

IKKE LINEÆR DYNAMIK

Individuelt kursus
April - Maj 1994

Laboratoriet for Anvendt Matematisk Fysik
Institut for Matematisk Modellering

af

Preben Isaksen
C 878290

INDLEDNING.

Denne rapport falder i tre dele.

1. del omhandler en opsummering af forløbet af bifurkationsdiagrammet for cooperriders bogie ved høj hastighed præsenteret i mit eksamensprojekt. Yderligere underkastes de i mit eksamensprojekt undersøgte hastigheder en frekvensanalyse ved hjælp af FFT.
2. del omhandler bifurkationerne i hastighedsintervallet $111 \text{ m/s} < v < 115 \text{ m/s}$ for cooperriders bogie. Her påvises flere interessante hysterese-fænomener.
3. del viser begrebet 'følsomhed på begyndelsesbetingelserne' eksemplificeret ved rösslers system.

DEL 1

FORLØB AF BIFURKATIONS DIAGRAM

Opsummering af forløbet af bifurkationsdiagram for cooperriders bogie for hastigheder større end 203.32 m/s.

Figur 1.1 - 1.2 viser bifurkationsdiagrammet for een af de to asymmetriske løsninger, der er undersøgt i mit eksamensprojekt. På figurerne er indtegnet de undersøgte hastigheder, hvor løsningstypen er bestemt. Ligeledes er løsningstypen indtegnet.

Figur 1.3 er en forstørrelse af figur 1.2.

De viste løsninger er påvist i mit eksamensprojekt, hvor bifurkationstyperne ligeledes er diskuteret.

På figur 1.4 - 1.6 er forløbet af løsningstyperne omkring $v = 204.08$ m/s vist. Der ses tydelige periodedoblingsbifurkationer, om der er tale om en fuldstændig periodedoblingskaskade, kræver flere forstørrelser og udregning af Feigenbaums konstant. Bifurkationen ved $v = 204.0935$ m/s kan ikke bestemmes ud fra figur 1.6.

FREKVENSPANALYSE

Figur 1.7 viser den asymmetriske periodiske løsning umiddelbart inden bifurkationen til torus i et faseplot. Figuren bekræfter, at det er den stabile periodiske løsning de udregnede data viser, idet den består af godt 70 omgange. Ved frekvensanalyse er det meget vigtigt, at eventuelle transiente forløb er ophørt, således at kun frekvenser fra den stationære løsning undersøges.

Figur 1.8 viser frekvenserne i X_3 . Til fouriertransformationen er benyttet MATLABs FFT. Den mest dominerende frekvens ses, at være periodefrekvensen på knap 5 Hz.

Figur 1.9 viser den asymmetriske quasiperiodiske løsning umiddelbart efter bifurkationen.

Figur 1.10 viser frekvensspektret for X_3 .

Ud fra dette frekvensspektrum er det ikke muligt, at fastslå om der er tale om en løsning på en 2- eller 3-torus som diskuteret i mit eksamensprojekt.

Figur 1.11 - 1.22 viser frekvensspektrum for forskellige hastigheder, hvor løsningstype er påført. Bemærk figur 1.12 - 1.14 viser FFT(X_1, X_3, X_9).

Mest iøjenfaldende er figur 1.22 der viser frekvensspektret for den kaotiske løsning efter intermittens overgangen (dimensionen af attraktoren er over 3). Derimod er det ikke muligt at skelne de forskellige løsninger på figur 1.18 (kaos) og figur 1.19 (periode 66).

