



Lantmäteriet
Lantmäteriverket - National Land Survey
S - 801 12 GÄVLE · SWEDEN

Tekniska skrifter - Professional Papers

1982:7

ISSN 0280 - 1744

TIDTJÄNSTEN VID LMV

av Åke Hofstrand

Gävle 1982

Inledning

Inom geodesin, speciellt inom satellitgeodesin, har kraven på noggrann tid- och frekvenstjänst med åren ökat. Noggrann tidhållning eftersträvas vid t ex laseravståndsmätningar mot satellit. Stabil frekvens erfordras då kontroll av frekvensmätande instrument skall göras. Frekvensmätare används i sin tur exempelvis för kontroll av geodetiska längdmätninginstrument. För att upprätthålla spårbarhet (eng. traceability) i mätkedjan måste även en tid- och frekvensnormal kontrolleras med jämna mellanrum. Som normal vid lantmäteriverket (LMV) används en rubidium-frekvensstandard av fabrikat Hewlett-Packard mod. 5065 A, populärt kallad atomklocka.

I föreliggande rapport redovisas metoder och resultat för tidsynkronisering av LMVs tid- och frekvensnormal. Framst diskuteras synkronisering med hjälp av den programbärande TV-signalen.

Överföring av tid

Tidsynkronisering kan ske med ett antal mer eller mindre noggranna metoder. Det enklaste men också minst noggranna sättet för tidöverföring i Sverige är att använda "fröken Ur" per telefon. Denna grovsynkroniseringsmetod används i första hand vid driftstopp hos atomklockan och ger en noggrannhet av ca 100 ms.

Det mest noggranna sättet att överföra tid från en plats till en annan är att transportera en atomklocka mellan platserna. Onoggrannheten i tidöverföringen är härvid

bättre än 0.3 μ s. Denna metod är dock dyrbar och omständlig och används därför sparsamt.

Även den svenska tidsignalen, som sänds i radio kl. 12.58.55 - 12.59.16 varje dag, kan användas för tidsynkronisering. Osäkerheten är här mindre än 10 ms om man beräknar fördröjningen mellan sändare och mottagare.

Vissa radiostationer sänder tidsignaler med stor noggrannhet på kort- eller långvåg. Osäkerheten vid mottagningen är dock så stor som några millisekunder, i kortvågsfallet beroende på variationer i vågutbredningen, i långvågsfallet beroende på långa stig- och falltider p g a begränsad bandbredd.

Eftersom den svenska tidsignalen sänds under kort tid, används vid LMV tidsignaler på kortvåg för tidsynkronisering inom några millisekunder efter det att grovsynkronisering skett m h a "fröken Ur". Denna noggrannhet är dock ej tillräcklig för geodetiska ändamål och man tillgriper därför en betydligt precisare metod där man utnyttjar TV-signalens bildväxlingspulser för överföring av tid. Denna metod beskrivs nedan.

Tidsynkronisering m h a TV-signaler

Genom att utnyttja TV-signalen kan tidjämförelser göras inom Sverige med en noggrannhet av 0.1-1 μ s beroende på avståndet mellan de platser där synkronisering skall ske. Metoden innebär att samtidig mätning görs av tidskillnaden mellan den egna klockans sekundpuls och den första därefter kommande negativa flanken i bildsynkroniseringspulsen i TV-signalen (Mårtensson 1978). Praktiskt tillgår mätningen så, att man låter sekundpulsen starta en tidintervallmätare och låter bildsynkroniseringspulsen stoppa densamma. Mätvärdet kan maximalt bli 20 ms, eftersom bildfrekvensen (eg. halvbildsfrekvensen) är 50 HZ.

TV-bilden innehåller 50 halvbilder per sekund och är uppbyggd så, att under de 20 ms som bilden varar, används 1.3 ms för synkronisering av bilderna. Signalens utseende kan studeras i fig. 1. Bildsynkspulsen (längd 160 μ s) innehåller även linjesynkpulser och det är den negativa flanken i en sådan som används vid mätningen (punkt A i fig. 1). För att säkerställa att mätningen sker mot rätt halvbild, måste tidskillnaden mellan de klockor som skall jämföras vara mindre än 20 ms. För synkronisering bättre än 20 ms kan t ex metoden med tidsignaler på kortvåg användas (se Appendix A).

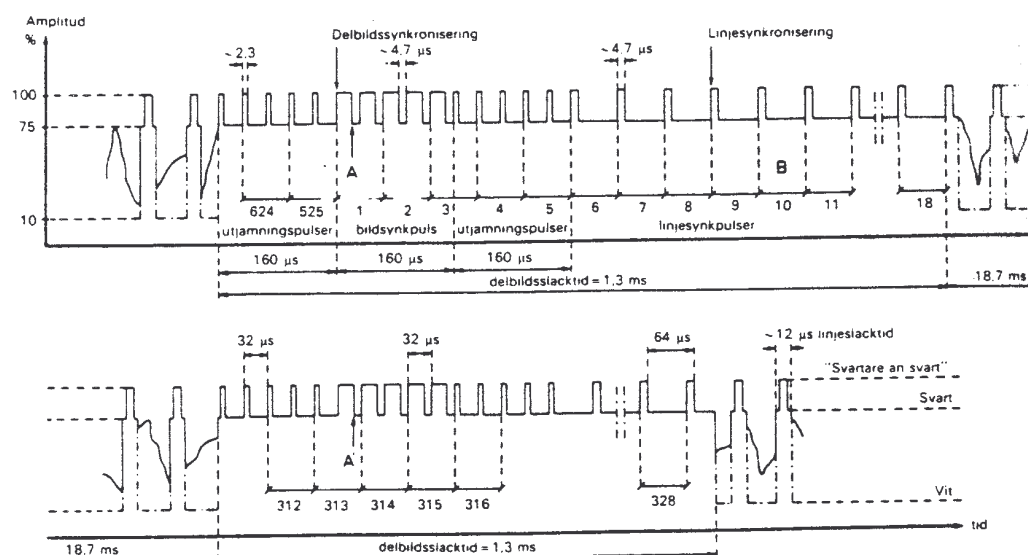


Fig. 1. Den sammansatta TV-bildsignalen i 625-linjerssystemet.

TV-sändarens linjesynkoscillator är behäftad med viss drift. Därför måste mätningarna utföras samtidigt på inblandade mätplatser.

Riksmätplatsen (RMP) för tid och frekvens, belägen vid Televerket i Farsta (STA) utför dagligen mätningar av tidskillnaden mellan TV-signalen och RMPs koordinerade

världstid, UTC_{STA} . Mätningarna sker varje sekund mellan kl. 13.03.30 och 13.04.30 varvid varje mätvärde registreras med en printer. Man erhåller 61 mätvärden varefter medelvärdet bildas. Det framräknade medelvärdet stämmer i regel väl överens med mittobservationen kl. 13.04.00 så när som på några hundra mikrosekunder. Motsvarande mätning görs två till tre dagar per vecka vid LMVs geodetiska observatorium i Mårtsbo utanför Gävle. För mätningarna används en speciell mottagare (TV-synktagare) som utvecklats vid Lunds Tekniska Högskola. Denna mottagare innehåller även tidintervallmätare.

Mätresultaten jämföres sedan och man får:

$$(R_b - TV_{Må}) - (UTC_{STA} - TV_{STA}) = \Delta T \quad (1)$$

där

$R_b - TV_{Må}$ = avläst tidskillnad vid Mårtsbo-observatoriet

$UTC_{STA} - TV_{STA}$ = avläst tidskillnad vid RMP

ΔT bör vara större än noll p g a längre signalväg räknat från Kaknästornet i Stockholm.

