

Frekvensmätningar – Teori och Praktik

- av Karl-Arne Markström SM0AOM -

Inledning

Det finns ett egenintresse i att kunna avgöra vilken frekvens ens egen eller någon annans radiosändare ligger på. Förr i tiden, innan syntetiserade radioapparater med 1 Hz frekvensvisning blev vanliga bland radioamatörer, kunde det vara ett helt företag att avgöra sin frekvens på 100 Hz eller ibland 1 kHz när.

För ”rutinmätningar” brukade man använda en kristallkalibrator på 100 kHz, som man lyssnade på övertonerna från. På en ”loggskala” avlästes antalet skaldelar mellan 100 kHz-punkterna, och genom linjär interpolation räknade man sedan ut vilken frekvens den avlästa visningen motsvarade. På lägre amatörband fick man vanligen en noggrannhet på runt 1 kHz med denna metod vilket var fullt tillräckligt för att en inställd signal skulle hamna inom mottagarens passband.

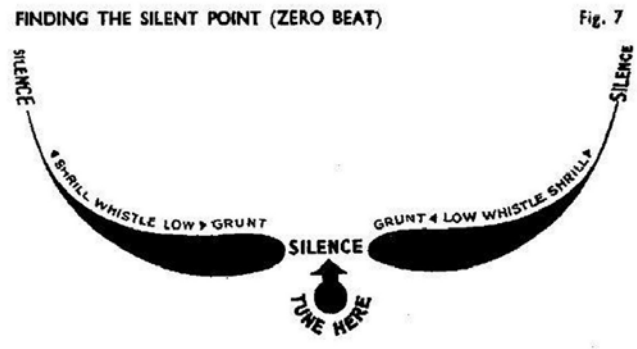
Om denna metod inte var tillfyllest fick man tillgripa en separat ”frekvensmätare”. En sådan är en noggrant kalibrerad oscillator som man kan använda för att jämföra antingen mottagna signaler eller sådana man själv genererar i sin sändare.

Principen för alla sådana frekvensmetrar är att de genererar en lokal signal som sedan jämförs med den okända.

FREQUENCY RANGE		DIAL
3500 - 3550	7000 - 7100	3 5 3 2.1
14000 - 14200	17500 - 17750	3 6 4 7.9

DIAL	FREQUENCY	DIAL	FREQUENCY
3 5 3 2.1	3500 7000 14000 17500	3 5 9 0.0	3525
3 5 3 4.4	3501 7002 14004 17505	3 5 9 2.3	3526
3 5 3 6.7	3502 7004 14008 17510	3 5 9 4.6	3527
3 5 3 9.0	3503 7006 14012 17515	3 5 9 7.0	3528
3 5 4 1.3	3504 7008 14016 17520	3 5 9 9.3	3529
3 5 4 3.7	3505 7010 14020 17525	3 6 0 1.6	3530
3 5 4 6.0	3506 7012 14024 17530	3 6 0 3.9	3531
3 5 4 8.3	3507 7014 14028 17535	3 6 0 6.2	3532
3 5 5 0.6	3508 7016 14032 17540	3 6 0 8.5	3533
3 5 5 2.9	3509 7018 14036 17545	3 6 1 0.8	3534

Det som var speciellt med BC-221 och dess släktingar var att de hade ett överträffat mekaniskt utförande, samt att varje exemplar hade en individuell kalibreringsbok.



Den alla kategorier mest kända ”frekvensmetern” är BC-221 eller ”LM” som är en amerikansk konstruktion från andra världskriget. Med en sådan går det att få en noggrannhet runt +/- 500 Hz på frekvenser upp till c:a 20 MHz.

Metodik för nollsvävning

Andra metoder för frekvensmätning är att direkt räkna infrekvensen, att avgöra frekvensen via resonansfenomen; samt genom olika former av våglängdsmätningar.



T v: Absorptionsvägmeter



10 GHz vågmeter

Det sistnämnda är numera främst av historiskt intresse, men kan förekomma på mikrovågsfrekvenser.