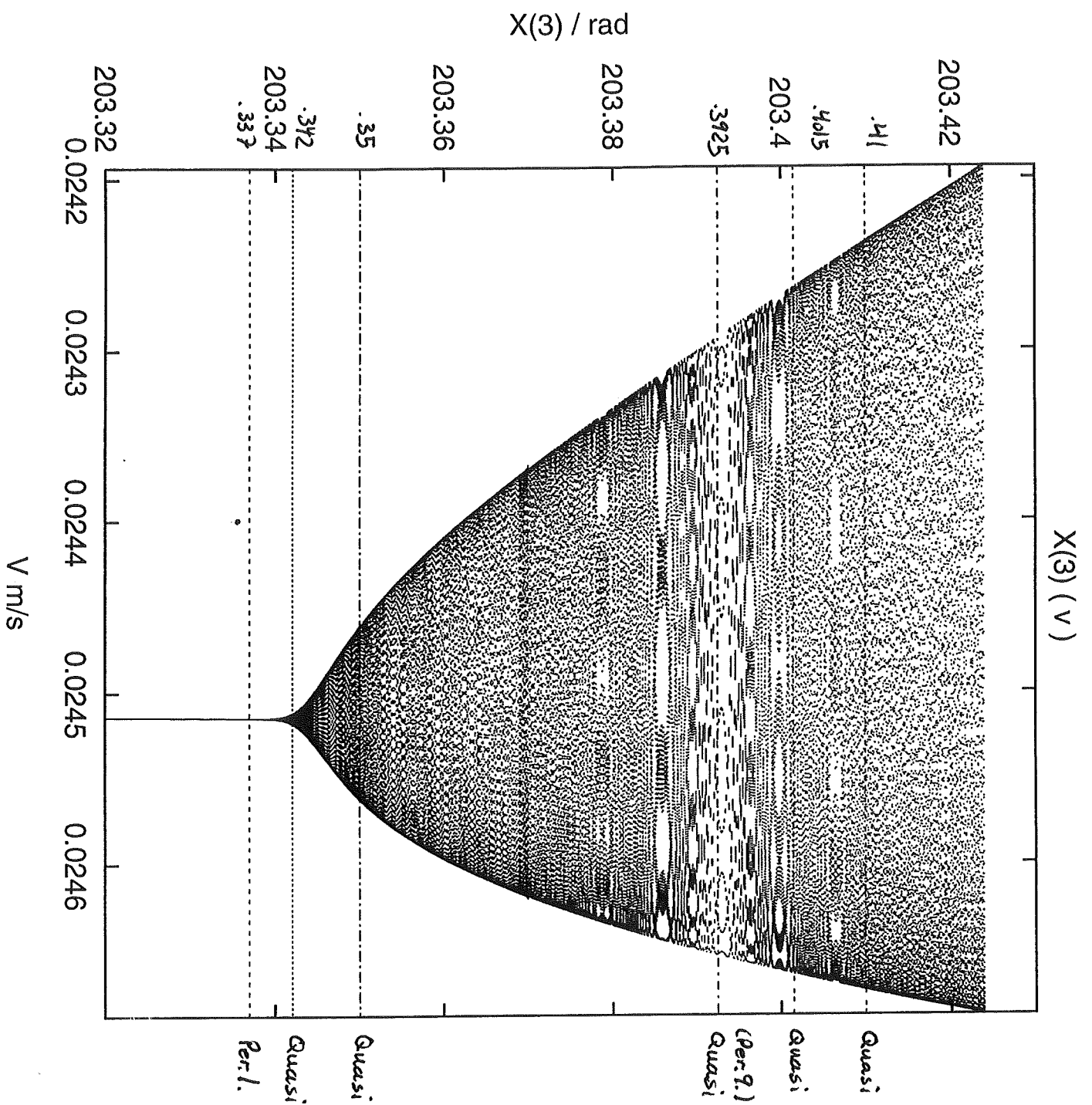
