

Universitetet i Bergen
Institutt for den faste jords fysikk (IFJF)

Til: Reidar Løvli
Professor, IFJF

Fra: Ole Meyer
Avd. ingeniør, IFJF

Dato: 13. mars 1995

Ang.: EMI-målinger i SQUID magnetometer rom

Distribusjon: Louis Bakkemo
Overingeniør, IFJF

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. FORORD	3
2. SAMMENDRAG.....	3
3. MÅLEUTSTYR.	3
4. UTFØRTE MÅLINGER.....	4
4.1 Målebetingelser.....	4
4.2 Måleposisjoner.....	5
4.3 Beskrivelse av hver måling.....	5
5. STØYENS SKADEPOTENSIALE.....	7
5.1 Steinprøver som utsettes for magnetisk vekselfelt.....	7
5.2 Støystrømmer i kryostat.....	9
5.3 Støystrømmer i PC datainnsamlingssystem.	9
6. ANBEFALINGER.....	9
6.1 På kort sikt.....	9
6.2 På lang sikt.	10
7. VEDLEGG. DIAGRAM 1 - 15.	

1. Forord

Reidar Løvlie har bedt om kartlegging av EMI ("Electromagnetic Interference") nivået i det skjermede rommet som SQUID magnetometeret er plassert i. Det hersker uklarhet om, og eventuelt på hvilken måte, andre elektriske installasjoner i SQUID rommet forårsaker EMI. Det er også mistanke om at apparater i bygningens øvrige deler kan kople EMI via 230 Vac ledninger, som nå føres inn i det skjermede rommet uten filtrering.

2. Sammendrag

Som et første steg i kartleggingen av EMI nivået ble det benyttet magnetfeltprobe som via for-forsterker leverte signal til spektrumanalysator. På et senere stadium kan det være aktuelt å måle EMI som ankommer via sterkstrømsledninger. Magnetfelt målingene ble utført innenfor et frekvensområde fra 9 kHz til 30 Mhz, med måleproben plassert ulike steder i rommet.

Mateledningen til steppermotor som styrer vertikalbevegelse av målestativ utgjorde en støykilde som dominerte over alle andre. Støyens frekvensspekter, i form av grunn- og overharmoniske komponenter av den chopperfrekvens som steppermotorens driver kort anvender, strekker seg fra under 10 kHz til 2-3 Mhz. Det tidsvarierende magnetfeltet fra lederen inducerer elektriske spenninger i alle metallstrukturer i sin nærhet. Spenningene driver strømmer hvis størrelse er avhengig av den impedans som strømveien representerer. I nærheten av følgende sløyfer eller ledere ble det målt magnetfelt som trolig skyldes induserte strømmer:

- Kryostat (både ytre μ -metall skjold og selve stålbeholder) / festetag til vegger / vegger av μ -metall.
- Kabler fra SQUID detektorer til PC-basert datainnsamlingssystem.

Rapporten inneholder ingen konklusjon på spørsmålet om de induserte støystømmene kan gi opphav til feil i magnetometer lesninger; dette må undersøkes nærmere. Den inneholder imidlertid forslag til tiltak som kan redusere støyspenningene, og disse kan vurderes iverksatt dersom støyens skadepotensiale blir stadfestet.

3. Måleutstyr.

Følgende måleutstyr ble benyttet:

Betegnelse	Produsent	Modell	Serie nr.	Sist kalibrert	Gyldig kalibrasjon
Close-field probe 9kHz - 30 MHz	Hewlett-Packard	HP 11941A	2807A03711	N/A	N/A
Swivel	Kevlin Microwave Corp.	1102A	1305	N/A	N/A
Amplifier 9 kHz - 1300 MHz	Hewlett-Packard	HP 8447F opt. H64	3113A05743	94-09-20	Ja
Spectrum Analyzer 10 kHz - 1.5 Ghz	Hewlett-Packard	HP 8590A opt. 021	2618A00216	-	Nei

HP 11941A Close-field probe (S/N 2807A03711) har en frekvenskarakteristikk gitt ved følgende korreksjonstabell:

Frekvens [MHz]	0,009	0,1	1	10	30
Antenna Factor*)	87	69	50	39	37

*) Uttrykt i dB $[(\mu\text{A/m})/\mu\text{V}]$.

Disse verdiene brukes senere til å beregne magnetisk feltstyrke. For å anslå de mellomverdier som da trengs, fremstilles verdiene grafisk:

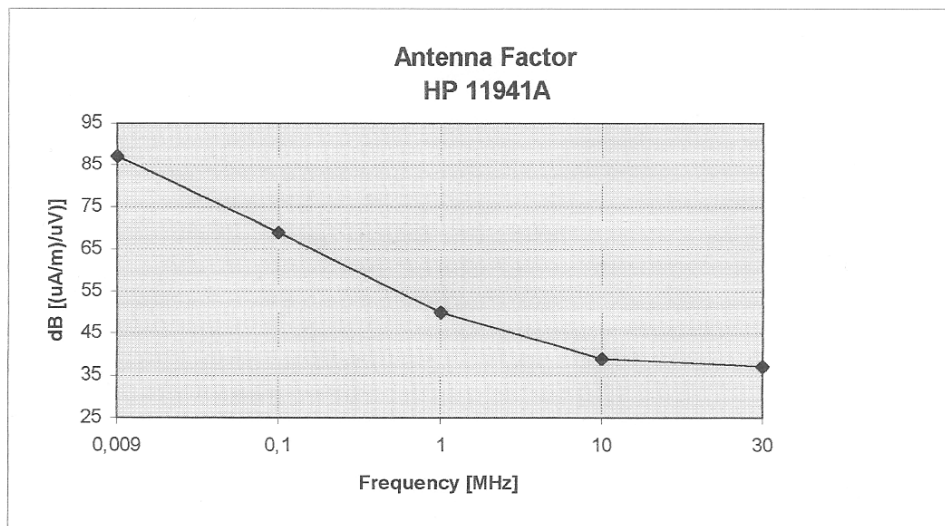


Fig. 1. "Antenna Factor" for HP 11941A Close-field Probe.

HP 8447F Preamplifier er en to-kanals forforsterker der de to kanalene har forskjellig frekvensområde. Målingene ble foretatt med kanalen som er beregnet for området 9 kHz til 50 MHz. Denne kanalen har følgende karakteristika:

GAIN	:	26 dB
GAIN FLATNESS	:	$\pm 1,5$ dB
NOISE FIGURE	:	< 8,5 dB

HP 8590A Spectrum Analyzer er ikke kalibrert. Fra långiver (Fysisk Inst.) er det også oppgitt at markør angivelser på skjermen er unøyaktige.

Måleoppstillingen er som følger:

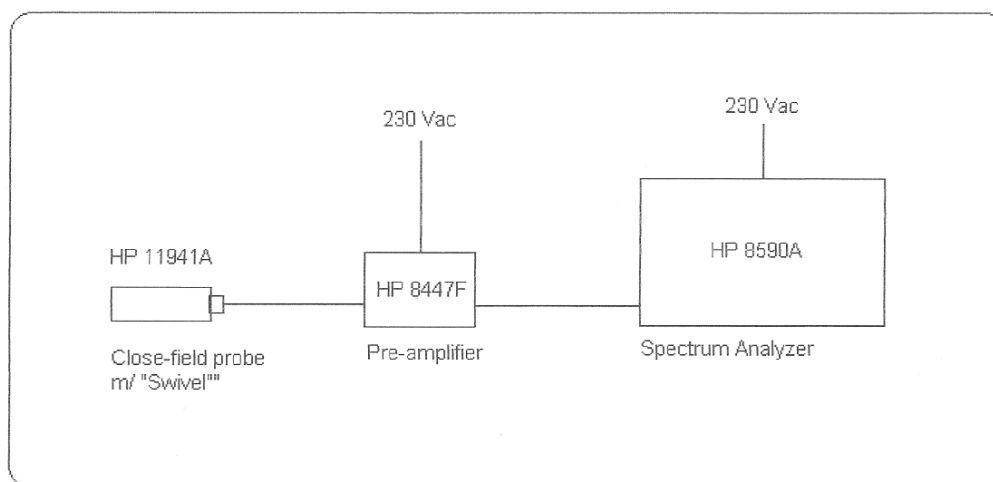


Fig. 2. Måleoppstilling

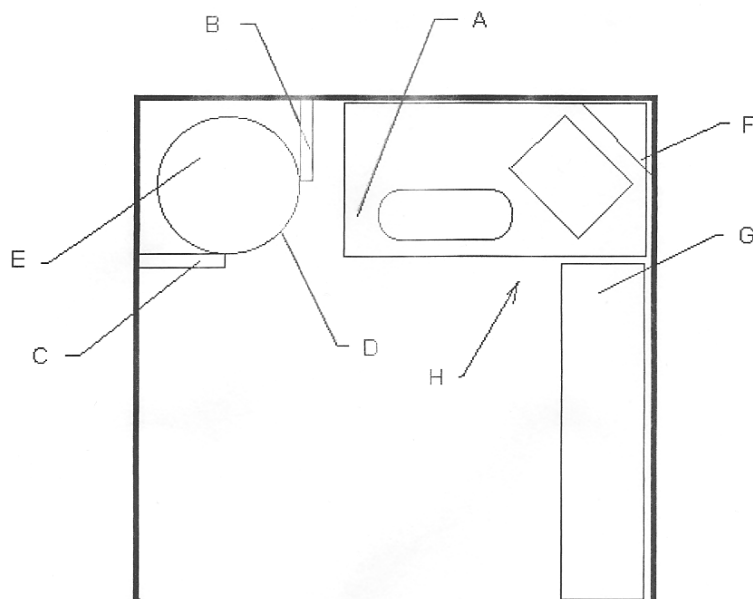
4. Utførte målinger.

4.1 Målebetingelser

- PC med skjerm og printer påslått.
- Drivspenning til "horisontal" og "vertikal" stepper motor driver påslått. "Vertikal" stepper motor driver blir slått av i løpet av måleserien.
- Vakuumpumpe: Aktiv.
- Motor i kjølesystemets "Cold Head" enhet: Aktiv.
- Øvrige innretninger i skjermrommet avslått (deriblant termisk avmagnetiseringsmaskin).

4.2 Måleposisjoner

Figur 3 viser hvor målingene ble foretatt. Posisjonene A, B, C, D, E, F og G er avmerket på målestedene slik at identisk posisjonering kan oppnås ved senere kontrollmålinger.



SQUID magnetometer rom, planløsning

Figur 3: Måleposisjoner.