Ommöblering av ekv. (1) ger:

$$R_b - UTC_{STA} = \Delta T + T_K$$

där

$$T_K = TV_{Må} - TV_{STA}$$

är systemfördröjningen, dvs skillnaden i TV-signalens utbredningstid mellan RMP och Mårtsboobservatoriet

$T_K > 0$ p g a längre signalväg.

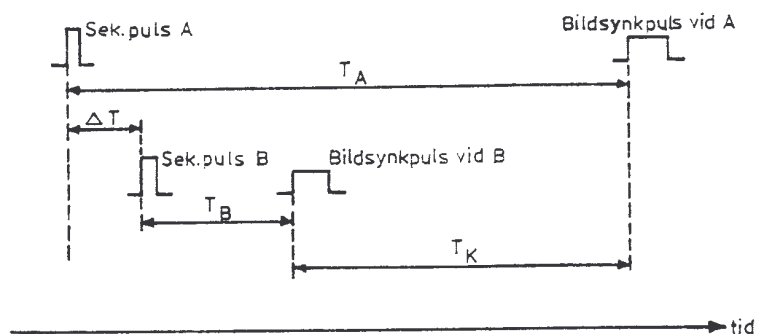


Fig. 2. Start- och stopp-pulser vid tidintervallmätning via TV när $T_A > T_B$. $T_A - T_B = \Delta T + T_K$.

T_K kan erhållas ur (se fig. 3 och 4)

$$T_K = (\tau_{Må} + t_{Må}) - (\tau_{STA} + t_{STA})$$

där $\tau_{Må}$ och τ_{STA} kan beräknas om respektive mottagarantenns position är känd. $t_{Må}$ och t_{STA} innehåller dels utbredningstid dels fördröjning i länkstationerna. Utbredningstiden är beräkningsbar medan fördröjningen kan uppmätas. Denna mätning är emellertid i praktiken besvärlig att genomföra (många länksträckor). Det bästa sättet att bestämma T_K är att utföra en klocktransport mellan mätplatserna.

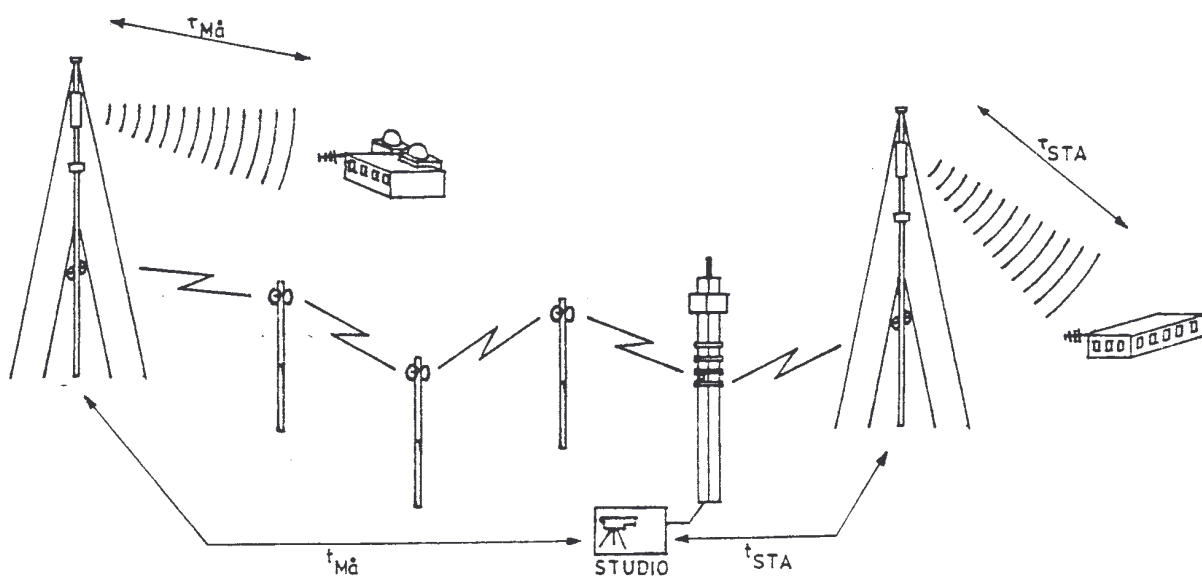


Fig. 3. TV-signalens väg från studio till mottagare.

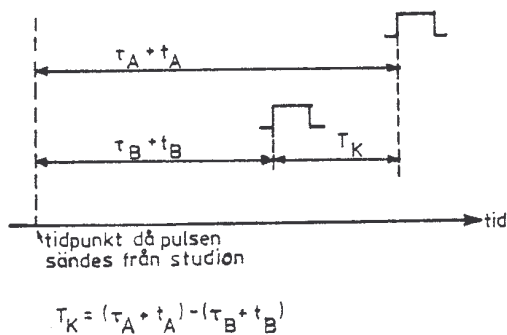


Fig. 4. Bestämning av systemfördröjningen T_K .

TV-synkmetoden har dock en nackdel i svårigheten att få information om förändringar i systemfördröjningen, T_K , p g a trimning av länkstationer. Däremot upptäcker man i regel genast om länkvägen ändras, eftersom ändringen i T_K i allmänhet blir stor.

Bestämning av systemfördröjning

En klocktransport med LMVs rubidiumnormal utfördes i augusti 1978 för bestämning av systemfördröjningen, T_K . Rubidiumnormalen synkroniserades med RMPs klocka, UTC_{STA}, och vid avfärden var tidskillnaden

$$Rb - UTC_{STA} = - 3,32 \mu s \text{ (eg. } - 3,316 \mu s)$$

dvs rubidiumnormalen var efter i tid.

Atomklockans drift bestämdes till - 35 ns per timme.

Förlupen tid till TV-synkmätning (restid plus uppställning) var ca 5 timmar. Vid TV-synkmätningens början var alltså

$$Rb - UTC_{STA} = - 3,32 \mu s - 5 \cdot 0,035 = 3,49 \mu s$$

Följande mätresultat erhöills:

$$R_b - TV_{Må} = 4\,805,00 \mu s$$

$$UTC_{STA} - TV_{STA} = 4\,218,02 \mu s$$

vilket medför att

$$R_b - UTC_{STA} + T_K = 586,98 \mu s$$

Detta ger

$$T_K = 586,98 - (R_b - UTC_{STA}) \mu s$$

Men enligt ovan är

$$R_b - UTC_{STA} = -3,49 \mu s$$

som ger

$$T_K = 590,47 \mu s$$

Feluppskattning

Följande samband gäller:

$$T_K = T_M + T_{Do} + t \cdot T_D$$

där

$$T_K = \text{systemfördröjningen}$$

$$T_M = \text{framräknad tidskillnad ur mätning} = 586,98 \mu s$$

$$T_{Do} = \text{tidskillnad vid avfärd från RMP} = -3,316 \mu s$$

$$T_D = \text{klockans drift vid batterimätning} = -35 \mu s/h$$

$$t = \text{förlupen tid till TV-synkmätning} = 5 \text{ h}$$

Differentiering av (2) ger:

$$dT_K = dT_M + dT_{Do} + T_D dt + t dT_D$$

och för små förändringar:

$$\Delta T_K = \Delta T_M + \Delta T_{Do} + \Delta t T_D + \Delta T_D t$$

Triangelolikheten ger:

$$|\Delta T_K| \leq |\Delta T_M| + |\Delta T_{Do}| + |\Delta t| \cdot |T_D| + |\Delta T_D| \cdot t \quad (t > 0)$$

Med

$$|\Delta T_M| = 0,03 \mu\text{s} \quad (\text{medelfel ur linjär regression av mätserien})$$

$$|\Delta T_{Do}| = 0,0005 \mu\text{s} \quad (\text{avrundningsfel})$$

$$|\Delta T_D| = 0,005 \mu\text{s/h} \quad (\text{fasjämförelse under kort, 1 h})$$

$$|\Delta t| \approx 5 \text{ min} = 0,083 \text{ h} \quad (\text{bättre noggrannhet kan erhållas})$$

fås det befarade (maximala) felet

$$|\Delta T_K| = 0,06 \mu\text{s}.$$

Dessutom kan tidhopp hos atomklockan förekomma under transporten p g a temperaturvariationer i omgivningen. Detta fel är svårt att komma åt, men är uppskattningsvis maximalt $\pm 0,2 \mu\text{s}$.