Slotted-line

Metoder för noggrann frekvensgenerering

Att åstadkomma noggranna referensfrekvenser är ett urgammalt problem vilket sysselsatt fysiker och ingenjörer i århundraden. Problemet är intimt knutet till noggranna tidsangivelser varför normalfrekvensernas historia sammanfaller med tidsgivningens historia

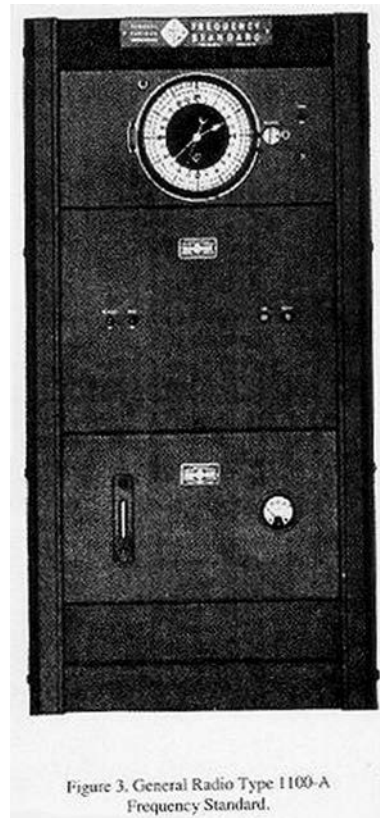


Figure 3. General Radio Type 1100-A Frequency Standard.

General Radio kvartsklocka

Att gå igenom denna skulle tarva ett helt eget nummer av Resonans, varför vi här bara skrapar på ytan av frekvensgenereringsaspekterna. Fram till 1920-talet var olika former av pendelur och stämgaflöscillatorer de mest noggranna frekvensnormalerna som kunde uppbringas. I början av åriondet uppfanns den kristallstyrda oscillatoren, och både absolutnoggrannhet och frekvenskonstans förbättrades med flera 10-potenser.



Rohde XSD

Precis före andra världskriget kom flera kommersiella frekvensnormaler (bl.a. General Radio och Rohde&Schwarz) på marknaden och man började närma sig den noggrannhet som krävs för att upptäcka oregelbundenheter i jordrotationen. Jordrotationen hade hittills varit definitionen för tidsangivelserna. Kriget gjorde dock att man fick annat att tänka på, men precis efter krigsslutet offentliggjordes ett antal uppsatser om att använda atom- eller molekylresonanser för att skapa tids- eller frekvensreferenser med värden som inte påverkas av omgivningen. Den första "atomklockan"

använde ammoniak som resonansmedium. Det visade sig sedan att flera andra molekyler gick att använda för ändamålet. De vanligaste spektrallinjerna som idag utnyttjas för frekvensnormaler är numera cesium, rubidium och väte.

Genom att faslåsa en mycket stabil kristaloscillator till någon av dessa molekylresonanser erhålls en utfrekvens som är bestämd av spektrallinjen, och dess långtidsstabilitet är relaterad till fundamentala fysikaliska samband. Den frekvensnormal som har bäst stabilitet är f.n, vätemasern, som använder vätes atomresonans på 1420 MHz.



Vätemasrar och cesiumnormaler används för att bl.a. ge GPS sin höga precision. Genom att faslåsa en kristaloscillator till GPS-signalen kan man få samma höga långtidsstabilitet som GPS-systemet, vilket gett även amatörer möjlighet att generera normalfrekvenser med hög precision. Dessutom börjar rubidiumnormaler att bli överkomliga i pris. De flesta instrument för noggrann frekvensgenerering eller frekvensmätning har en ingång för en extern referens, och många "profsmottagare" och -sändare har det också. Det går alltså att göra hela system som är refererade till en och samma normalfrekvens. Frekvensgeneratorer med hög noggrannhet arbetar vanligen med "direktsyntes" eller med "fractional-N"-teknik.

Metoder för frekvensmätning

När man använder olika "jämförelsemetoder" för att mäta en frekvens, kommer de erforderliga noggrannheterna för frekvensgenerering och frekvensmätning att sammanfalla. I fallet en frisvängande oscillator så kan inte frekvensnoggrannheten bli bättre än den kalibrering som går att överföra från en extern frekvensnormal som är bättre än den oscillator vilken man avser att kalibrera. Proceduren blir då att "nollsväva" den okända frekvensen med den kända, och sedan läsa av frekvensen på oscillatorns skala.

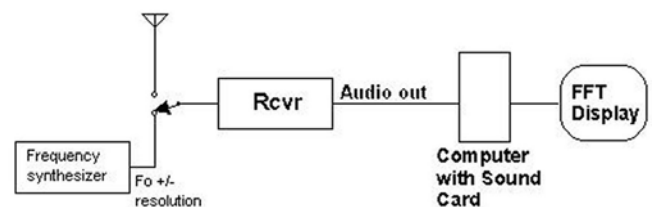
När jämförelseoscillatorn däremot är en syntesoscillator kommer dess utfrekvens att vara direkt derivaderad från interna eller externa referensfrekvenser. Man kan alltså få diskreta frekvenser som har samma relativa noggrannhet som generatorns referensfrekvens.

Metoden för noggrann frekvensmätning i detta fall går ut på att mäta frekvensskillnaden mellan diskreta frekvenser på ömse sidor av den okända frekvensen.