4.3 Beskrivelse av hver måling

Nr / sted	Beskrivelse	Frekvens [Hz]	Ref. [dBm]	dB/DIV [dB]
1-A	Tastaturbord, mellom tastatur og kryostat	5k - 100k	-75	5
2-B	Høyre festestag for kryostat	5k - 100k	-75	5
3-C	Venstre festestag for kryostat	5k - 100k	-45	10
4-D	Midten av ytre my-metall skjold	5k - 100k	-45	10
5-E	Kryostat-topp, ved RF-hode R1	5k - 100k	-45	10
6-F	Ledninger mellom SCU500 og PC	5k - 100k	-45	10
7-G	Trebord til høyre for PC	5k - 100k	-45	10
8-F	Som 6, annet frekvensområde	5k - 500k	-45	10
9-F	Som 6, annet frekvensområde og ref. nivå som 7	1M - 10M	-50	5
10-F	Som 9, annet frekvensområde	10M - 20M	-82	1
11-H	Power fordelingsstøpsel under PC (midten)	5k - 100k	-45	10
12-H	Som 11, med "vertikal" stepper motor driver av	5k - 100k	-45	10
13-A	Som 1, med "vertikal" stepper motor driver av	5k - 100k	-45	10
14-B	Som 2, med "vertikal" stepper motor driver av	5k - 100k	-45	10
15-F	Som 6, med "vertikal" stepper motor driver av	5k - 500k	-86	2

Ref [dBm]

Nivået til øverste ramme i diagrammet, angitt i dB relativt til 1 mW. Dette er altså et effektmål; inngangsspenning regnes ut når instrumentets inngangsimpedans er kjent (= 50 ohm).

AVG

Angir antallet målinger som inngår i gjennomsnittsmålingen som blir plottet ut (angitt på diagrammer).

Kommentarer til målinger

Nr.	Kommentar
1	Steinprøver plasseres her før plassering i holder.
2	Magnetfelt som resultat av induerte strømmer i kryostat - festestag - vegg.
3	Kommentar som for 2, men 32 dB høyere nivå.
4	Ingen kommentar.
5	Ingen kommentar.
6	10 dB nivåøkning i forhold til 3. Dette er ledere som går inn på A/D-konverter kort i PC. Trolig danner GROUND i det PC-baserte målesystemet en sløyfe sammen med forbindelsen SCU 500 (SQUID Drive Electronics) - RF-hoder - kryostat - vegg - veggens nettfjord tilkopling - koplingen mellom PC nettfjord og signalfjord på A/D-konverter kort. Denne sløyfegeometri underbygges av kurve nr. 11, som gjenspeiler støystrømmer på 230 Vac ledere inn til PC. Markør er plassert på støy (61,8 kHz) som stammer fra ny støykilde, nemlig PC skjerm. Det er trolig tale om horisontal billedstrålefrekvens.
7	Ventested for steinprøver. Et ganske fredelig sted m.h.t. magnetfelt. Bidraget fra PC skjerm på ca. 62 kHz merkes ikke, til tross for relativt nær lokalisering.
8	Frekvensområdet er utvidet, og dermed reduseres oppløsningen (angitt ved VBW = Video Bandwidth). Nivået på overharmoniske er jevnt forbi 500 kHz.
9	Nedre kurve viser støynivå i posisjon G (trebord til høyre for PC - det rolige området), den øvre viser støy i posisjon F (måleledninger inn til PC). Støyens frekvensspekter går opp mot 6- 7 MHz.
10	Som kurve 9. Sjekker at frekvensområdet mellom 10 MHz og 20 MHz er forholdsvis likt på de to lokasjonene.
11	Sannsynligvis støystrømmer på jordleder i 230 Vac ledninger.
12	Rest når vertikal stepper motor drive er avslått. Støy fra PC'ens "switched power supply"? Kan ikke forklare hvorfor denne støykomponenten ikke fremkommer på kurve 11.
13	Det blir stille når stepper motor driver er avslått. Burde imidlertid ha benyttet -75 dBm referansenivå og 2 dB/DIV, som i kurve 1.
14	Som for kurve nr. 13.
15	Trolig støy fra PC-skjerm og "switched power supply" i PC. Markøranvisninger er tvilsomme - markør står trolig på bidraget fra skjermens horisontale oscillatorfrekvens, jfr. kurve nr. 6.

5. Støyens skadepotensiale.

5.1 Steinprøver som utsettes for magnetisk vekselfelt.

R.L. bes vurdere hvorvidt et magnetisk vekselfelt - som vist i diagram nr. 1 - påvirker steinprøvers remanente magnetisering på en uheldig måte. Til hjelp i denne vurderingen blir det her gjort et overslag over magnetisk feltstyrke og flukstetthet for en bestemt frekvenskomponent.

Ref. diagram 1, hvor frekvenskomponenten på 12,4 kHz har verdien 98,8 dBm.

Effekt (P) i watt:

$$10 \cdot \log \frac{P}{1 \cdot 10^{-3}} = -98,8 \text{ dB} \quad \Rightarrow \quad P = 131,83 \cdot 10^{-15} \text{ W}$$

RMS spenning (U) over spektrumanalysatorens inngangsimpedans (50Ω) er gitt ved:

hvor $Z = \text{impedans}$

$$P = \frac{U^2}{Z}$$

$U = \text{spenning}$

$P = \text{effekt}$

$$U = \sqrt{131,83 \cdot 10^{-15} \cdot 50} \Rightarrow \underline{U = 2,5673 \mu V}$$

Dette er signalnivå fra forforsterker, som har 50Ω utgangsimpedans. Ubelastet utgangsspenning blir (pga. spenningsdeling mellom forforsterkers utgangsimpedans og spektrum analysators inngangsimpedans) da det dobbelte av denne verdien, altså $5,1347 \mu V$.

RMS spenning (U) inn til forforsterker, som har 26 dB gain:

$$20 \cdot \log \frac{5,1347 \mu V}{U} = 26 \text{ dB} \Rightarrow \underline{U = 257,34 \text{ nV}}$$

Forforsterkers inngangsimpedans er 50Ω . Antar at "Antenna Factor" tall er oppgitt for 50Ω last. Ut fra kurven i figur 1 kan det da interpoleres en "Antenna Factor" verdi på 85 dB ved 12 kHz. Magnetisk feltstyrke (H, RMS) er da gitt ved:

$$20 \cdot \log \frac{H}{0,25734} = 85 \text{ dB} \Rightarrow \underline{H = 4,5762 \text{ mA / m}}$$

Magnetisk flukstetthet (B, RMS) er gitt ved:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \quad \text{og} \quad \begin{aligned} \mu_0 &= 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \\ \mu_r &= 1 \end{aligned}$$

$\Downarrow$

$$\underline{B = 5,75 \text{ nT}}$$

Størrelsen på denne flukstettheten kan illustreres ved at en DC strøm på 29 mA i en uendelig lang, rett leder genererer nær samme flukstetthet på en meters avstand.

5.2 Støystrømmer i kryostat.

Det er usikkert om, og eventuelt på hvilken måte, støystrømmer i kryostatbeholderen forårsaker fluksendringer i selve sensor systemet. Man kan imidlertid peke på endel fareområder:

- De tre SQUID'ene med tilhørende pick-up spoler er innkapslet i to superledende skjold av niobium, samt skjerm av μ -metall. Så lenge kritisk feltstyrke ikke oppstår, burde de to superledende beholderne stenge ute all fluks, men åpningen fra toppen introduserer usikkerhet.
- Under nedkjøling av kryostaten kan de to niobium skjoldene fange den fluks som er til stede akkurat i det superledning oppstår. Dette gir opphav til DC magnetisering som kan påvirke målingene, og som kun kan fjernes ved å øke temperaturen over T_c , for deretter å redusere den i et støyfritt miljø.
- I C.C.L.s "Operating Instructions, University of Bergen" påpekes det på side 9 at "*One of the major sources of noise in the system is external magnetic field fluctuations and care should be taken to situate the magnetometer well away from magnetic objects and any cables carrying large electric currents.*" Denne advarselen alene tilsier at støystrømmene bør søkes redusert.

5.3 Støystrømmer i PC datainnsamlingssystem.

Diagram nr. 6 viser i hvor stor grad støystrømmer er tilstede i kabler mellom de tre SCU500 enhetene og det PC-baserte målesystemet. Trolig fører 0 V lederen hovedparten av strømmen, fordi denne lederen inngår i en forholdsvis lavohmig sløyfe som brytes av støyfluks. Man kan peke på følgende muligheter for feil i avlesningene av SCU500 signalene:

- Støystrømmene forårsaker spenningsfall over jordlederimpedansen, som rett nok har liten verdi ved DC strømmer, men som øker med frekvens pga. strømfortrengning.
- Støystrømmene kan, dersom de går gjennom ulineære halvlederkomponenter (dvs. dioder, transistorer, operasjonsforsterkere) på A/D-konverter kortet bli likerettet og gi opphav til offset- og drift feil.

6. Anbefalinger.

SQUID magnetometeret bør pga. sin betydning, både internt for studenter og eksternt i forbindelse med oppdragsforskning, være operativt i størst mulig grad. Tiltakene som her skisseres er av den grunn delt i to seksjoner: Tiltakene i den ene medfører kun kortvarig driftsstans, hvis noen i det hele tatt, mens de i den andre er mer omfattende og kan innebære driftsstans over noen dager.

6.1 På kort sikt.

- Lederparet til hver fase i steppermotoren kan legges i egen koaksialkabel. Dermed vil senterleder og skjerm føre samme strøm, men i motsatt retning. Det eksterne magnetfeltet blir dermed kansellert,

dersom skjermen er ideell. I praksis oppnås ikke 100 % kansellering, dels fordi skjermen - dersom den består av kordeler - ikke er homogen og heller ikke 100 % optisk tett. En folieskjerm kan på den annen side, selv om den har bedre egenskaper med hensyn til reduksjon av eksternt magnet felt, representere en uakseptabel høy impedans for motorstrømmene. Muligens er en triaxial kabel konstruert med senterleder/flettet skjerm/folieskjerm best egnet. Leverandør av stepper motor driver kort bør kontaktes for å kommentere denne løsningsmetoden (dette er allerede utført).

- De tre lederparene fra hver SCU500 enhet ledes til PC A/D-konverter kort i form av tre stk. koaxkabler, ut fra samme resonnement som ovenfor.