Det maximala felet vid klocktransporten blir därför $\pm 0,26 \mu\text{s}$.

Mätresultat

TV-synkmätningar har kontinuerligt utförts sedan september 1978 vid LMVs geodetiska observatorium. Mätresultat redovisas i diagram 1-5. Även tidsynkronisering, på basis av den uppmätta systemfördröjningen T_K , har skett vid några tillfällen till följd av att så långa mätavbrott uppstått, att atomklockans reservbatterier urladdats. Avvikande mätresultat på grund av ändrad länkväg har också observerats några gånger.

Som framgår av diagram 1-5 har mätvärdena liten spridning, vilket styrker påståendet att TV-synkmetoden är en noggrann tidöverföringsmetod. Vidare tycks rubidiumnormalens tiddeviation uppvisa kvadratisk tidberoende. Detta skulle tyda på att klockans frekvensdrift är linjär. Sambandet mellan frekvensdrift och tiddeviation utreds närmare i Appendix B.

Slutligen kan tilläggas att Sveriges Radio, på försök, från maj månad 1982 har frekvensstabiliserat TV-signalens färgbärväg med rubidiumoscillator. Detta medför att även bildsynkfrekvensen (50 Hz) via frekvenssyntes och -delning är stabiliserad. Av fig. 5 och 6, som visar två mätserier före resp. efter frekvensstabilisering av färgbärvägen, framgår att driften under en mätning med frekvensstabiliserad färgbärväg är mycket liten. Det skulle alltså vara möjligt att, i stället för en hel mätserie om en minut, göra endast en avläsning av tidintervallmätaren kl 13.04.00. Förutsättningen härför är dock att man har tillgång till en tidintervallmätare med bättre upplösning, t ex 0,01 μ s.

Frekvenskontroll

Den ovan beskrivna TV-synkmetoden kan även användas för kontroll av rubidiumnormalens relativa frekvensstabilitet, $\Delta f/f$.

Sambandet mellan tidintervall och frekvens kan skrivas

$$f = \frac{1}{t}$$

Differentiering ger

$$df = - \frac{dt}{t^2} = - \frac{dt}{t} \cdot f$$

dvs

$$\frac{df}{f} = - \frac{dt}{t}$$

och för små förändringar

$$\frac{\Delta f}{f} = - \frac{\Delta t}{t}$$

där

$$\Delta t = (Rb - UTC_{STA_1}) - (Rb - UTC_{STA_2}) = \text{skillnaden}$$

mellan två mätningar av tidskillnaden mellan den egna klockan och RMPs klocka

och

t = förlupen tid mellan mättillfällena.

EX. Den 19 febr. 1982 erhöles $(Rb - UTC_{STA}) = -100,55 \mu s$

den 23 febr. 1982 erhöles $(Rb - UTC_{STA}) = -102,23 \mu s$

då blir

$$\Delta t = -100,55 - (-102,23) \mu s = 1,68 \mu s$$

$$t = 4 \text{ dagar} = 3,46 \cdot 10^{11} \mu s$$

dvs

$$\frac{\Delta f}{f} = - \frac{1,68}{3,46 \cdot 10^{11}} = -4,86 \cdot 10^{-12}$$

Feluppskattning

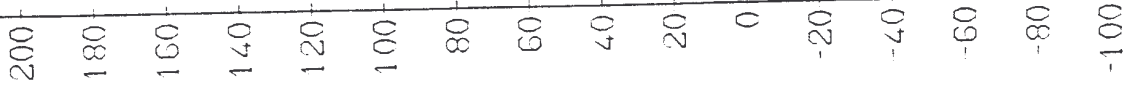
Ur linjär regression av mätserierna erhöles ett medelfel av $\pm 0,04 \mu\text{s}$, vilket ger felet i $\Delta f/f$ som