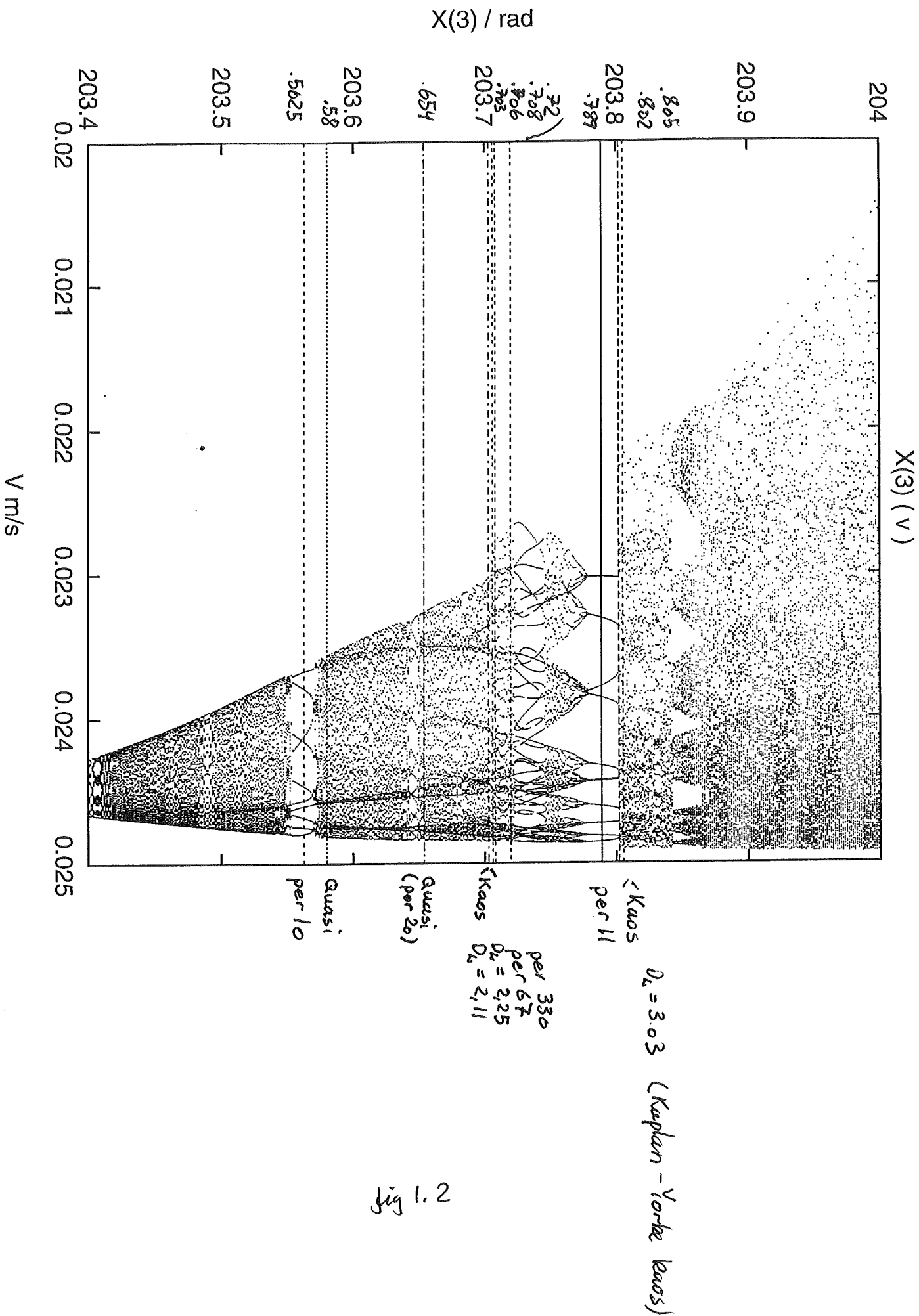