6.2 På lang sikt.

Dersom tiltakene nevnt ovenfor ikke har ønsket effekt, bør følgende vurderes:

- Konstruksjon/innkjøp av stepper motor driver som ikke er chopper basert.
- Alternative former for motordrift: DC motorer med posisjons sensorer og "closed-loop control", eventuelt kan man se på mulighet for pneumatisk drift.

hp

MKR 12.36 KHz

REF -75.0 dBm ATTN 10 dB

-98.83 dBm

SMPL

LOG

5

dB/

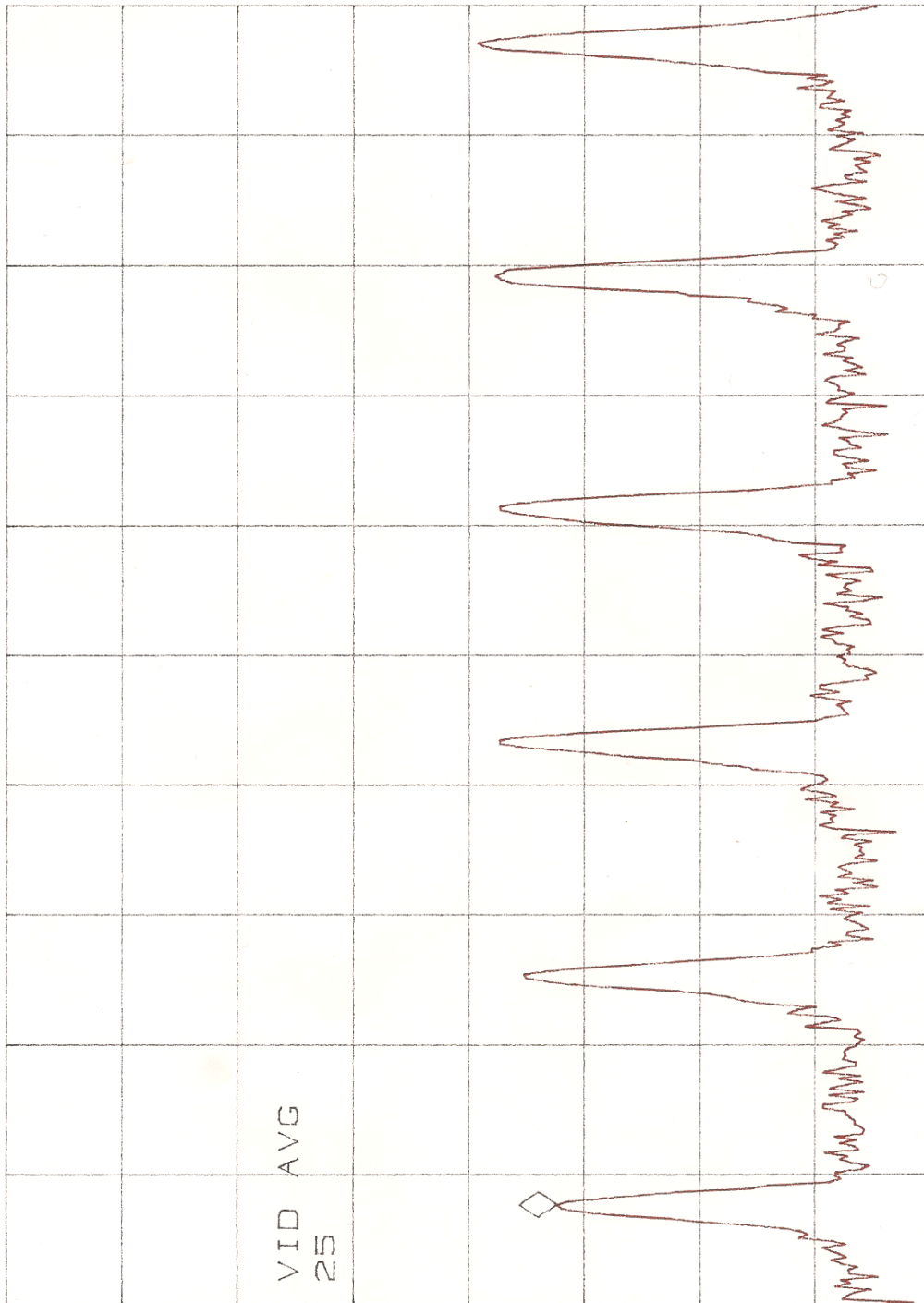
VID AVG
25

AVG
25

VA SB

FC

CORR



START 5.000 KHz

STOP 100.0 KHz

RES BW 1 KHz

VBW 1 KHz

SWP 300 msec

Diagram 1

hp

MKR 19.96 KHz
-101.90 dBm

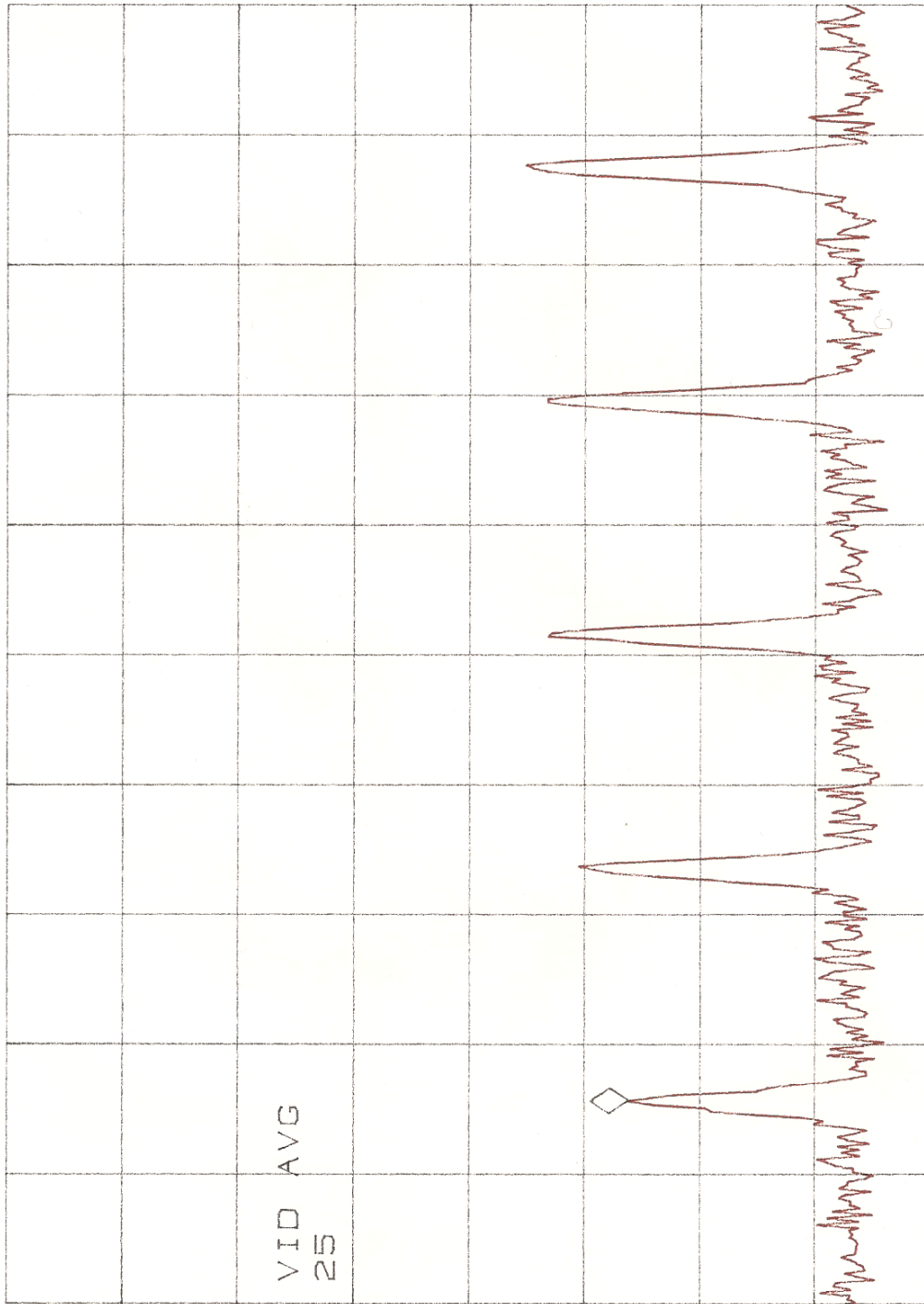