$$\frac{df}{f} = \pm \frac{0,04}{3,46 \cdot 10^{11}} = \pm 0,12 \cdot 10^{-12}$$

ÅRTAL 1978

Rb-UTC_{STA}

USA



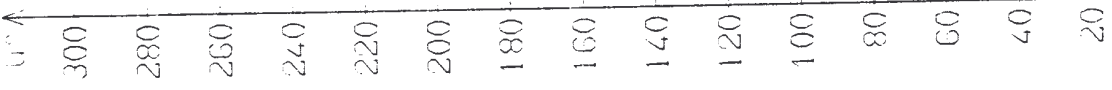
drittstopp



DIAGRAM 1

ÅRTAL 1979

Rb-UTC_{STA}
μs



UTC_{STA} ställid -90.0 μs



DIAGRAM 2

ÅRTAL 1980

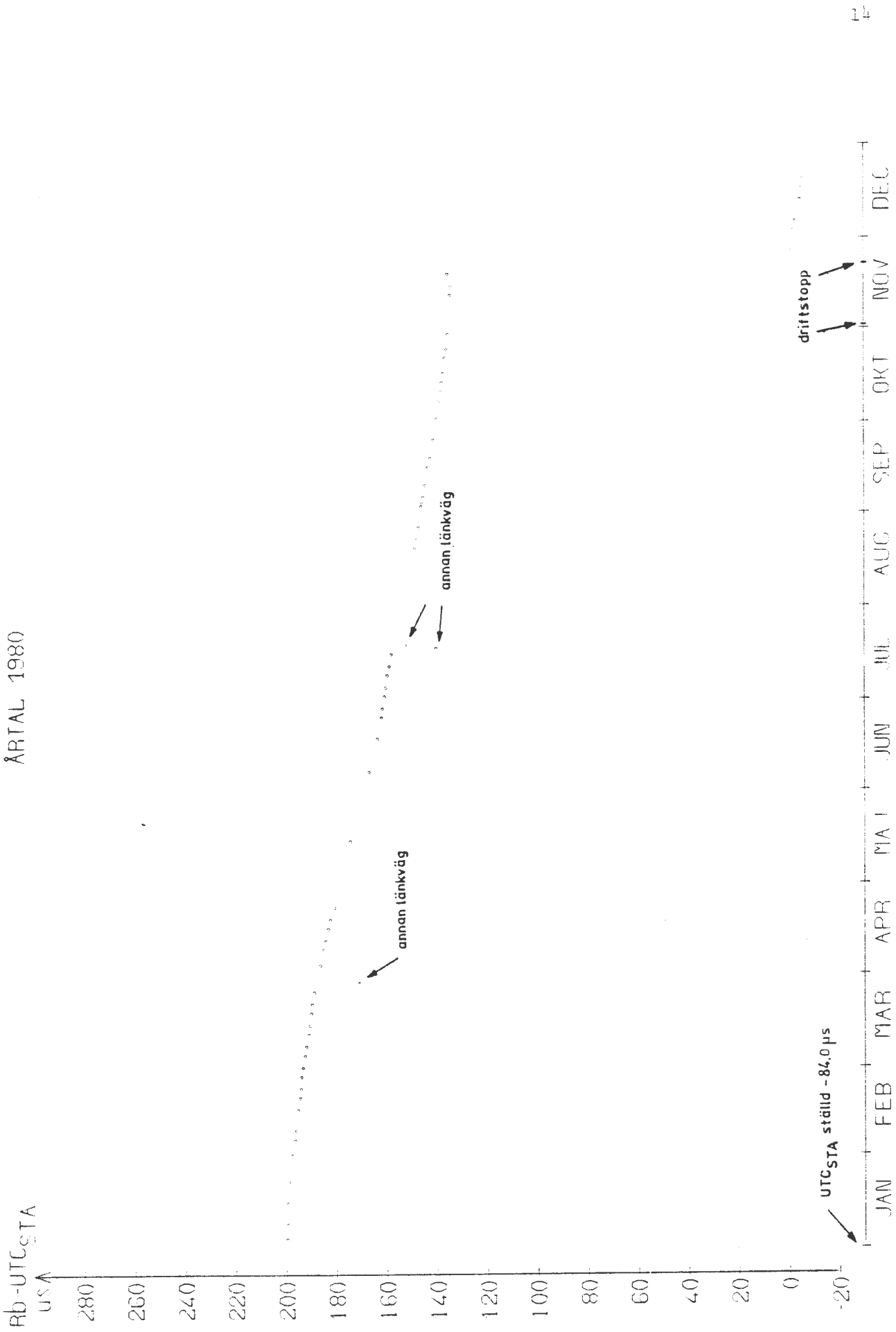


DIAGRAM 3

UTCSTA ställd -84,0 μs

driftstopp

annan länkväg

annan länkväg

ÅRTAL 1981

Rb-UTC_{STA}
US^h

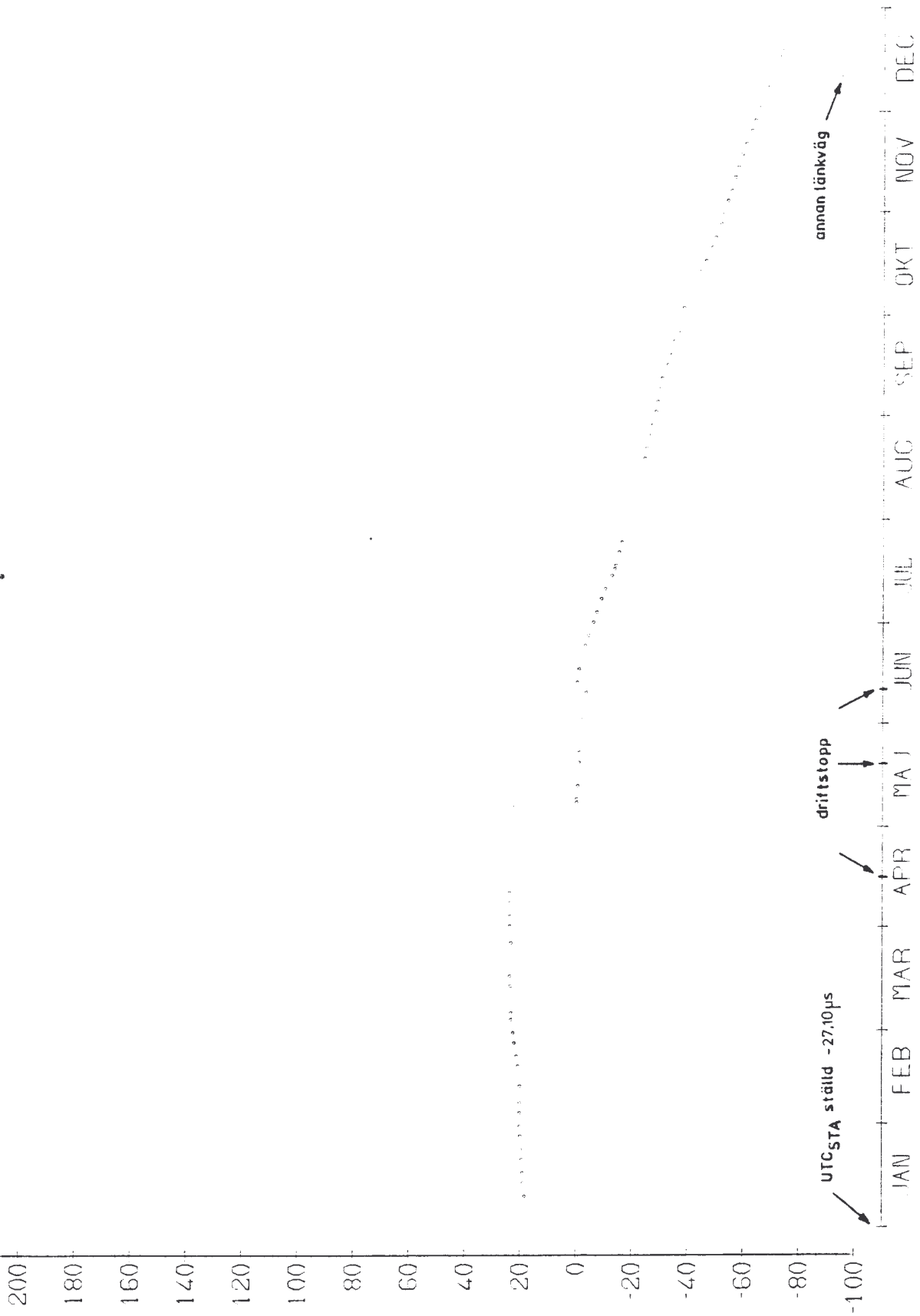


DIAGRAM 4

ÅRTAL 1982

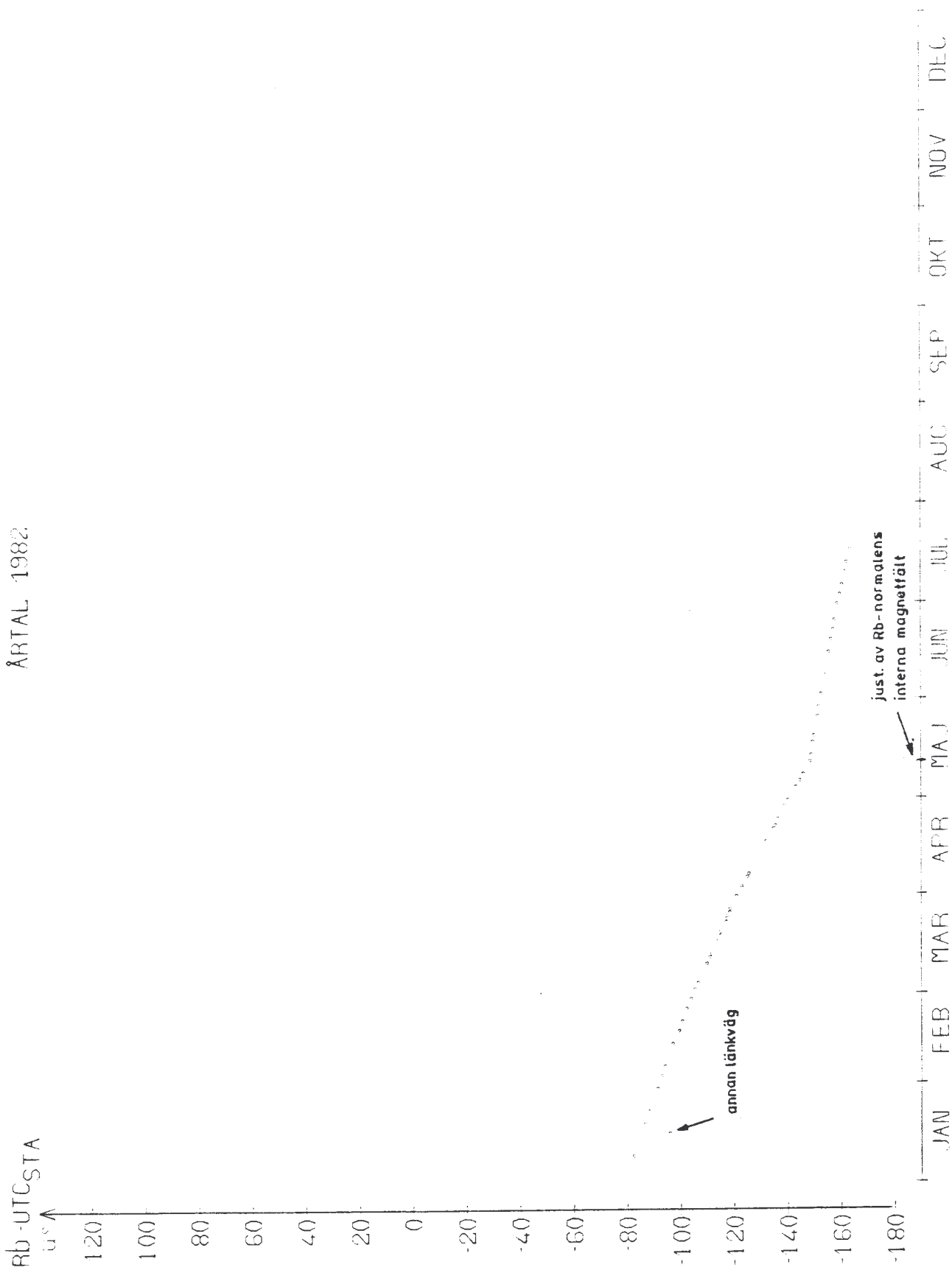


DIAGRAM 5

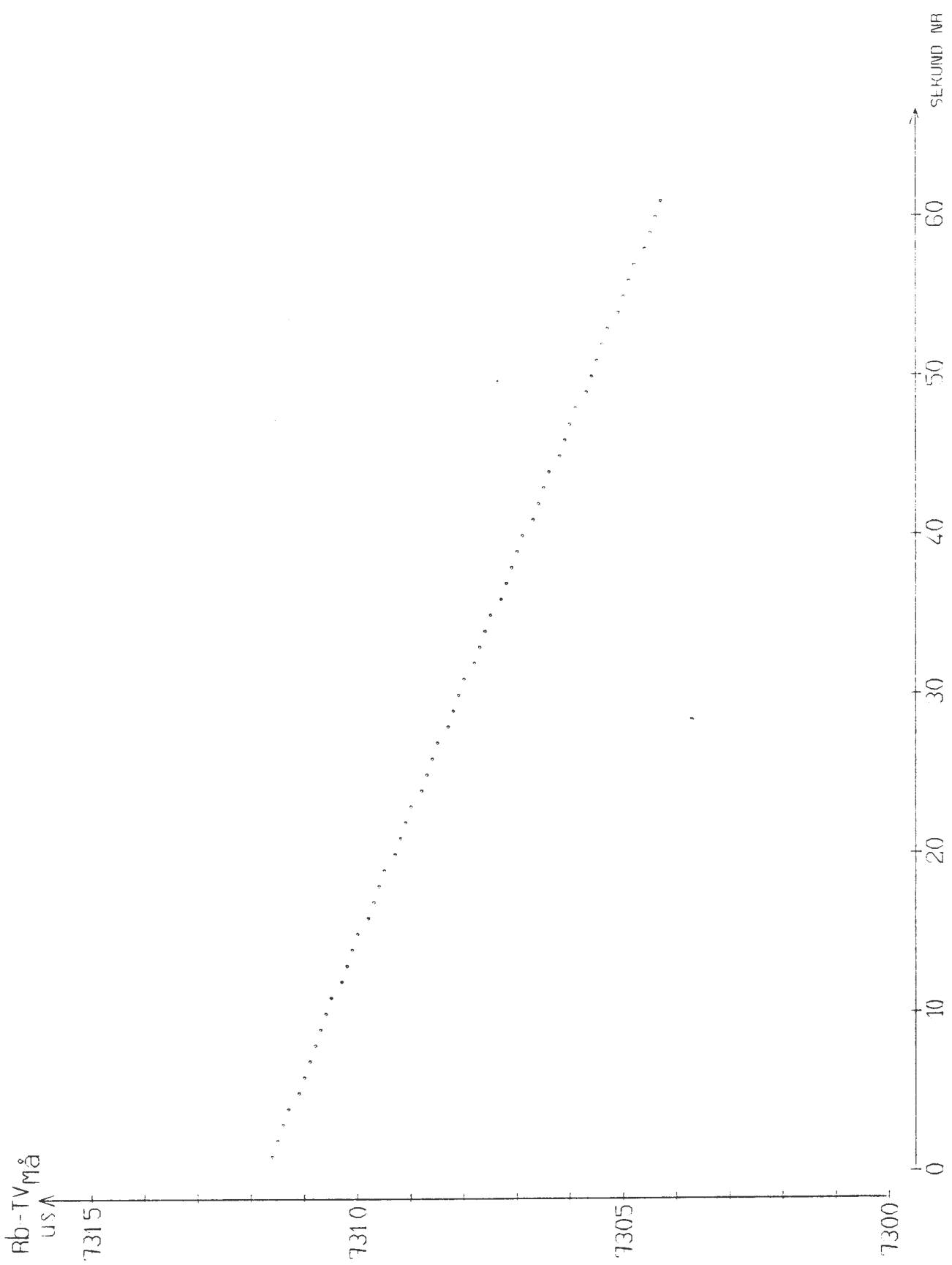


FIG 5. TV-synkämning utan Ab-stabiliserad färgbärare.

Rb-TV må
US ↑

15055

15050

15045

15040



FIG 6. TV-synkronisering med Rb-stabiliserad färgbärare.

Appendix A

Överföring av tid med tidsignaler på kortväg.

För att synkronisera sin atomklocka med den ovan beskrivna TV-synkmetoden måste, som tidigare nämnts, tidskillnaden vara < 20 ms jämfört med RMPs klocka. Detta kan åstadkommas genom att mäta tidskillnaden mellan klockan och tidsignalen från en känd radiostation. Härvid måste dock tidsignalens gångtid mellan sändare och mottagare beräknas. Radiovägen utbreder sig längs en storcirkel. Antag att sändare och mottagare är belägna i A och B respektive (se Fig. A. 1). Storcirkelavståndet D måste således beräknas. Enligt kända samband i den sfäriska trigonometrin gäller:

$$\cos \beta = \sin \phi_A \sin \phi_B + \cos \phi_A \cos \phi_B \cos(\lambda_A - \lambda_B)$$

där ϕ betecknar latitud och λ longitud.

Alltså är

$$\beta = \arccos [\sin \phi_A \sin \phi_B + \cos \phi_A \cos \phi_B \cos(\lambda_A - \lambda_B)]$$

där β antages uttryckt i grader.

Men

$$D = R \cdot \beta$$

där R är jordradien. Vinkeln β har här dimensionen radianer.

Sätt

$$D = K \cdot \beta$$

där β är uttryckt i grader.

