ske i en transverter, men då är oftast lokaloscillatorn i transvertern en kristalloscillator och får då karakteriseras av IF-signalen i figur3. Kortvågssändaren är tyvärr ofta den brusiga signalen som i figur3 är märkt med LO.

Det här kan fungera om man har långt till sina radio-grannar, men förstärker man sedan denna signal i en effektförstärkare så lyfts hela signalen uppåt och bruset ökar lika mycket som nyttosignalen. Jag har redan tidigare nämnt att brus sänds precis som nyttosignalen, men det "överröstas" till slut av bakgrundsbruset – precis som radiosignalen till slut. Resultatet på de högre frekvens-banden är naturligtvis att närliggande stationer helt omöjligt kan ta emot signaler som är svagare än detta bredbandiga brus, det går helt enkelt inte att filtrera bort om man skall behålla nyttosignalen.



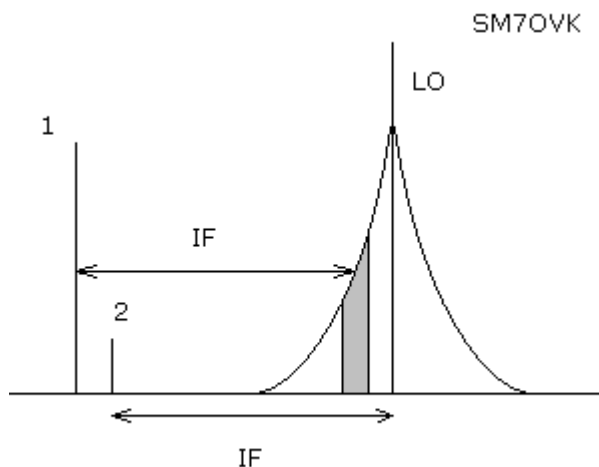
*Drawing 3: TX mixer*

Oftast blir det här bruset lika brett som förstärkarnas utgångskretsar tillåter. Det innebär många gånger att det når långt utanför amatörbanden!

## Vad händer vid mottagning?

Här är det mer lömskt, eftersom man *dels* kan ha så mycket fasbrus i sin lokaloscillator att det överöstar de mottagna signalerna, *dels* ha en störande signal i sin närhet som sänder ut en signal

med ett högt fasbrus, *dels* att ens egen mottagare blir överstyrd av den mottagna signalen och att den då "smittas" av ens eget brus i lokaloscillatorn. Det sistnämnda kallas reciprocal mixing, se figur4, och är tyvärr synnerligen vanligt förekommande under tester.



*Drawing 4: Reciprocal mixing.*

I en superheterodyn-mottagare, dvs den typen som ännu är den absolut vanligaste mottagartypen, så blandar man den mottagna signalen med en lokaloscillator och ut får man en mellanfrekvens. (Om lokaloscillatorn ligger över eller under den mottagna signalen spelar ingen roll.)

Det normala i en sådan mottagare är att den önskade signalen, numrerad 2 i figur4, blandas med lokal-oscillatorn och ut får man en mellanfrekvens, IF. Har dock lokal-oscillatorn, LO i figur4, tillräckligt högt fasbrus samtidigt som en mottagen signal är tillräckligt stark på samma avstånd som en av de signaler man vill ta emot, så kommer den att blandas ner tillsammans med mottagarens eget brus och gå vidare genom mellanfrekvens-förstärkarna och filtren. (Det gråmarkerade fältet i figur4 visar bandbredden i mellanfrekvens-kretsarna.) Även om en mixer har en ingång som är märkt RF och en annan som är märkt LO så fungerar det nästan lika bra om man växlar dessa ingångar. Är bara effekten tillräckligt hög så att mixern fungerar så kommer vi att få en utsignal som går vidare i mottagaren.

Man inser också lätt att det här uppfylls enkelt över hela mottagarens filterbandbredd om man har ett högt fasbrus och en eller ett par starka signaler i sin närhet.

Den här effekten uppmärksammas absolut mest under tester eftersom den mottagna effekten då är högre eftersom det är fler stationer som är aktiva. (Alla mottagna singnalers effekter adderas ju i mottagaren, precis som brus. Ju fler signaler i luften ju mer effekt måste mottagaren klara av samtidigt som man måste ha renare oscillatorer.)