REF -75.0 dBm ATTN 10 dB

SMPL
LOG
5
dB/

VID AVG
25

AVG
25

VA SB
FC
CORR



START 5.000 KHz

RES BW 1 KHz

VBW 1 KHz

STOP 100.0 KHz

SWP 300 msec

Diagram 2

hp

MKR 26.38 KHz
-67.95 dBm

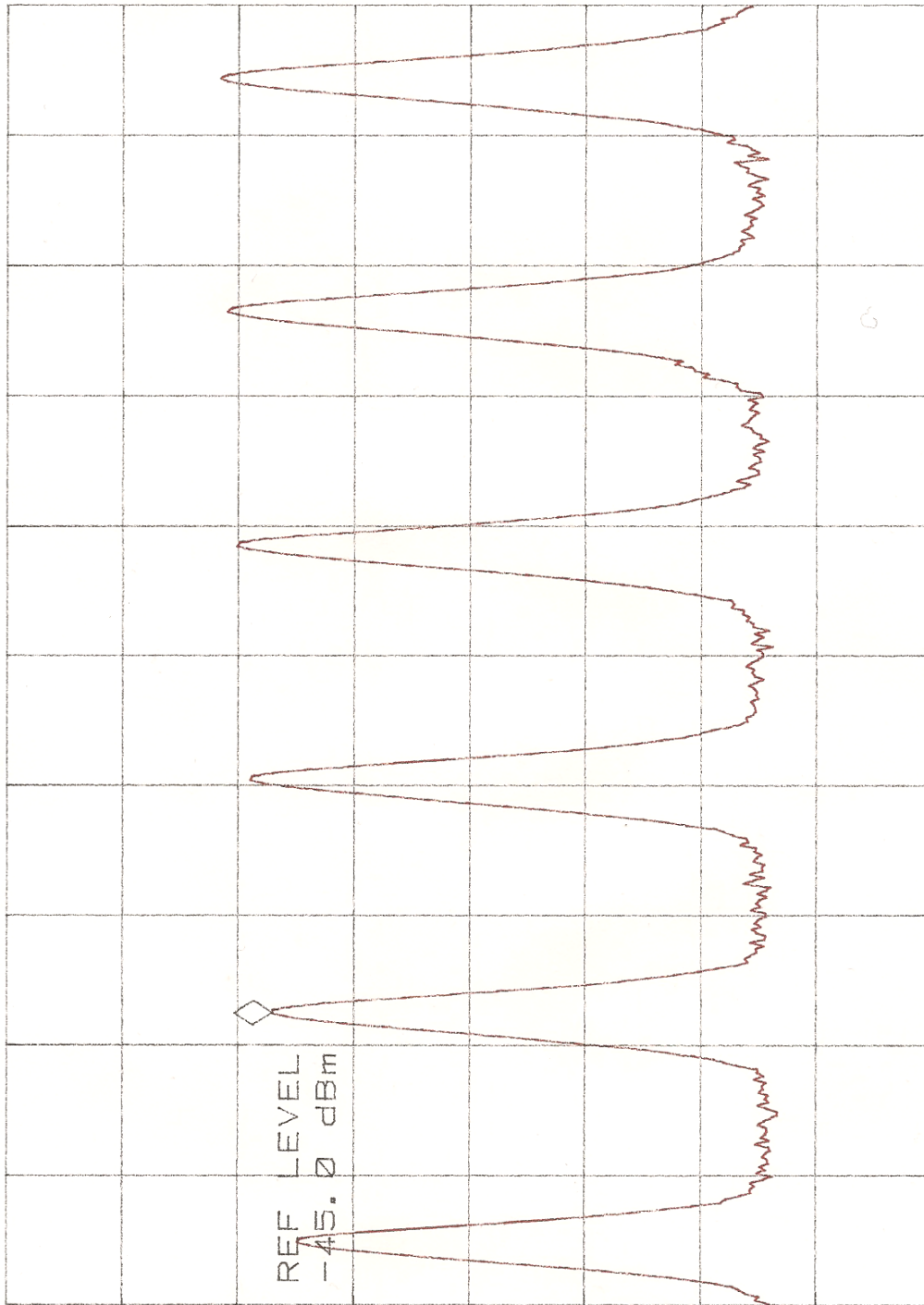
REF -45.0 dBm ATTN 10 dB

SMPL
LOG
10
dB/

REF LEVEL
-45.0 dBm

AVG
25

VA SB
FC
CORR



START 5.000 KHz
RES BW 1 KHz
STOP 100.0 KHz
VBW 1 KHz
SWP 300 msec

Diagram 3

hp

MKR 36.35 KHz
-93.72 dBm

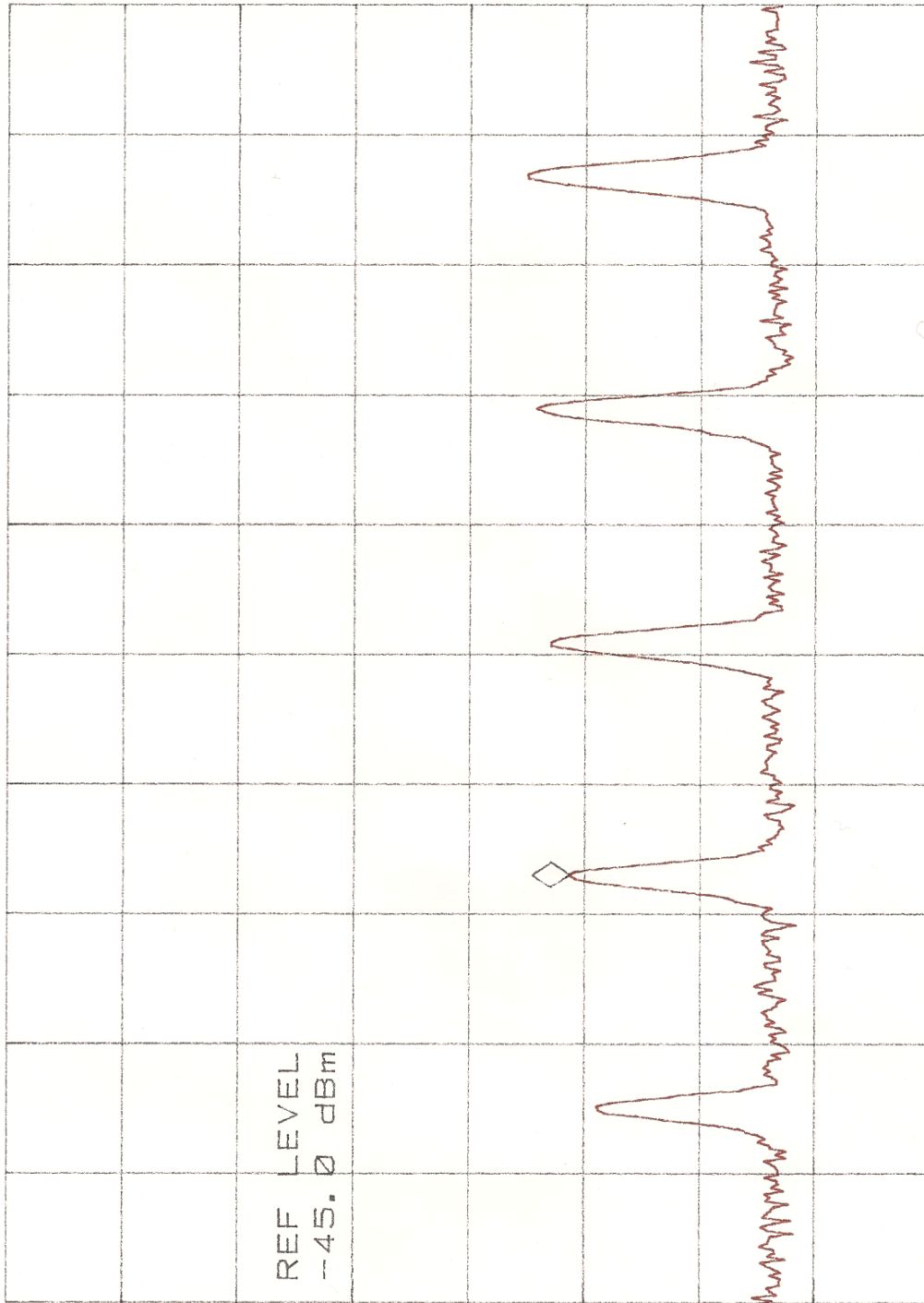
REF -45.0 dBm ATTN 10 dB

SMPL
LOG
10
dB/

REF LEVEL
-45.0 dBm

AVG
25

VA SB
FC
CORR



START 5.000 KHz STOP 100.0 KHz