Då blir

$$K = 6\,368 \cdot \frac{\pi}{180} \text{ km/grad} = 111,1 \text{ km/grad}$$

Slutligen fås

$$D = 111,1 \arccos [\sin \phi_A \sin \phi_B + \cos \phi_A \cos \phi_B \cos(\lambda_A - \lambda_B)] \quad (\text{A.I})$$

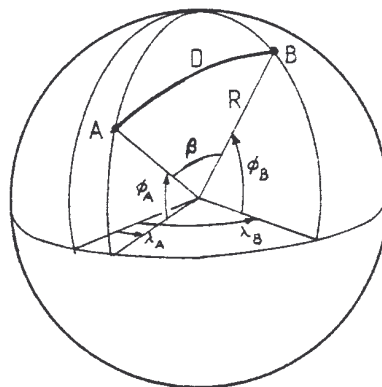


Fig. A. 1 Storcirkelavstånd

Radiovågen utbreder sig dels som markvåg, dels som rymdvåg. För kortvågsförbindelser gäller emellertid att, om avståndet mellan sändare och mottagare överskrider ca 160 km, kan radiovågen anses utbreda sig som rymdvåg. Nästa problem är att avgöra om man har att göra med enkel- eller multihopps-transmission samt i vilket jonosfärskikt reflektionen sker. Under dagtid, då mätningarna huvudsakligen utförs, reflekteras radiovågen mot E- eller F2-skiktet (E-skiktet försumbart nattetid). Se vidare Fig. A.2 och A. 3. För tidsynkronisering bättre än 20 ms behöver man dock som regel inte utreda i vilket skikt reflektionen skett, då skillnaden i gångtid är relativt liten (se diagram A. 1).

Efter det att storcirkelavståndet beräknats med ekv.(A.I) och tidsignalens gångtid bestämts m h a diagram A.1 kan själva mätningen genomföras. Denna mätning tillgår så att man låter atomklockans sekundpuls starta svepet i ett oscilloskop och samtidigt visar tidsignalen, som extraherats ur kortvågsmottagaren, på oscilloskopets bildskärm. Man kan då med tillräcklig noggrannhet uppskatta tidskillnaden mellan sekund-

pulsen och tidsignalen. Därefter justeras atomklockan så, att önskad tidskillnad erhålles.

EX. Radiostationen RWM belägen i Moskva med sändningsfrekvens 15 000 kHz, $\phi = 55^{\circ}48' N$ och $\lambda = 38^{\circ}48' E$.

LMVs geodetiska observatorium har $\phi = 60^{\circ}36'$ och $\lambda = 17^{\circ}16'$.

Insättes dessa värden i ekv. A. 1 erhålles

$$D = 1361 \text{ km}$$

Enligt Fig. A.2 och Fig. A.3 har man här tydligen att göra med enkelhoppstransmission.

Ur diagram A.1 erhålles för reflektion i E-skiktet

$$t_g = 4,8 \text{ ms}$$

och för reflektion i F 2-skiktet

$$t_{g_{\min}} = 5,0 \text{ ms}$$

$$t_{g_{\max}} = 5,7 \text{ ms}$$

varur inses att tidskillnaden ej är kritisk för 20 ms-synkronisering.

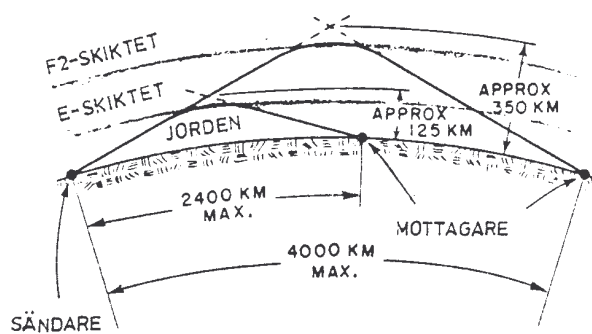


Fig. A.2. Strålgång för rymdvåg vid enkelhoppstransmission.

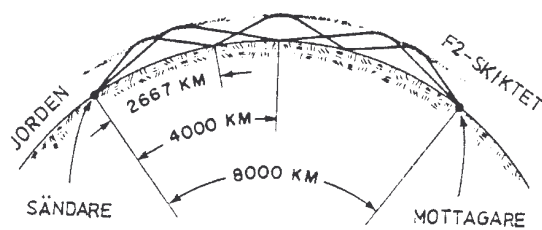


Fig. A.3. Strålgång vid multihoppstransmission.

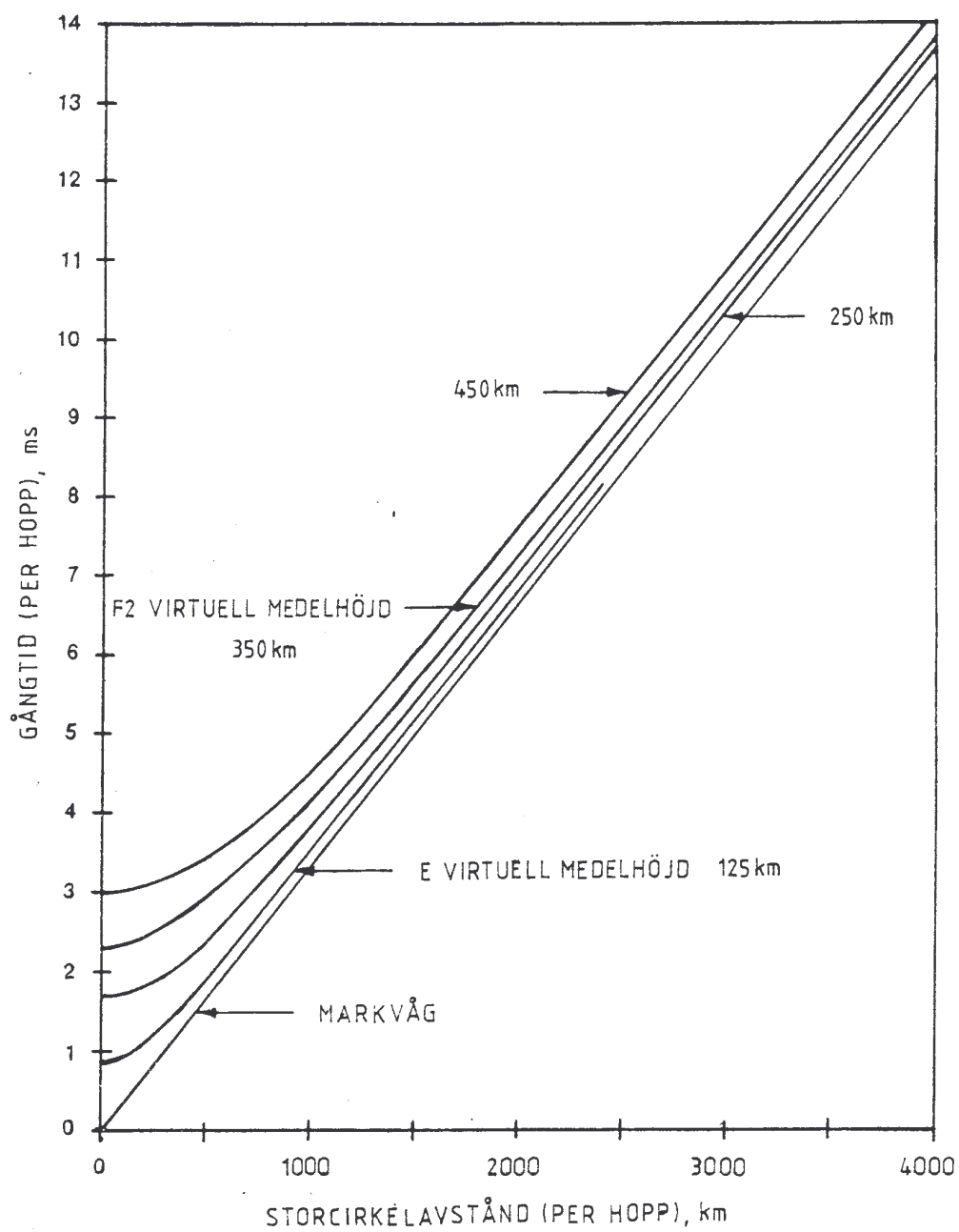


Diagram A.1. Transmissionsfördröjning vid enkelhopp.

