

Normalfrekvenssendere og problemer ved modtagningen

Af civilingeniør Mikael E. Ibsen
Udviklingsafdelingen,
DK-3060 Instruments

Til meget nøjagtige frekvensmålinger bruges ofte normalstationer som reference. Hvis disse ligger længere væk end 3-400 km fra modtagerstedet, vil der i morgen- og aftentimerne opstå kraftige forstyrrelser bl. a. i form af fase-modulationer, som vil gøre bærebølgen uanvendelig i disse tidsrum. En nyinstalleret styresender af høj nøjagtighed på Kalundborg langbølgesender har elimineret disse problemer for Danmarks vedkommende. Denne nøjagtige bærebølge med frekvensen 245 kHz kan med fordel modtages og konverteres til dekadiske frekvenser i en fase-locked modtager kaldet en Kalundborg-modtager. De dekadiske frekvenser anvendes f. eks. udover kalibreringsformål til styring af digitale frekvenstællere.

■ ■ ■ Moderne elektronik stiller stadig større og større krav til præcision på alle områder. Præcise laboratorieinstrumenter og omfattende produktions- og slutkontrol er altafgørende for det færdige produkts kvalitet. Inden for tids- og frekvensmålinger skærpes kravene dagligt, f. eks. på grund af den større og større trængsel på frekvensbåndene, der kræver, at man benytter sig af stadig mere raffinerede og frekvens-nøjagtige kommunikationssystemer.

I ethvert laboratorium, der beskæftiger sig med den type målinger, har man en eller anden form for tidsnormal, spændende lige fra netfrekvensen over et oscilloskops kalibrerede time-base til signalgeneratorer eller i de senere år digitale frekvenstællere. Alle disse apparater – måske med undtagelse af de digitale instrumenter – må siges at være utilstrækkelige til virkelig nøjagtige frekvensmålinger eller justeringsopgaver, og selv en god digital frekvenstæller har sine svagheder, som f. eks. krystaloscillatorens ældning.

Udenlandske normalsendere

Til nøjagtige frekvensmålinger har vi her i landet benyttet os af mange forskellige udenlandske sendere, der har ry for at være nøjagtige, og denne metode, hvor man f. eks. støder to frekvenser og tæller 0-stød over en periode, er også i mange tilfælde tilstrækkelig, men temmelig besværlig og frem for alt tidskrævende. Den mest kendte af sådanne stationer er vel her i landet *Droitwich*. Blandt radio-

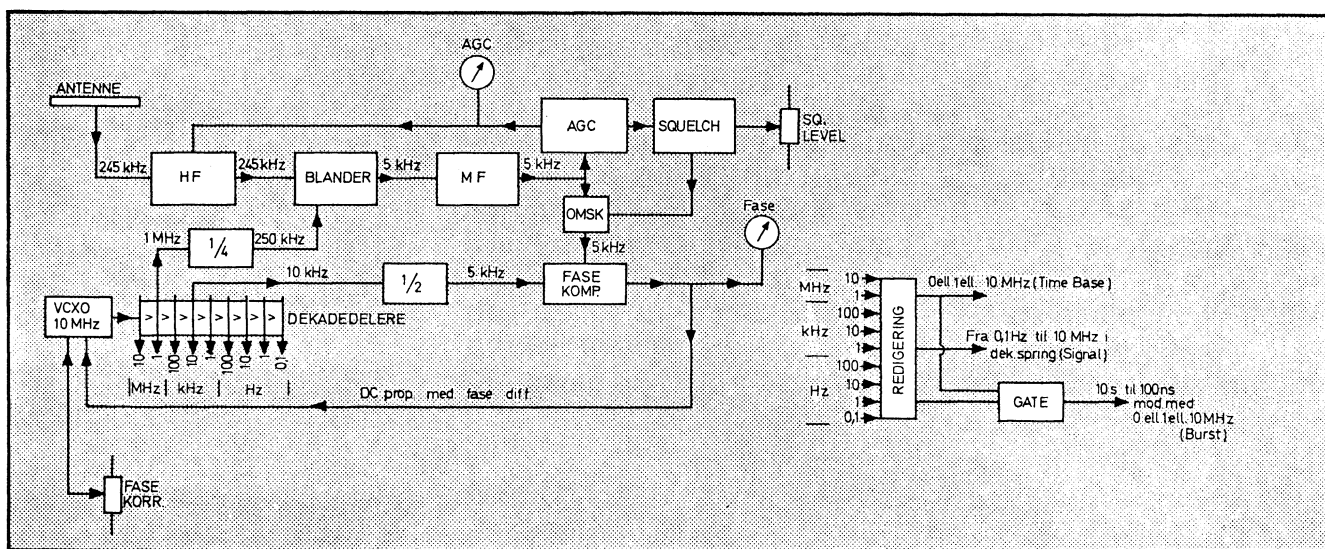
amatører vil ud over denne stationer som f. eks. *WWV* være kendt.