RES BW 1 KHz VBW 1 KHz SWP 300 msec

Diagram 4

hp

MKR 32.31 KHz
-91.26 dBm

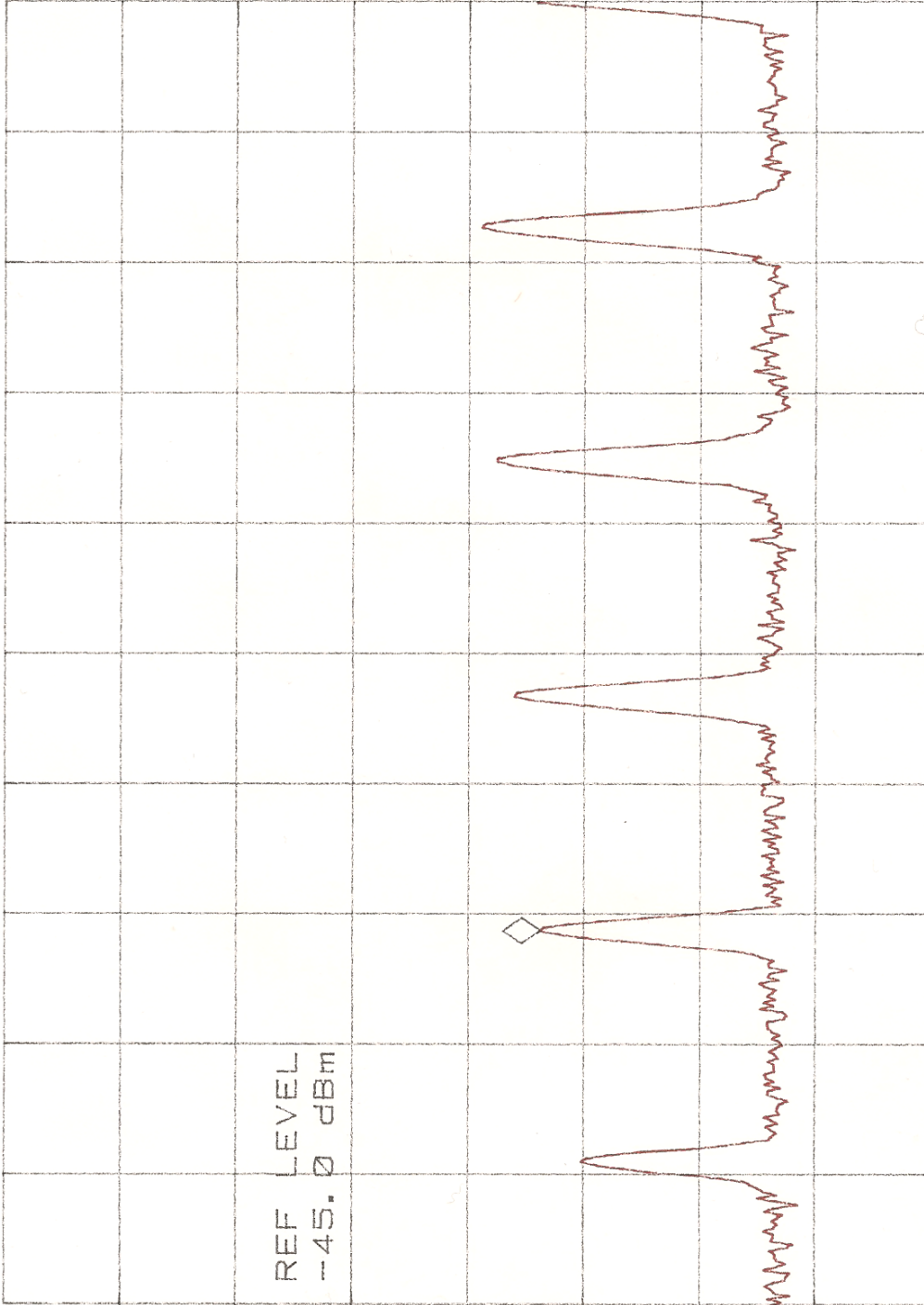
REF -45.0 dBm ATTN 10 dB

SMPL
LOG
10
dB/

REF LEVEL
-45.0 dBm

AVG
25

VA SB
FC
CORR



START 5.000 KHz STOP 100.0 KHz
RES BW 1 KHz SWP 300 msec
VBW 1 KHz

hp

MKR 61.76 KHz
-93.38 dBm

REF -45.0 dBm ATTN 10 dB

SMPL

LOG

10

dB/

REF LEVEL
-45.0 dBm

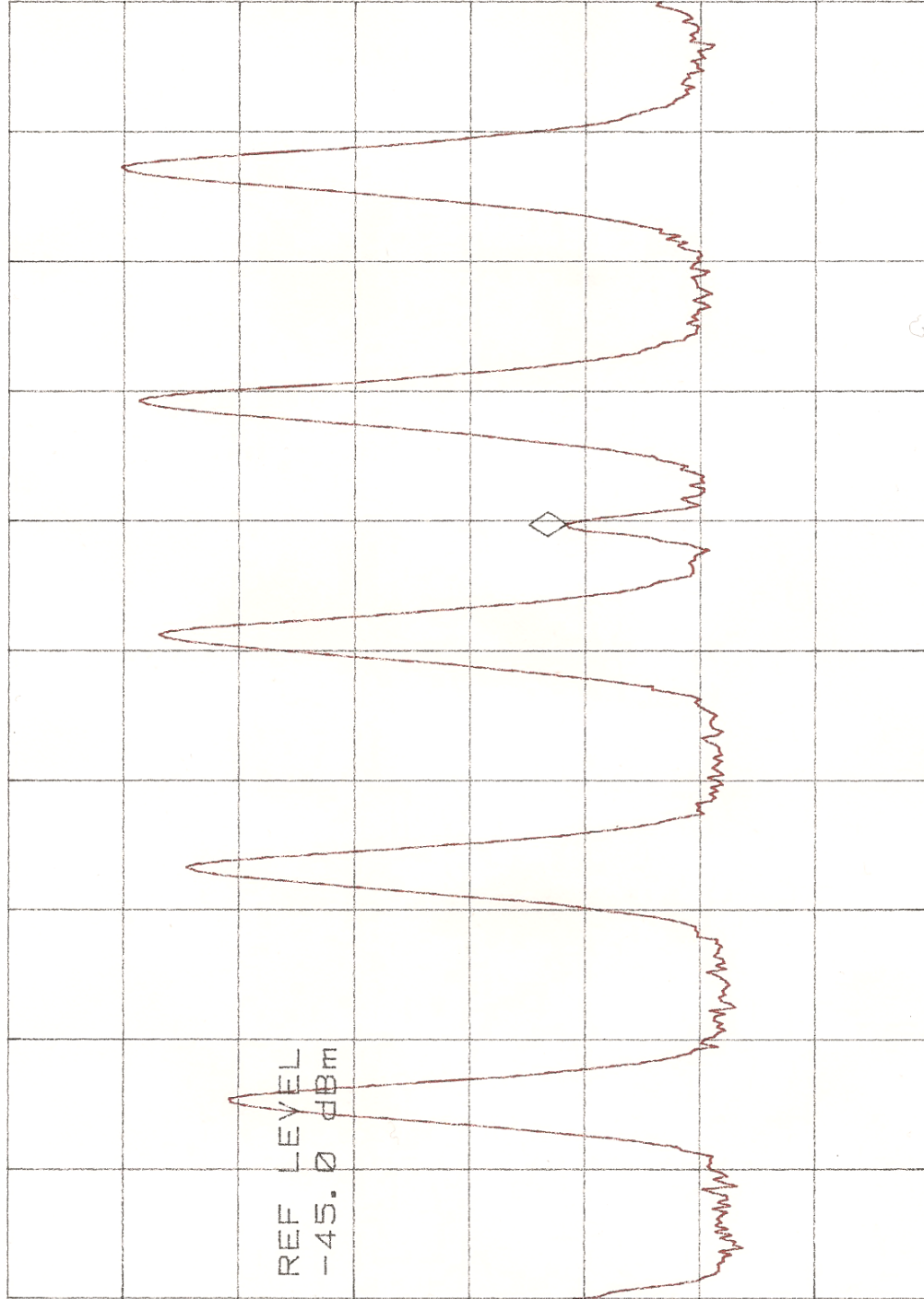
AVG

25

VA SB

FC

CORR



START 5.000 KHz

RES BW 1 KHz

STOP 100.0 KHz

SWP 300 msec

VBW 1 KHz

Diagram 6

hp

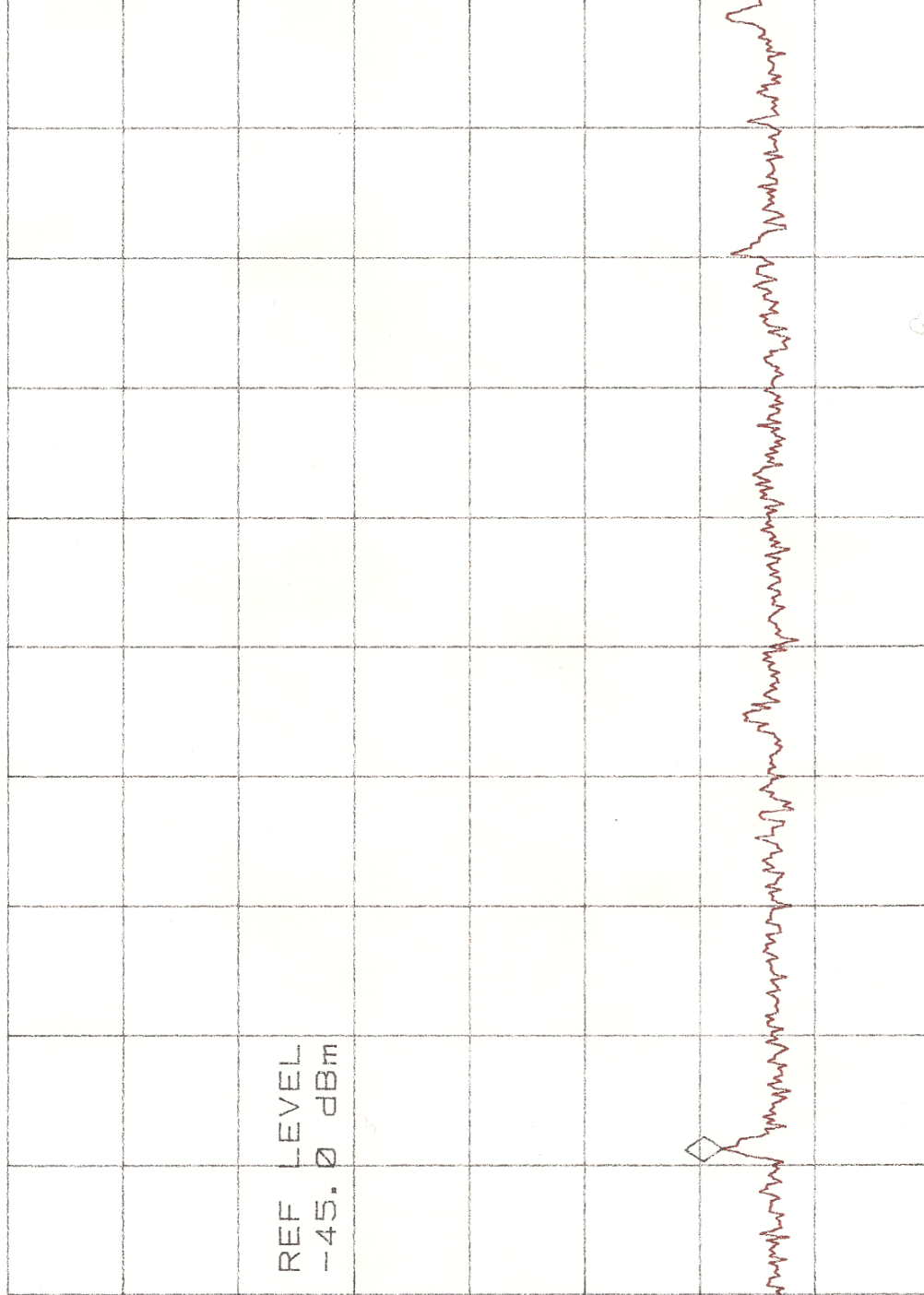
REF -45.0 dBm ATTN 10 dB MKR 15.69 KHz
-106.97 dBm