Fig 1.1



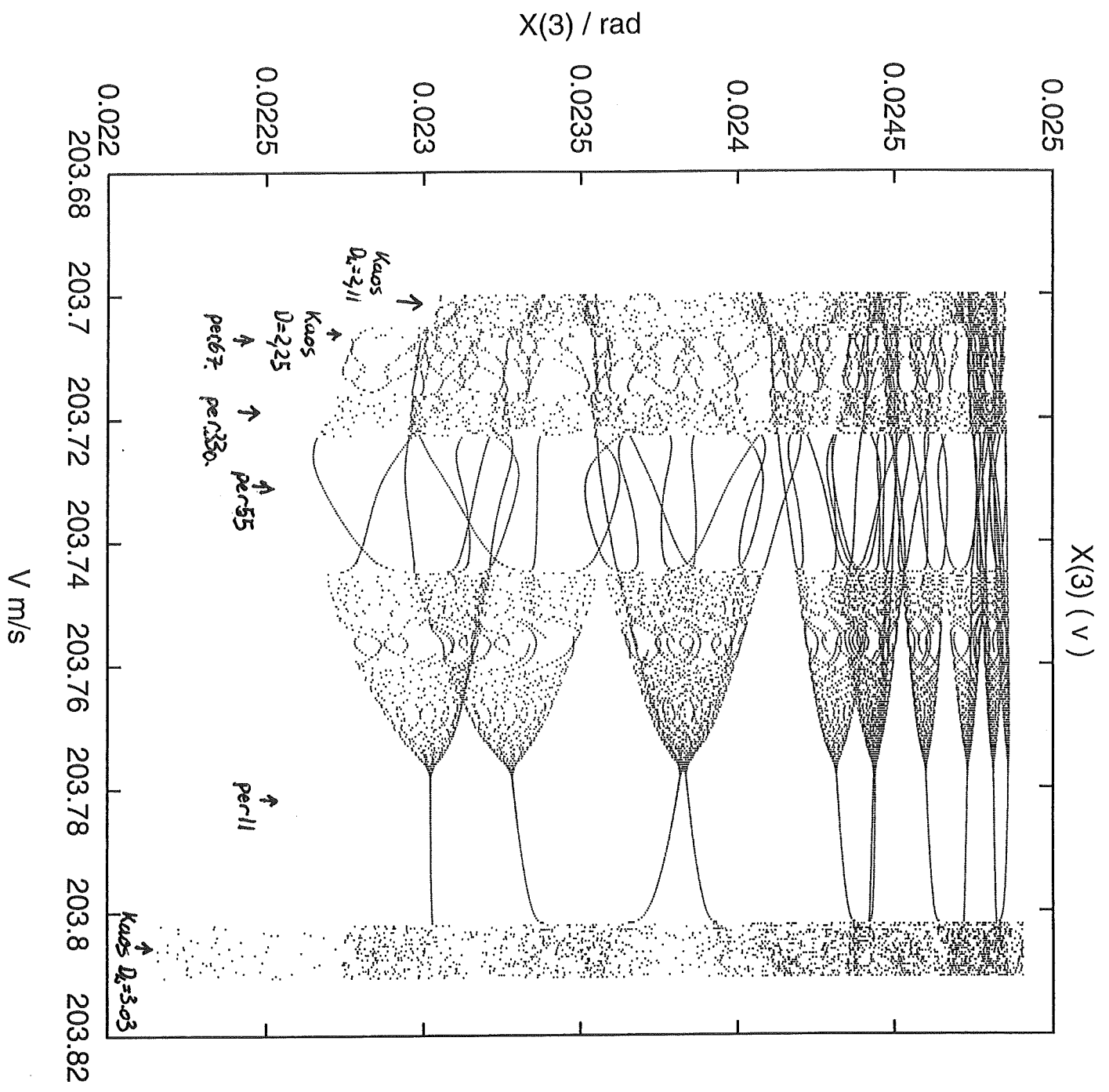