Appendix B

Sambandet mellan frekvensdrift och tiddeviation.

Antag att rubidiumnormalen är behäftad med en linjär frekvensdrift. Frekvensen som funktion av tiden kan då skrivas (se Fig. B. 1):

$$f(t) = f_0 + a f_n t \quad (\text{B. I.})$$

där f_0 = frekvens vid synkroniseringstillfället, dvs $t=0$
 f_n = nominell frekvens
 a = rubidiumnormalens drift, som är ett mått på
oscillatorns åldring (eng. aging rate).

Driften a anges vanligen som relativ frekvensändring per tidenhet och definieras som

$$\frac{\Delta f}{f_n} = \frac{f(t_2) - f(t_1)}{f_n}$$

För t ex Rb-normaler är a av storleksordningen $\pm 1 \cdot 10^{-11}$ /månad.

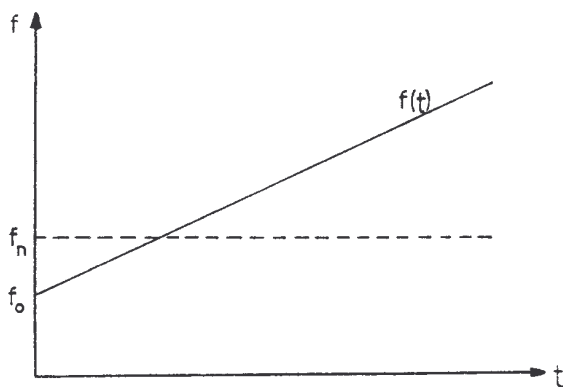


Fig. B. 1. Oscillatorfrekvens som funktion av tid.

Enligt ekv. (B. I) kommer f att skilja sig något från f_n eftersom $a \neq 0$. En klocka, som styrs av en rubidiumoscillator, kommer alltså att vara före eller efter i tid eftersom oscillatorns period är något för kort eller lång. Så som f illustrerats i Fig. B. 1, dvs med $a > 0$, kommer varje period hos oscillatorn att vara något för kort. Beteckna skillnaden i periodtid mellan nominella frekvensen f_n och den verkliga frekvensen f med δ . Då blir

$$\delta = \frac{1}{f_n} - \frac{1}{f}$$

där vi utnyttjat sambandet mellan period och frekvens:

$$T = \frac{1}{f}$$

och

$$T_n = \frac{1}{f_n}$$

Låt Δt vara ett godtyckligt kort tidintervall. Då är antalet perioder inom intervallet $f\Delta t$. Låt vidare ΔE beteckna den tiddeviation som uppkommer under tidintervallet Δt p g a frekvensdrift. Då kan man skriva

$$\Delta E = \delta f \Delta t = \left(\frac{1}{f_n} - \frac{1}{f} \right) f \Delta t = \left(\frac{f}{f_n} - 1 \right) \Delta t.$$

Gränsövergång ger

$$dE = \left(\frac{f}{f_n} - 1 \right) dt$$

Men

$$f = f_0 + a f_n t$$

som med integratorn ger

$$E = \left(\frac{f_0}{f_n} - 1 \right) t + \frac{1}{2} a t^2 + C.$$

Antag att tiddeviationen är E_0 vid tiden $t = 0$. Detta ger integrationskonstanten

$$C = E_0$$

Den totala tiddeviationen är således

$$E(t) = E_0 + \left(\frac{f_0}{f_n} - 1\right) t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (\text{B. II})$$

Man har alltså sambandet linjär frekvensdrift - kvadratisk tiddeviation. För att undersöka detta samband gjordes en regressionsanalys av en mätserie för anpassning till ett andragsgradspolynom. Som mätserie valdes punktmängden i diagram 2 (1979) eftersom inga driftstopp eller tidhopp förekommer där.

Polynomet

$$E = K_0 + K_1 t + K_2 t^2 \quad (\text{B. III})$$

ansattes och koefficienterna K_0 , K_1 och K_2 bestämdes med regressionsanalys. Följande resultat erhöles:

1979

$$K_0 = (110.76 \pm 0.33) \mu\text{s}$$

$$K_1 = (2.20 \pm 0.12) \cdot 10^{-1} \mu\text{s/d} \quad (\text{dygn})$$

$$K_2 = (-6.01 \pm 0.34) \cdot 10^{-4} \mu\text{s/d}^2$$

Spridning i funktionen E : $\pm 2.42 \mu\text{s}$

Signifikansen i resultatet tycks vara god och man kan därför anse det verifierat att rubidiumnormalens frekvensdrift är linjär.

En jämförelse mellan ekv. (B. II) och ekv. (B. III) visar att driften a kan bestämmas genom identifiering av koefficienter.

Således är

$$a = 2K_2.$$

Man erhåller (med omräkningsfaktorer)

$$a \approx (-4.2 \pm 0.3) \cdot 10^{-13}/\text{månad}.$$

Detta värde kan anses mycket bra jämfört med av tillverkaren garanterat:

$$|a| < 2 \cdot 10^{-11}/\text{månad}.$$

Appendix C

Osäkerhet i Rb-UTC.

Tidskillnaden mellan den egna klockan och den koordinerade världstiden UTC kan bestämmas ur

$$\text{Rb-UTC} = (\text{Rb-UTC}_{\text{STA}}) - (\text{UTC-UTC}_{\text{STA}})$$

där $\text{Rb-UTC}_{\text{STA}}$ är skillnaden mellan LMVs och RMPs klockor.

$\text{UTC} - \text{UTC}_{\text{STA}}$ kan erhållas ur BIH (Bureau International de l'Heure)- cirkulär eller direkt från RMP ur extrapolation, varvid den senare metoden ger mindre osäkerhet.

Enligt uppgifter från RMP är den maximala osäkerheten i vågutbredningen mellan Sylt i den norska Loran C-kedjan och RMP $\pm 0.4 \mu\text{s}$ och den maximala osäkerheten härrörande från extrapolation ur tidskillnaden $\text{UTC-UTC}_{\text{STA}} \pm 0.2 \mu\text{s}$.

Avvikelsen mellan två TV-synktagare är enligt tillverkaren maximalt $\pm 0.1 \mu\text{s}$.

Maximalt fel vid klocktransport för bestämning av systemfördröjning beräknades på sidan 8 till $\pm 0.26 \mu\text{s}$.

Dessutom tillkommer osäkerhet beroende på vågutbredningsvariationer i radiolänkkedjan, trimning av stationer, komponentbyten etc.

Ett mått på denna osäkerhet kan erhållas ur anpassning av en mätserie till ett andragradspolynom såsom gjorts i Appendix B (se Fig C. 1). Avvikelsen hos mätserien från parabeln kan då anses vara ett mått på variationerna i länkkedjan.

Ur regressionen erhöills ett medelfel hos andragsradsfunktionen av $\pm 2.42 \mu\text{s}$. Denna osäkerhet är dock inte direkt jämförbar med ovan bestämda maximala fel. Man kan dock i beräkningen observera en maximal avvikelse mellan mätserien och andragsradspolynomet av $- 4.85 \mu\text{s}$ (se Tabell C. 1).

Det totala maximala felet i Rb-UTC blir således ca $\pm 6 \mu\text{s}$.