SMPL
LOG
10
dB/

REF LEVEL
-45.0 dBm

AVG
25

VA SB
FC
CORR



START 5.000 KHz STOP 100.0 KHz
RES BW 1 KHz SWP 300 msec

Diagram 7

hp

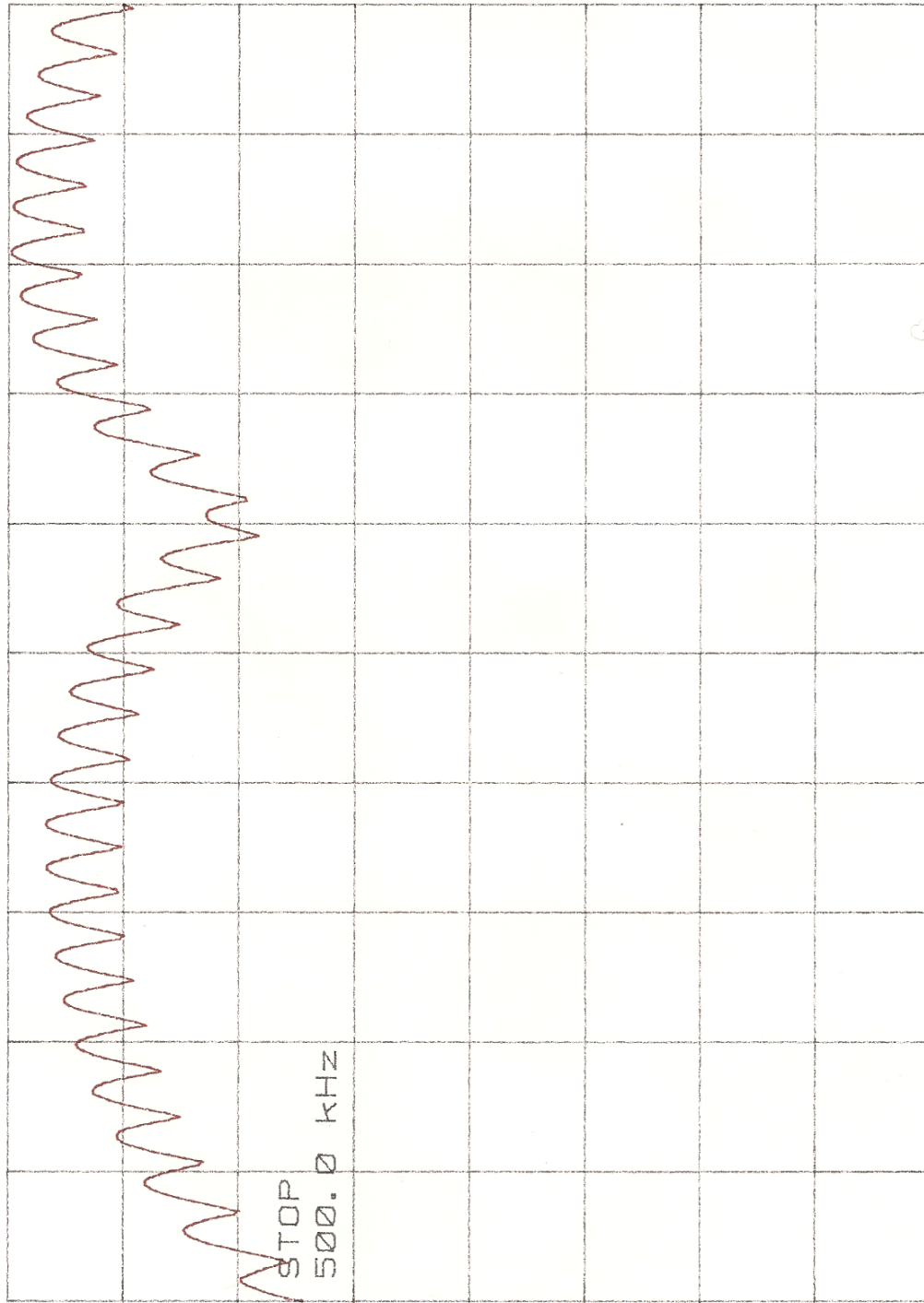
REF -45.0 dBm ATTN 10 dB

SMPL

LOG

10

dB/



AVG

25

VA SB

FC

CORR

START 5.000 KHz

RES BW 10 KHz

STOP 500.0 KHz

SWP 30 msec

Diagram 8

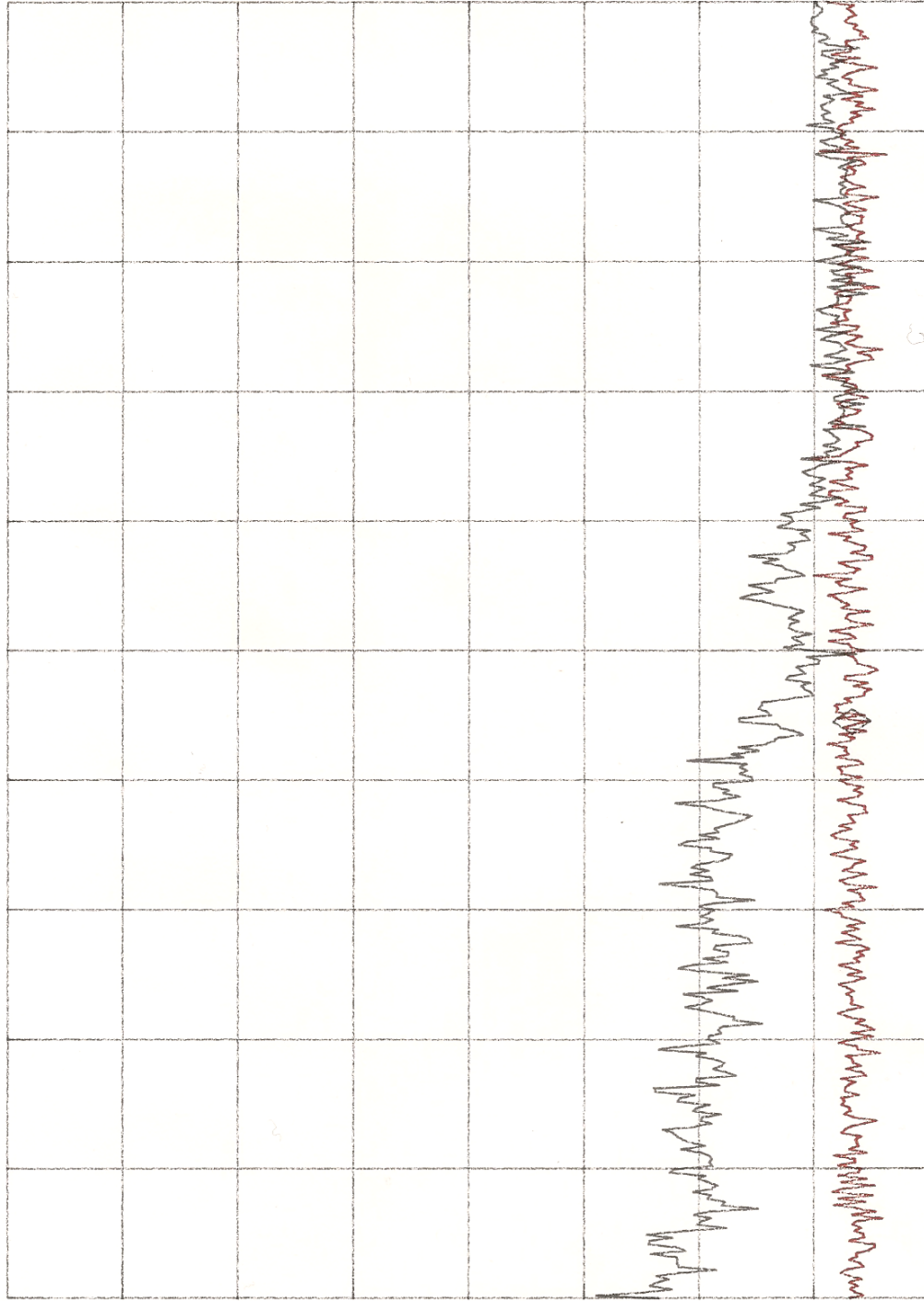
hp

REF -50.0 dBm MKR 5.005 MHz
ATTEN 10 dB -87.41 dBm

SMPL
LOG
5
dB/

AVG
25

VA VB
FC
CORR



START 1.000 MHz STOP 10.00 MHz
RES BW 100 kHz SWP 20 msec
VBW 30 kHz

Diagram 9

hp

MKR 14.45 MHz
-88.62 dBm

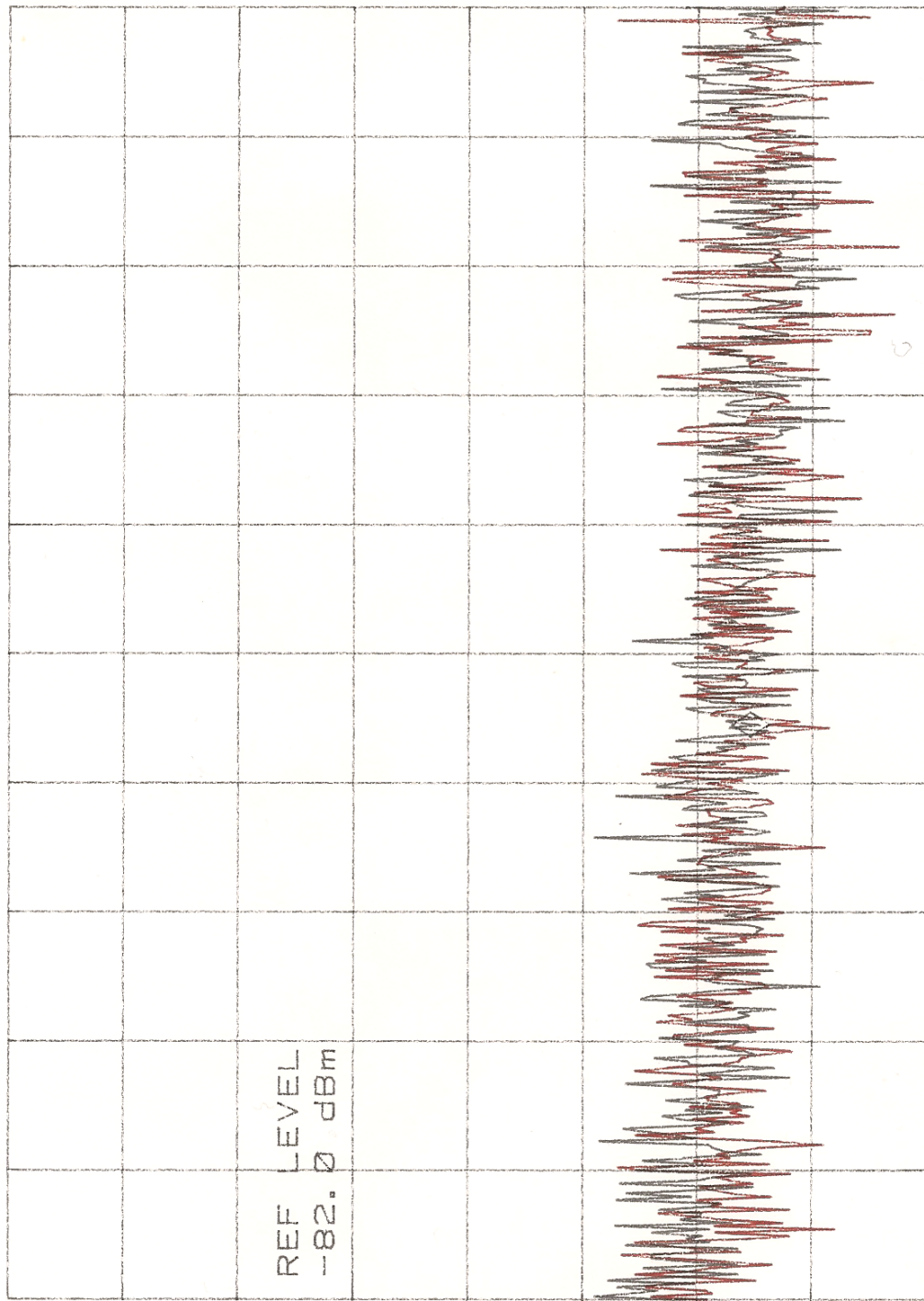
REF -82.0 dBm ATTN 10 dB

SMPL
LOG
1