## Hur vet man om man har högt fasbrus i sin radio?

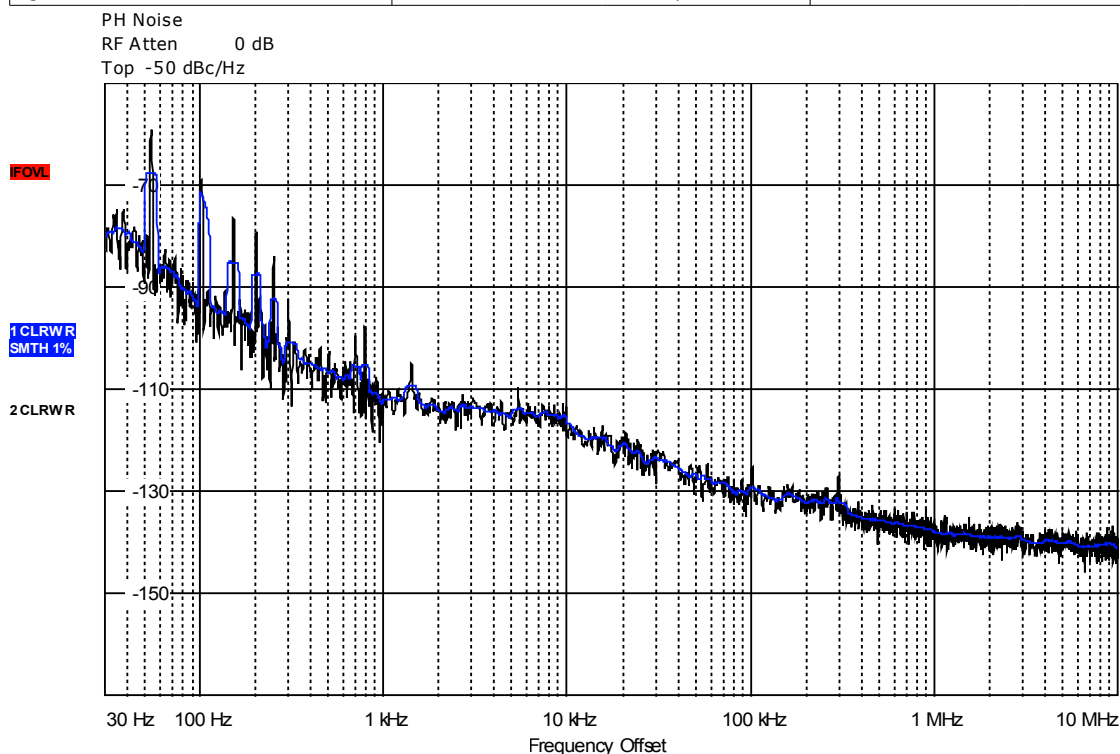
Eftersom fasbruset från lokaloscillatorn blandar sig med den utsända signalen så kan man genom att mäta på utsignalen också se hur det står till med fasbruset. Att mäta fasbrus kan dock vara svårt att göra med en amatörradio-budget eftersom det krävs dyra instrument om det skall bli bra mätningar. Har man tillgång till fasbrusmätinstrument så kan en mätning se ut så som i figur5.

Den här bilden ger oss ännu mer information än bara vilken nivå bruset har vid olika avstånd från carriern. Spikarna i vänstra sidan av spektrat kommer med all sannolikhet från nätdelen. Är inte matningsspänningen ordentligt filterad så syns det obönhörligen vid en fasbrusmätning. Hade man gjort mätningen när radion var ny hade dessa spikar förmodligen varit lägre – ännu en anledning att byta elektorlyt-kondensatorerna på den gamla riggen! Just den här mätningen är gjord vid full uteffekt, 25W, så kondensatorerna måste jobba för fullt.

Numera så görs det ofta mätningar av fasbruset när tex ARRL gör tester av sändare och mottagare.

Det betyder inte alltid att just ditt exemplar är lika bra eller dåligt och man kan bara hoppas på att producenten lyckas med att hålla en jämn kvalitet i tillverkningen.