En anden station, der til lidt mere videnskabelige formål har været benyttet gennem mange år, er *Rugby*, der som regel modtages med en phase-locked loop modtager for 60 kHz. En station som *Prangins* i Schweiz (somme tider kaldt *Neuchatel*) på 75 kHz benyttes også en del, men dog mest fordi der udsendes sekund- og minutimpulser. Mindre kendt, men måske bedre end *Prangins*, er den tyske station *Mainflingen* på 77,5 kHz, der lader en del af bærebølgen stå tilbage i sekundpauserne.

Fine nøjagtigheder

Alle disse sendere har opgivet meget fine nøjagtigheder, sjældent under 1×10^{-10} og som regel 1 à 2×10^{-11} . Disse tal er imidlertid kun gældende for selve stationens frekvensnormal, af hvad art den end måtte være, hvorimod det færdige signal, efter at have passeret for- og PA-trin, på grund af opvarmningsfænomener og eftertrimning i de afstemte kredse, specielt i PA-trinet, er blevet fasemoduleret eller rettere undergår en faseændring med hensyn til tiden, hvilket jo i praksis kan være det samme som en frekvensændring. Disse fejl vil næppe overstige grundusikkerheden på stationsnormalen, dog vil en pludselig korrektion af et PA-trin repræsentere en alvorlig fejl, specielt hvis stationen benyttes som reference ved fasemålinger.

For at undgå sådanne fænomener er visse stationer udstyret med monitor-



De vigtigste stationer lokaliseret i Europa, der kan anvendes som normalsendere.

	Frekvens	Nøjagtighed	
Deutschlandfunk, Donebach, Vesttyskland	151 kHz	$\pm 3 \times 10^{-11}$	Audiomoduleret
Droitwich, England	200 kHz	$\pm 2 \times 10^{-11}$	Audiomoduleret
Motala, Sverige	191 kHz	$\pm 1 \times 10^{-10}$	Audiomoduleret
Kalundborg, Danmark	245 kHz	$\pm 1-2 \times 10^{-11}$	Audiomoduleret
Mainflingen, Vesttyskland	77,5 kHz	$\pm 1 \times 10^{-11}$	Sekund- og minutimpulser
Rugby, England	16 kHz	$\pm 2 \times 10^{-11}$	Sekund- og minutimpulser
Rugby, England	60 kHz	$\pm 2 \times 10^{-11}$	Sekund- og minutimpulser
Prangins, Schweiz	75 kHz	$\pm 2 \times 10^{-11}$	Sekundimpulser

modtagere, der via et feed-back til stationen sørger for, at fasen i en vis afstand og retning fra stationen holdes konstant, og hermed må stationens nøjagtighed i alt regnes for at være af samme størrelsesorden som stationsnormalen. I stationens nærmeste omgivelser, dvs. hvor der helt sikkert døgnet rundt er tale om et rent jordbølgefelt, vil der kun være meget ringe faseforstyrrelser at bemærke, efter at en lokal fase-locked modtager har haft signalet under behandling, f. eks. er et fase-jitter på 10 ns en typisk værdi for en transmissionsstrækning på 100 km i Danmark.