HP 3586A

Moderna syntesoscillatorer har ett mycket litet frekvenssteg, materiel som är ganska vanlig på "surplusmarknaden" (den selektiva nivåmetern HP3586A) har ett minsta HP3586A frekvenssteg på 0,1 Hz. Man kan på detta sätt avgöra om en okänd frekvens ligger inom +/- 0,05 Hz från en känd. Detta är fullt tillräckligt för att entydigt avgöra frekvensen hos signaler som utbredds via jonosfären. För att göra sådana mätningar gör man enklast så att en AM-mottagare (NON) med ett smalt symmetriskt filter ställs in på den okända frekvensen. Sedan blandas signalen med en yttre referensfrekvens, som regleras så att beat-tonen blir nära något jämnt värde, t.ex. 1000 Hz och med amplituden ungefär samma som signalen man vill mäta frekvensen hos.



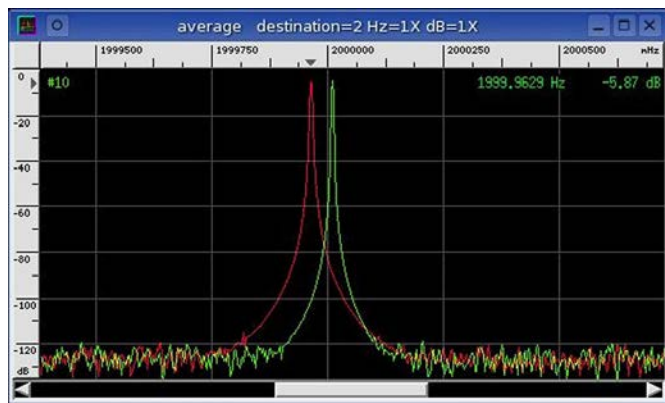
Utsignalen från mottagaren matas till en PC med ljudkort, där något spektrumanalysprogram används, som t.ex:

- Argo <http://www.sdrham.com/argo/index.html>
- Spectran <http://www.sdrham.com/spectran.html>
- Baudline <http://www.baudline.com/>

Jämförelsefrekvenserna justeras så att en spektrallinje faller under den okända, och en annan över.

Skärmdump från Baudline

Om materiel med uppvärmda och stabila oscillatorer används, och referensfrekvenserna deriveras från en GPS- eller rubidiumnormal går det att få en total absolutnoggrannhet av bättre än 10⁻⁹, vilket motsvarar +/- 0,03 Hz i HF-området. Gränsen sätts vid vilken upplösning man har på spektrumanalysprogrammet.



När programmet ställs in så att det finns ett totalt frekvensspann av något 10-tal Hz över hela skärmen går det att avgöra frekvensskillnader på mindre än 0,05 Hz. Slutligen kan man räkna frekvensen direkt via en frekvensräknare. Detta lider av problemet att S/N måste vara högt om det ska bli någon noggrannhet värd namnet. Mätning med frekvensräknare lämpar sig primärt för att mäta en sändares utfrekvens.

Nyttan av frekvensmätningar

Som experimenterande radioamatörer förväntas vi hålla oss innanför amatörbandens gränser. Bandgränserna är absoluta, och det tillhör ”god ton” att ligga innanför dem med en viss marginal. Sedan är ofta radioamatörer i allmänhet intresserade av ”det exakta” och vill gärna mäta olika parametrar så noga som möjligt. Man ska dock inte förväxla intresse av frekvensmätningar med att jaga och ”pika” medamatörer vilka ”ligger snett på kanalen”. Sådant är ett utslag av andra prioriteringar inom amatörradion.

”Frequency Measuring Tests”

Dessa har en lång tradition i USA. Mellan åren 1933 och 1981 så anordnade ARRL sådana tävlingar i samband med sin ”Official Observer”-verksamhet. För att få förordnande som ”Official Observer” krävdes dokumenterade frekvensmätningsskunkaper.

När mer frekvensnoggrann materiel blev vanlig under 1970/80-talen slutade ARRL med dessa. Dock har frekvensmätningssentusiaster återupptagit dessa ”tester” i både ARRL och privat regi. Under slutet av 1940- och början av 50-talen förekom också frekvensmätningar i RSGB-regi.

En modern form av frekvensmätningar kan studeras på <http://www.febo.com/time-freq/FMT/technique/index.html>

Referenser

Terman, ”Radio Engineer's Handbook”
Frank Jones, ”Radio Handbook”
ARRL Radio Amateur's Handbook
HP 3586A Selective Level Meter Operations and Service Manual

@

Artikeln har tidigare varit publicerad i ESR Resonans nr 1 /2010.