Rb-UTC_{STA}
USA

ÅRTAL 1979

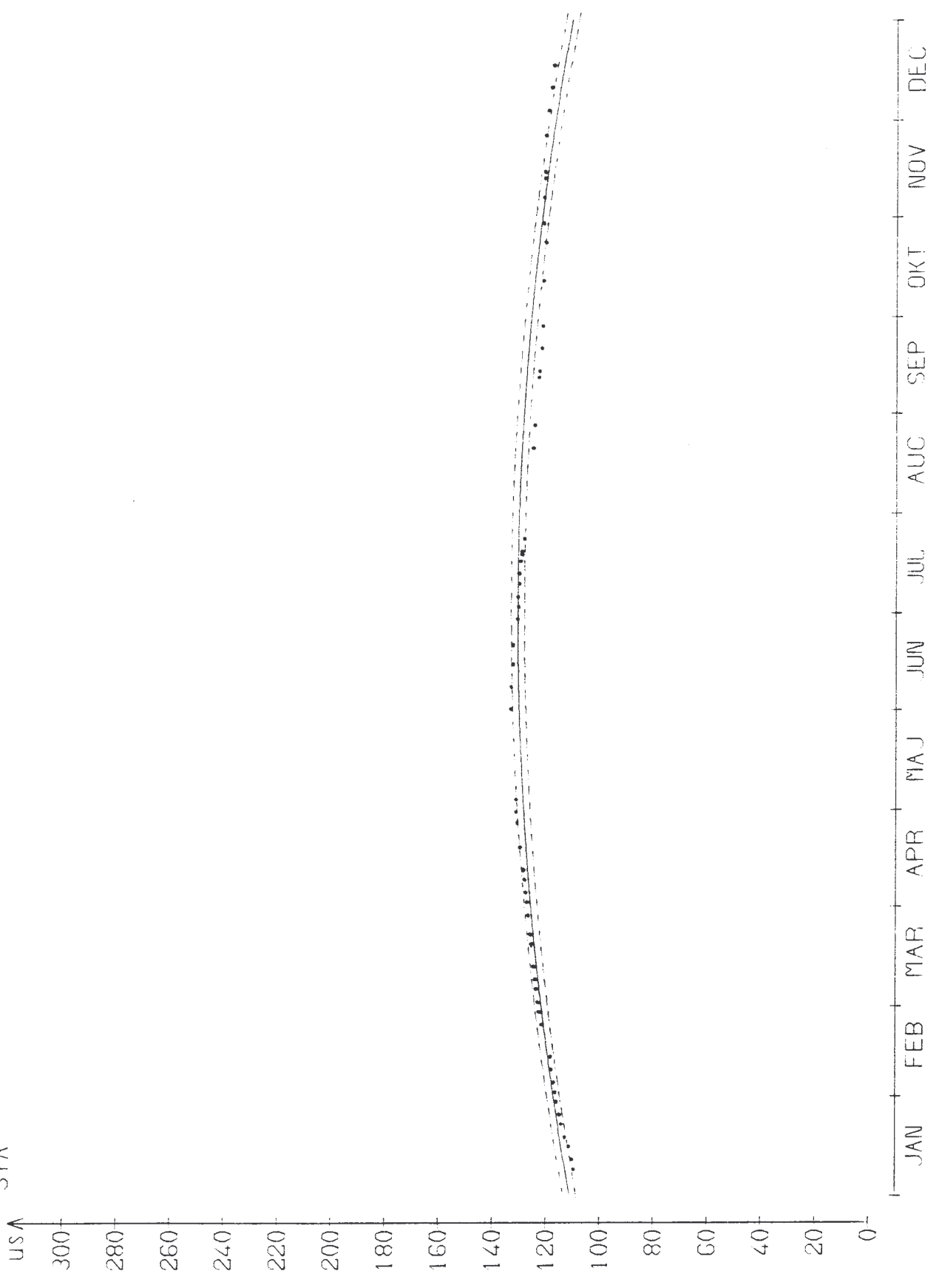


FIG C-1. Anpassning av mätserie till andragspolynom

TIDDEVIATION

OBSERVERAT	BERÄKNAT	DIFF.	REL.FEL(%)
109.600	112.687	-3.087	2.817
110.300	113.309	-3.009	2.726
111.600	114.122	-2.522	2.260
112.800	114.719	-1.919	1.701
114.200	115.498	-1.298	1.136
114.900	116.069	-1.169	1.017
116.000	116.814	-0.814	0.702
116.600	117.361	-0.761	0.652
117.200	117.896	-0.696	0.594
117.900	118.593	-0.693	0.588
118.400	119.271	-0.871	0.736
121.800	120.882	0.918	0.754
122.800	121.493	1.307	1.064
123.200	121.938	1.262	1.024
123.800	122.515	1.285	1.038
124.200	122.935	1.265	1.018
124.600	123.479	1.121	0.900
125.800	124.383	1.417	1.126
126.200	124.753	1.447	1.147
126.900	125.460	1.440	1.135
127.200	125.907	1.293	1.016
127.700	126.230	1.470	1.151
128.300	126.644	1.656	1.291
128.800	126.941	1.859	1.443
130.200	127.594	2.606	2.002
131.200	128.267	2.933	2.236
131.400	128.500	2.900	2.207
131.600	128.793	2.807	2.133
133.600	130.309	3.291	2.463
133.300	130.541	2.759	2.070
132.600	130.713	1.887	1.423
132.500	130.815	1.685	1.272
131.200	130.883	0.317	0.242
130.800	130.888	-0.088	0.067
130.800	130.879	-0.079	0.060
130.400	130.850	-0.450	0.345
130.300	130.816	-0.516	0.396
129.800	130.754	-0.954	0.735
129.200	130.715	-1.515	1.173
129.200	130.694	-1.495	1.157
128.500	130.599	-2.099	1.633
125.400	129.389	-3.989	3.181
124.600	128.939	-4.339	3.483
123.100	127.778	-4.678	3.800
122.900	127.603	-4.703	3.826
122.100	126.951	-4.851	3.973
121.700	126.241	-4.841	3.731
121.600	124.643	-3.043	2.503
121.500	122.244	-0.744	0.612
121.600	121.052	0.548	0.451
121.000	120.108	0.892	0.737
121.100	119.784	1.316	1.087
120.800	117.914	2.886	2.389
119.000	116.463	2.537	2.132
118.800	115.130	3.670	3.089
117.900	113.738	4.162	3.530

Referenser

- MÅRTENSSON, S., ELLDÉR, S., ÖHMAN, B.: Klockjämförelser med hjälp av TV-signaler, Foa 3 rapport C 3761-E8, oktober 1973.
- MÅRTENSSON, S.: Från urtid till atometid, Svensk Mätplatskalender 1978, Statens Provningsanstalt, Mätcentrum samt KOSMOS, band 55:1978, Svenska Fysikersamfundet.
- MÅRTENSSON, S., OLSSON, L.: Utvärdering av mottagare för tidsynkronisering via TV-nätet, Inst. för Tillämpad elektronik, Tekniska Högskolan i Lund, Februari 1978.
- OLSSON, L.: LTH TV-synk receiver manual, Inst. för Tillämpad elektronik, Tekniska Högskolan i Lund.
- ÖHMAN, B.: Ny uppgift för televerket: Riksmätplats för tid och frekvens, TELE (Televerkets tekniska tidskrift), Vol. 84, Nr 4, 1978.
- RUMMEL, R.: Zeitvergleichmessungen mittels Fernseh - Bildsynchronisationsimpulsen, Allgemeine Vermessungs - Nachrichten (AVN), 10/1975.
- DAVIS, D. D., BLAIR B. E., BARNABA, J. F.: Long-term continental U.S. timing system via television networks, IEEE Spectrum, August 1971.
- HEWLETT-PACKARD Application note 52-2: Timekeeping and Frequency Calibration.
- JOHANSSON, S.: En metod för tid- och frekvenskontroll vid lantmäteriverket, Referat från det Åttonde Nordiska Geodetmötet, Oslo 1979.