Denne fejl kan selvfølgelig være alvorlig nok set ud fra et korttidssynspunkt, men da de fleste målinger, hvor man benytter en normalstation som reference eller standard, går over længere tid, og opløsningen er af digital karakter, vil dette usikkerhedsmoment hurtigt være jævnet ud (en måling over 100 sekunder med det nævnte jitter vil af denne årsag have en usikkerhed på 10^{-10}).

Så længe modtageren med sikkerhed befinder sig i jordbølgefeltet, ser det altså ud til, at normalstationens nøjagtighed vil blive reproduceret næsten fuldkomment på modtagerstedet. Ved modtagning i udkanten af jordbølgefeltet vil modtagningen som oftest være svag, hvilket dog ikke behøver at berede egentlige problemer, men så snart der bliver tale om refleksioner via ionosfæren, vil faseforholdene omkring den modtagne bærebølge være af yderst usikker art. Under opbygning af de reflekterende lag i ionosfæren, hvilket gradvist

finder sted, vil modtagerstedet opfatte summen af de to komponenter, jordbølge og reflekteret bølge, som en sumbølge med den oprindelige frekvens, men med meget forvirrede faseforhold, varierende kraftigt med hensyn til tiden og dermed med samme virkning som en frekvensmodulation.

3-400 km er grænsen

Det mest ubehagelige fænomen, set fra et modtager- og dermed forbrugersynspunkt, er det fænomen, der kan finde sted under et kortvarigt fasesving på over 180° , nemlig at fase-låsen slipper sit tag i en som regel meget lavere mellemfrekvens, hvorved udgangssignalet fase-moduleres med et tidsspring = én periode af normalstationsfrekvensen. Konsekvensen af beliggenheden i et felt, hvor der er mulighed for ovennævnte fænomen ud over de atmosfæriske forstyrrelser, signalet kan tilføjes på den lange transmissionsvej, er, at en sådan bærebølge kun kan anvendes, når stabile forhold er til stede, dvs. et godt stykke tid væk fra morgen- og aften-timerne, hvor ionosfærens reflekterende lag opbygges eller nedbrydes. En nærmere undersøgelse af disse forhold har vist, at selv i nattetimerne, hvor man måtte forvente en stabil transmissionsvej via ionosfærefleksioner, kan de tilføje et signal, der i dagtimerne via en transmissionsvej af størrelsesordenen ca. 600 km transmitteres med en usikkerhed på 2×10^{-10} , en fejl, der over 1000 sekunder beløber sig til fra $10-30 \times 10^{-10}$.

Konklusionen må altså være, at der er

grund til at udvise den største opmærksomhed på atmosfæriske forhold og mulighed for ionosfære- og jordbølgesammenblandinger, når normalstationer ligger ret meget længere end ca. 3-400 km væk fra modtagerstedet.

Dansk standardsender

For danske forbrugere viser der sig imidlertid nu en meget gunstig løsning på de i det forudgående opridsede problemer, idet *Kalundborg langbølgestation* (245 kHz) i slutningen af 1971 blev udstyret med en Rhode & Schwarz-rubidiumstandard til styring af bærebølgen, hvis frekvensnøjagtighed hermed skulle blive af størrelsesordenen 10^{-14} . Denne langbølgestation sender normalt fra ca. kl. 6 morgen til kl. 1 nat, hvorved langt de fleste forbrugere af normalfrekvens vil have deres behov dækket.

Målinger rundt omkring i forskellige egne af Danmark har vist, at der er tale om jordbølge døgnet rundt, og at evt. ionosfærefleksioner er af så ringe feltstyrke sammenlignet med jordbølgen, at de ikke har nogen forstyrrende indflydelse på modtagningens stabilitet.

Endvidere har målinger på det modtagne signal fra Kalundborg sammenlignet med et signal fra den tyske langbølgesender *Deutschlandfunk*, som er under konstant overvågning af *Bundesphysikalisches Institut* i Braunschweig, vist, at Kalundborgs absolutte frekvensnøjagtighed for tiden er af størrelsesordenen -1 til -2×10^{-10} .