PHASE NOISE				
Settings		Residual Noise		Spot Noise [T1]
Signal Freq:	144.298879 MHz	Evaluation from 30 Hz	to 10 MHz	1 kHz -112.31 dBc/Hz
Signal Level:	2.82 dBm	Residual PM	0.12 °	10 kHz -116.56 dBc/Hz
Signal Freq ?:	793.39 MHz	Residual FM	2.478 kHz	100 kHz -129.12 dBc/Hz
Signal Level ?:	-0.01 dBm	RMS Jitter	2.3124 ps	1 MHz -138.18 dBc/Hz



1/4Z Measurement

Date: 16.JUL.2008 09:27:47

*Drawing 5: FT225RD phasenoise measurement.*

Ett annat bra sätt att få reda på om man har högt fasbrus är att en motstation med en renare mottagare inte allt för långt bort lyssnar på ens utsända signal. Att det inte skall vara för långt bort beror på att fasbruset är så mycket lägre i nivå än nyttsignalen. Kommer man för långt bort så har det dämpats så mycket att bakgrundsbruset blivit högre och överröstar fasbruset. (Hur du räknar ut dämpningen mellan två närliggande stationer kan du tex läsa mer om på [producon.com/sm7ovk/linkbudget.html](http://producon.com/sm7ovk/linkbudget.html).)

Vad som också är viktigt vid ett sådant test är att mottagaren inte har något steg som när det blir överstyrt får för sig att självsvänga. En självsvängning på en frekvens en bit högre eller lägre i frekvens från den mottagna signalen kan ofta höras som ett brus. (En oscillator är ju en förstärkare med en återkoppling som får den att självsvänga och det är då denna oscillators brus vi hör.) När motstationen lyssnar så skall man både lyssna alldeles intill men även en bit ut från nyttsignalen.

## Om man har högt fasbrus i sin radio då?

Att fortsätta använda en sändare som bevisligen sprider störningar och brus borde de flesta inse att man inte gör, det förstör ju för alla andra och vill det sig riktigt illa så kan man även störa andra radiotjänster!

Har man en äldre radio så finns det ofta flera modifieringar man kan göra, men glöm inte att

verifiera att det blir någon skillnad på just din radio. Det kan ha skett ändringar i produktionen som innebär att den modifiering du gör inte har samma effekt som den haft när den presenterats i en tidnings-artikel eller på Internet.

Har man en ny radio så tycker jag att man skall ta kontakt med sin leverantör, men helst skall man kontrollera sånt här *innan* man köper radion. Precis som en bil så vill vi oftast veta förbrukningen på ett ungefär före köpet. Har man inte frågat så är det egentligen samma sak att man inte bryr sig om man stör sina grannar eller ej. Producenterna är väl medvetna om det här nu för tiden, och ofta bra pålästa, vilket de absolut inte var för 20 år sedan.

Mest problematiskt är det förmodligen för dem med radioapparater som befinner sig i ett mellanskikt där leverantören inte längre känner något större ansvar för enheten eftersom den är lite för gammal. Den är kanske ändå så ny att den har en mer komplicerad PLL-lösning, oftast för att få ett stort frekvensområde, som kanske inte går att förbättra på något enkelt sätt. Det är dock ändå alltid så att det är den som trycker på PTTn som ansvarar för den utsända signalen!

Något som Leif, SM5BSZ, har uppnått med sitt WSE-projekt är en väldigt ren mottagare med endast ett antal kristall-oscillatorer som används för att stegvis blanda ner signalen. Detta tillsammans med förstärkare och blandare med väldigt hög dynamik, dvs som "tål" starka signaler, får man en väldigt ren och fin mottagare som du kan läsa mer om på hans hemsida. Mottagaren fungerar även som ett mycket bra instrument.

Att alla skulle tvingas att använda så här bra radio-apparater är naturligtvis en utopi. Vi måste alla ställa högre krav på de produkter som köps, men också avstå från att använda de radio-apparater som sprider störningar. Det gäller naturligtvis främst amatörradio-sändarna men också all annan utrustning som kan stråla ut störningar.

Det finns idag bara ett litet fåtal VHF-transceivers som man med gott grann-samvete kan använda tillsammans med slutsteg, och vad jag vet så säljs tyvärr inga eller bara någon enstaka idag.