fig 1.3

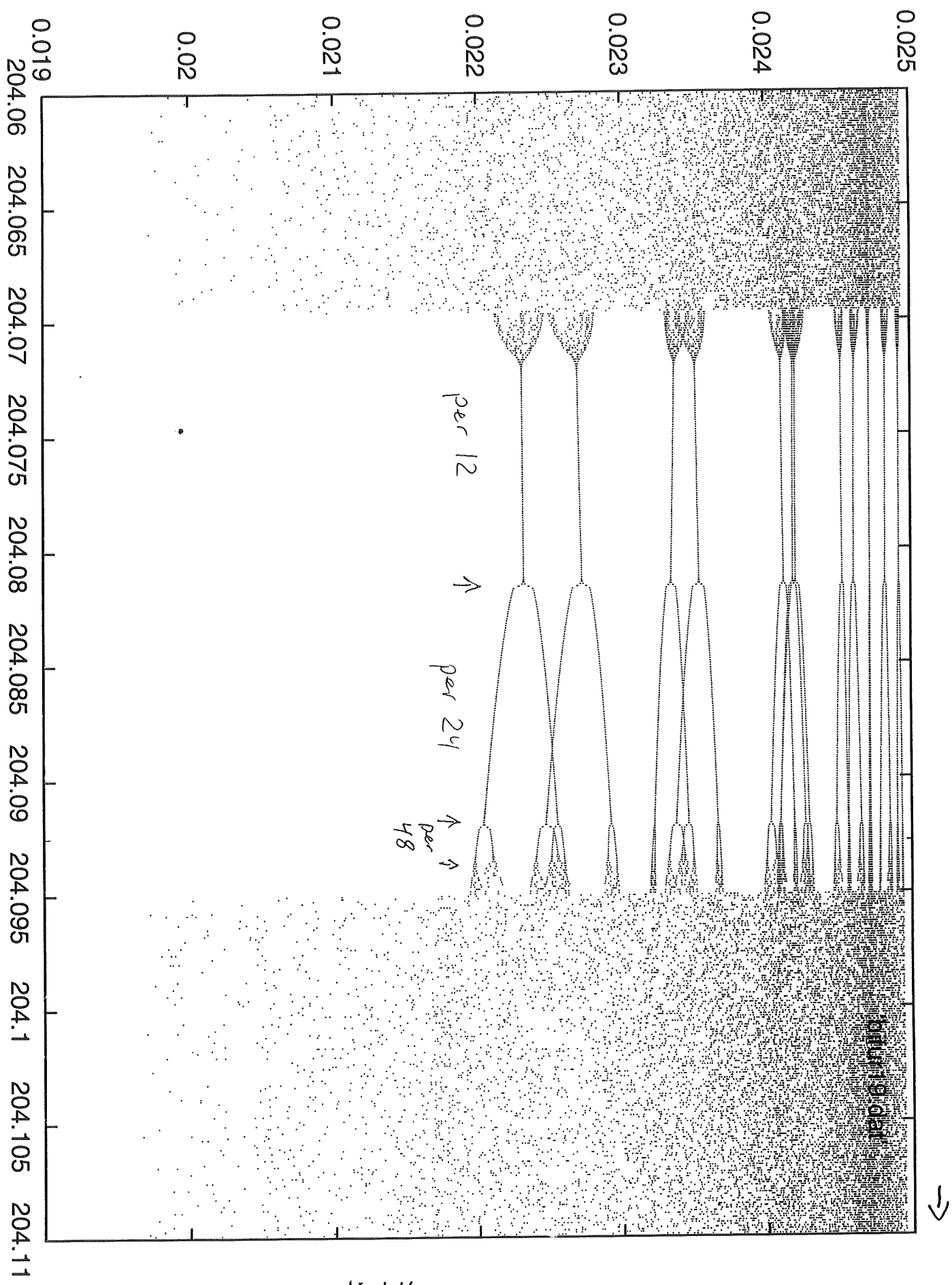


Fig 1.4