dB/

REF LEVEL
-82.0 dBm

AVG
50

VA VB
FC
CORR



START 10.00 MHz
RES BW 100 kHz
VBW 30 kHz
STOP 20.00 MHz
SWP 20 msec

Diagram 10

hp

MKR 38.25 KHz
-72.59 dBm

REF -45.0 dBm ATTN 10 dB

SMPL

LOG

10

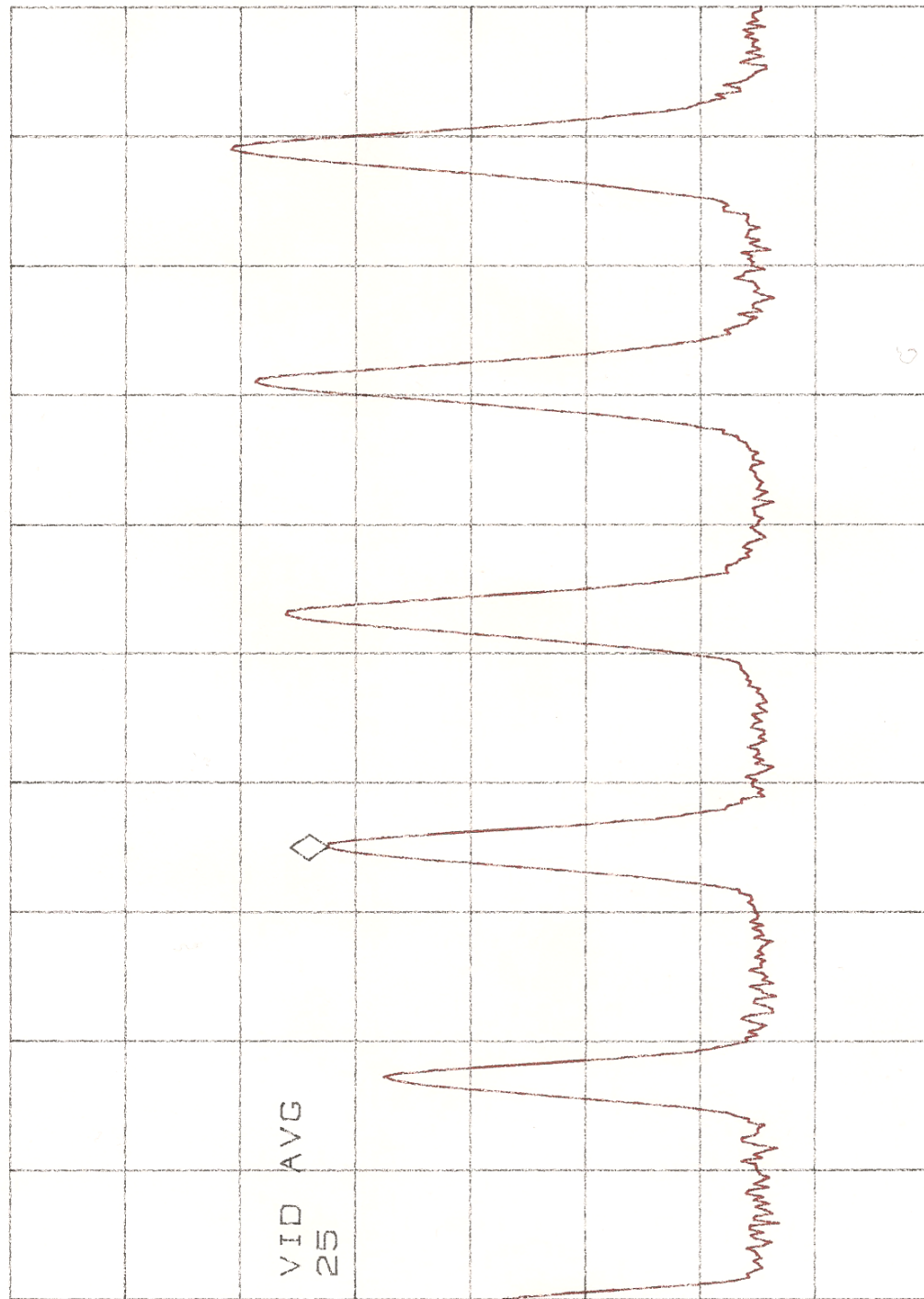
dB/

VID AVG
25

AVG
25

VA SB
FC

CORR



START 5.000 KHz

RES BW 1 KHz

VBW 1 KHz

STOP 100.0 KHz

SWP 300 msec

Diagram 11

hp

MKR 43.24 KHz
-97.34 dBm

REF -45.0 dBm ATTN 10 dB

SMPL

LOG

10

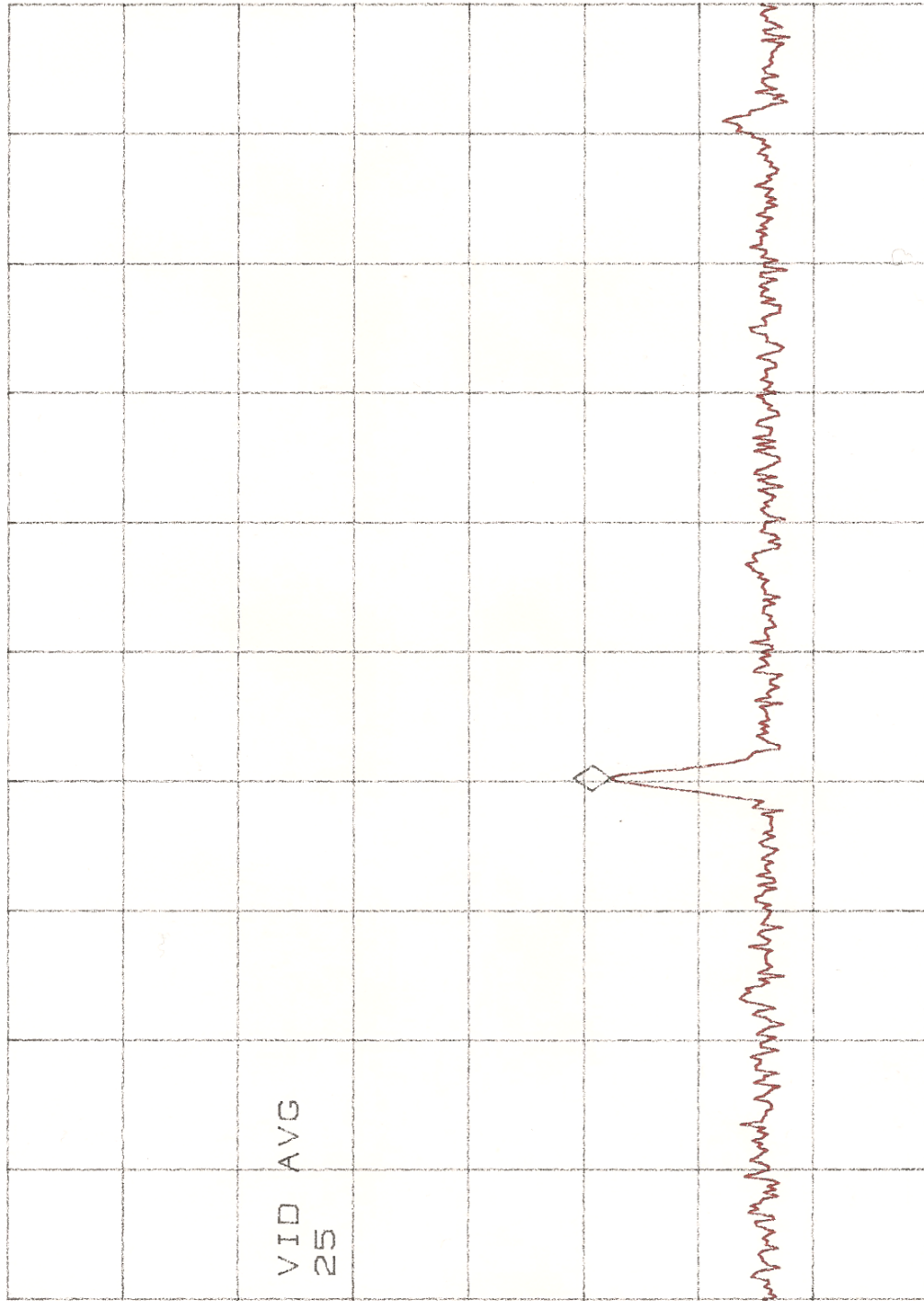
dB/

VID AVG
25

AVG
25

VA SB
FC

CORR



START 5.000 KHz

RES BW 1 KHz

VBW 1 KHz

STOP 100.0 KHz

SWP 300 msec

Diagram 12

hp

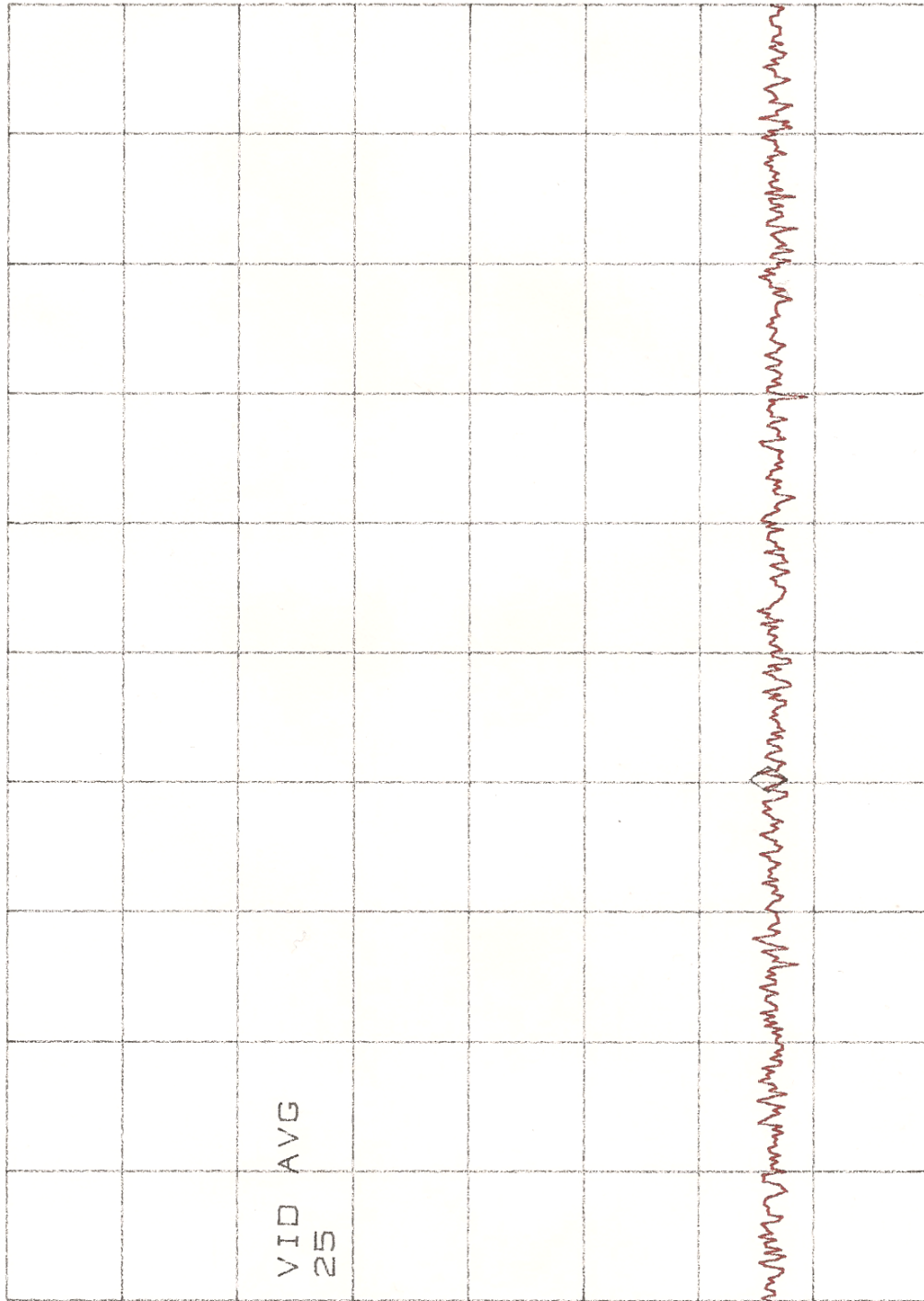