Denne nøjagtighed, som igen er konstateret på målepladser forskellige steder

i Danmark, reproduceres ensartet på de forskellige målepladser, vel at mærke i dagtimerne, hvor ionosfærerefleksioner ikke kan forstyrre Deutschlandfunk, som netop ligger i en meget ugunstig afstand fra i hvert tilfælde København, hvad ionosfærerefleksioner i nattetimerne angår.

I øvrigt kan det nævnes, at Kalundborg langbølge modtages godt i det meste af Sydvestsverige.

Kalundborg PLL-modtager

Til at modtage Kalundborgs bærebølge anvendes en fase-locked loop modtager, hvis blokdiagram er vist i hosstående figur.

Princippet i denne modtager er, at bærebølgen, som modtages i en ferritantenne, efter at have passeret et højfrekvenstrin blandes med en 250 kHz krystalgenereret lokaloscillatorfrekvens, hvorved mellemfrekvensen 5 kHz opstår. Efter forstærkning i to mellemfrekvenstrin sammenlignes mellemfrekvensen på 5 kHz i en fasedetektor. Forskellen mellem de krystalgenererede lokaloscillatorfrekvenser, hvis difference er 245 kHz, og bærebølgen fra Kalundborg på 245 kHz vil vise sig efter fasedetektoren, og hvis udgangssignalet fra denne føres tilbage til regulering af det fælles krystal, som genererer lokaloscillatorfrekven-

serne, vil en ligevægtstilstand indstille sig, således at lokaloscillatorerne og dermed krystaloscillatoren er låst fast (locked) til Kalundborgs bærefrekvens.

Hermed vil Kalundborgs nøjagtighed altså være reproduceret i krystaloscillatoren.

Kalundborg-modtagerens anvendelse

Den samme krystaloscillator benyttes desuden til generering af dekadiske frekvenser 10 MHz, 1 MHz 0,1 Hz, som kan bruges til justering af frekvenstællere eller ligefrem til styring af disse, hvilket efterhånden er blevet ret almindeligt hos fabrikanter af maritimt kommunikationsudstyr. Til tidsmålinger kan sekund- eller millisekundimpulser med stort held benyttes, og selv mikrosekundimpulser vil være anvendelige med fuld nøjagtighed ved målinger på op til 10^{10} mikrosekunder (= 10.000 sek.), før usikkerheden er blevet større end ± 1 mikrosekund.

En meget benyttet anvendelse er at kontrollere drift af krystaloscillatorer, idet en sådan Kalundborg-modtager f. eks. kan benyttes til at afgive en referencefrekvens på 100 kHz til brug i forbindelse med en faseskriver. Ved at anvende modtagere med så stor nøjagtighed og fasestabilitet, kan fejl eller drift-

tendenser, som kun er i deres vorden, opdages på et meget tidligt tidspunkt, hvorved en væsentlig indsparring af laboratorietid kan opnås. Det er en selvfølgelig, at en endog meget sikker produktionskontrol ligeledes kan opnås.

Squelch-anordning

Det blev fundet hensigtsmæssigt at udstyre Kalundborg-modtageren med en squelch-anordning, således at udgangssignalerne fra Kalundborg-modtageren ved udfald af bærebølgen leveres af en fritløbende krystaloscillator, der under normal drift justeres ind efter bærebølgen ved hjælp af de indbyggede viserinstrumenter. Det er også muligt at lade et bærebølgeudfald koble Kalundborg-modtagerens udgange over til en ovenreguleret præcisionskrystaloscillator.

Alt i alt må det siges, at dette, at Danmark har fået en langbølgesender af høj frekvensstabilitet, er en stor fordel for enhver, der beskæftiger sig med nøjagtige frekvensmålinger, dels fordi man ved hjælp af en fase-locked modtagers tidsimpulser kan foretage direkte målinger, dels fordi man på en meget hurtig og ukompliceret måde kan kontrollere sine daglige måleinstrumenters nøjagtighed. Der er ingen tvivl om, at dansk viden- skab og industri nok skal få glæde af Kalundborglangbølgesenderen. ■



AKTIESELSKABET

ERLING B. IBSEN

Metalbuen 28
Postbox 79
DK-2750 Ballerup
Tlf.: 02 97 81 11
Telex: 35334 DK
Telefax: 02 68 06 26