REF -45.0 dBm ATTN 10 dB MKR 43.24 KHz
-112.55 dBm

SMPL
LOG
10
dB/

VID AVG
25

AVG
25

VA SB
FC
CORR



START 5.000 KHz STOP 100.0 KHz
RES BW 1 KHz SWP 300 msec
VBW 1 KHz

Diagram 13

h70

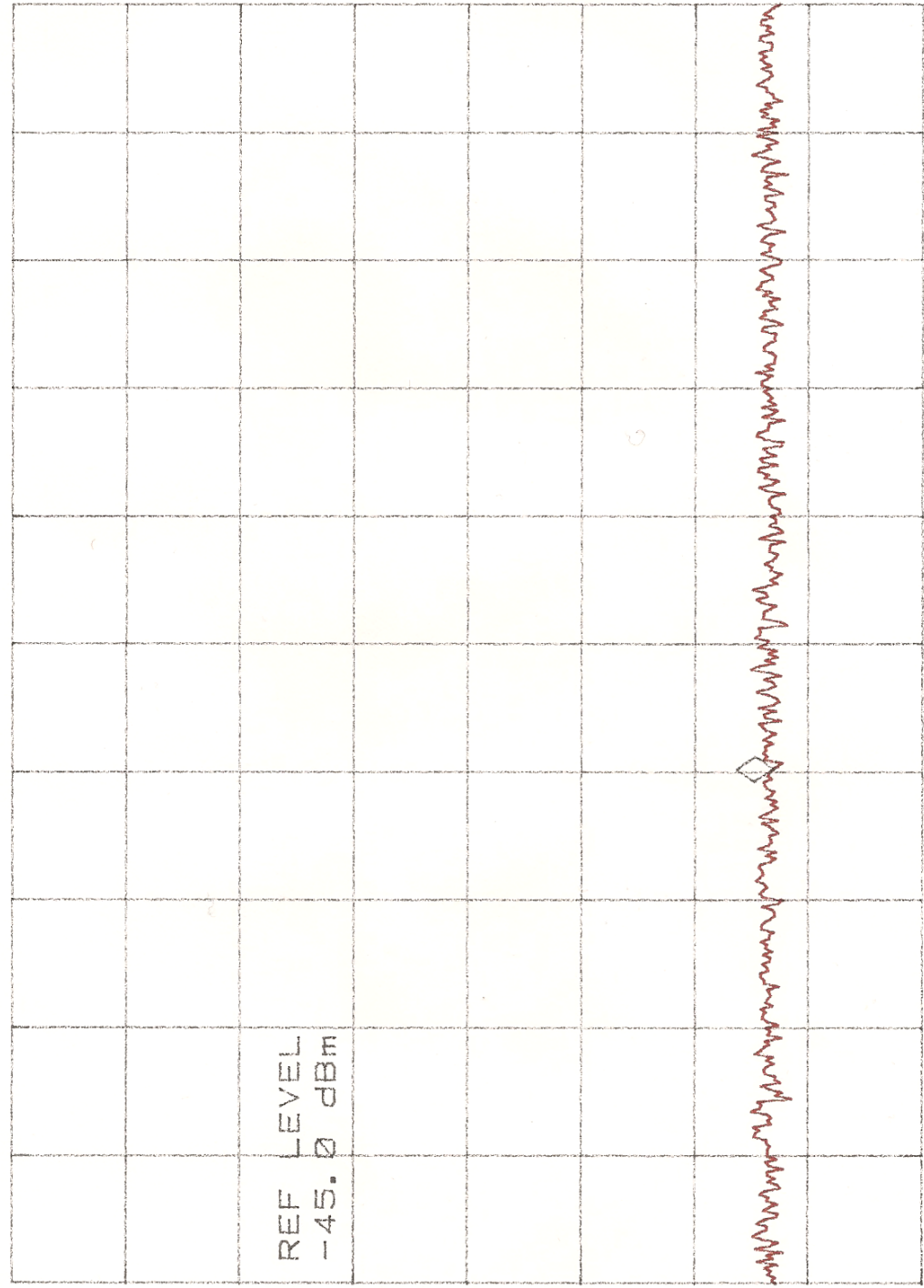
REF -45.0 dBm ATTN 10 dB MKR 43.24 kHz
-111.92 dBm

SMPL
LOG
10
dB/

REF LEVEL
-45.0 dBm

AVG
25

VA SB
FC
CORR



START 5.000 kHz STOP 100.0 kHz
RES BW 1 kHz SWP 300 msec VBW 1 kHz

Diagram 14

770

MKR 95.3 KHz
-94.19 dBm

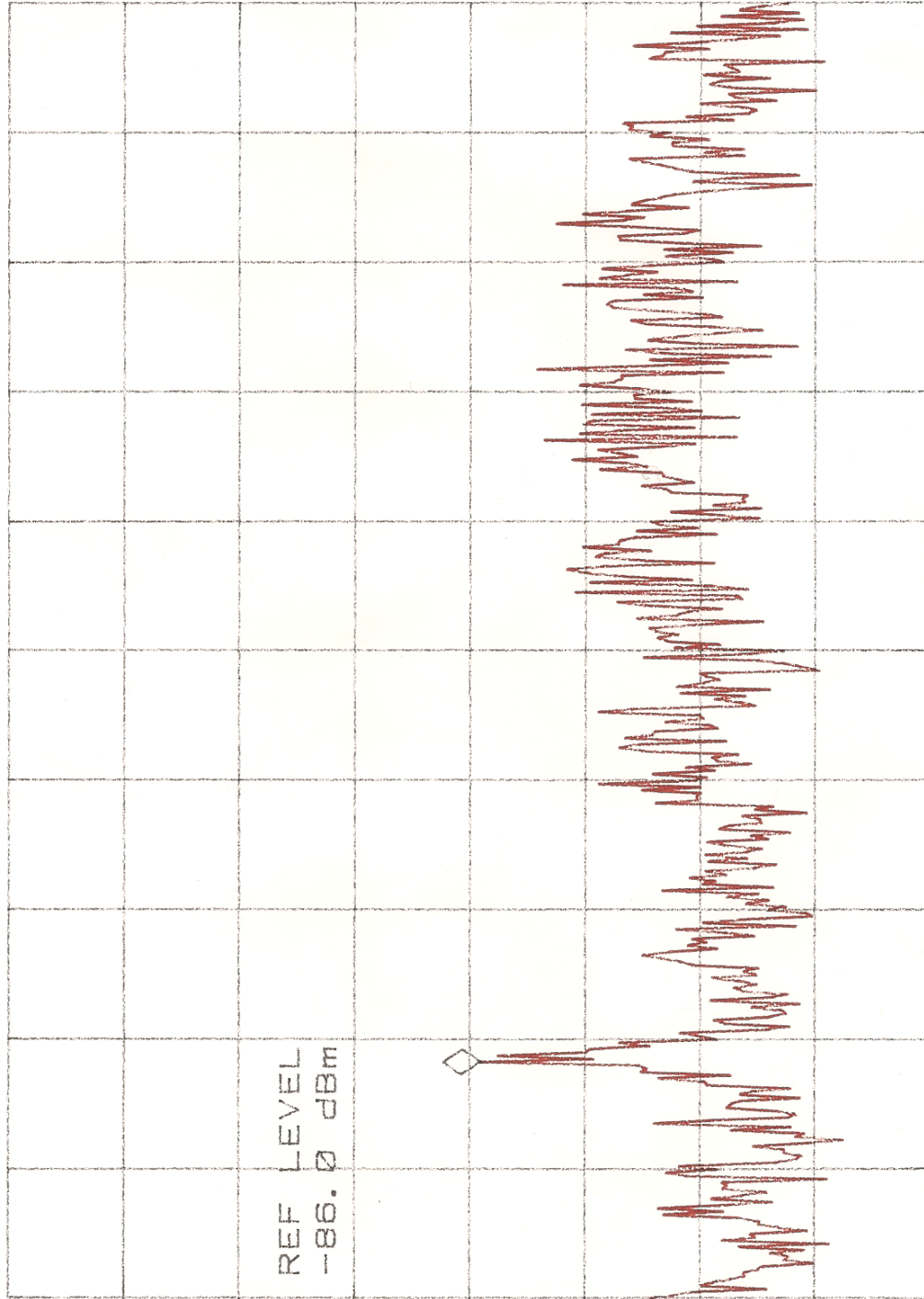
REF -86.0 dBm ATTN 10 dB

SMPL
LOG
2
dB/

REF LEVEL
-86.0 dBm

AVG
25

VA SB
FC
CORR



START 5.000 KHz
RES BW 10 KHz
STOP 500.0 KHz
SWP 30 msec