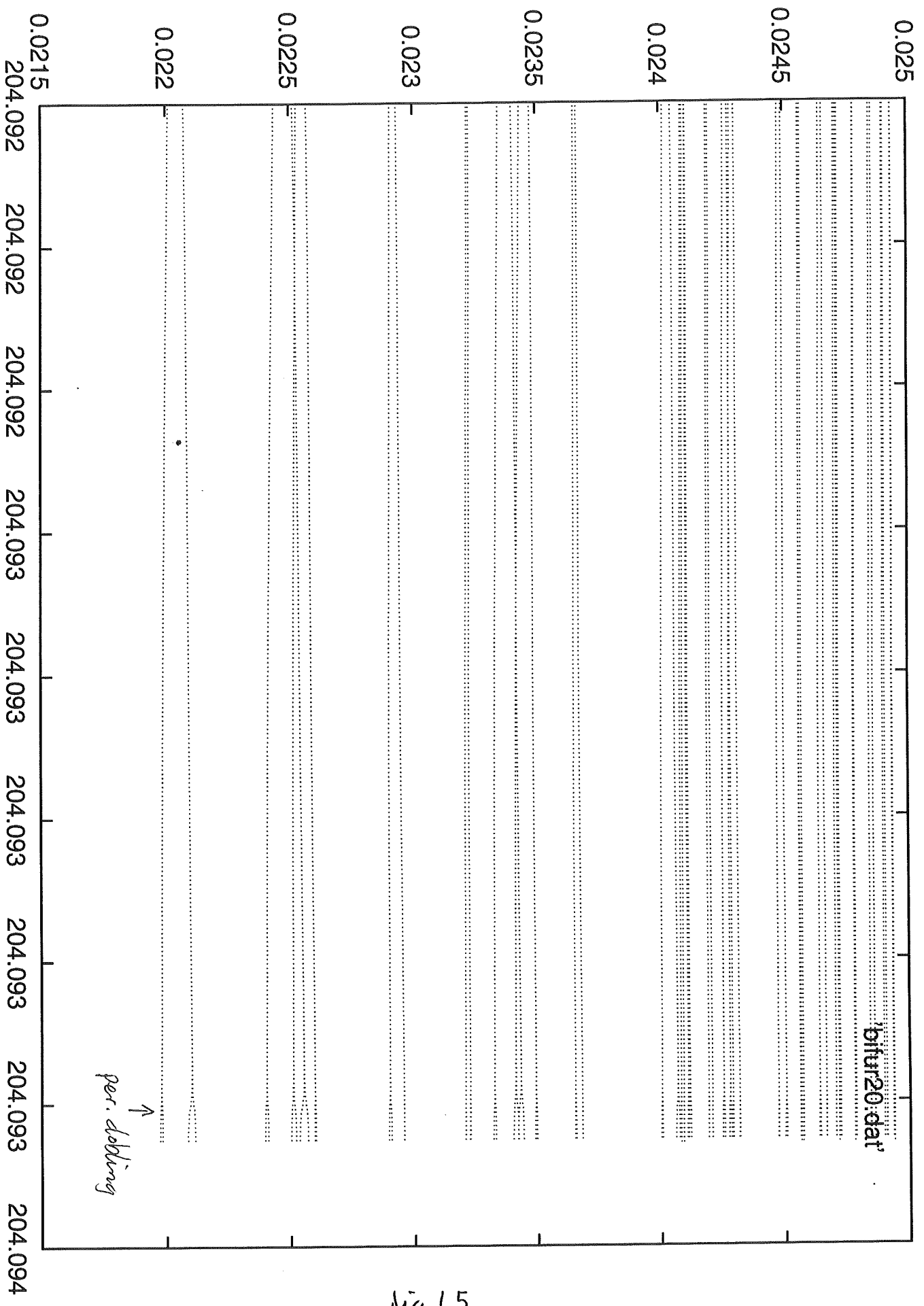


Fig 1.5

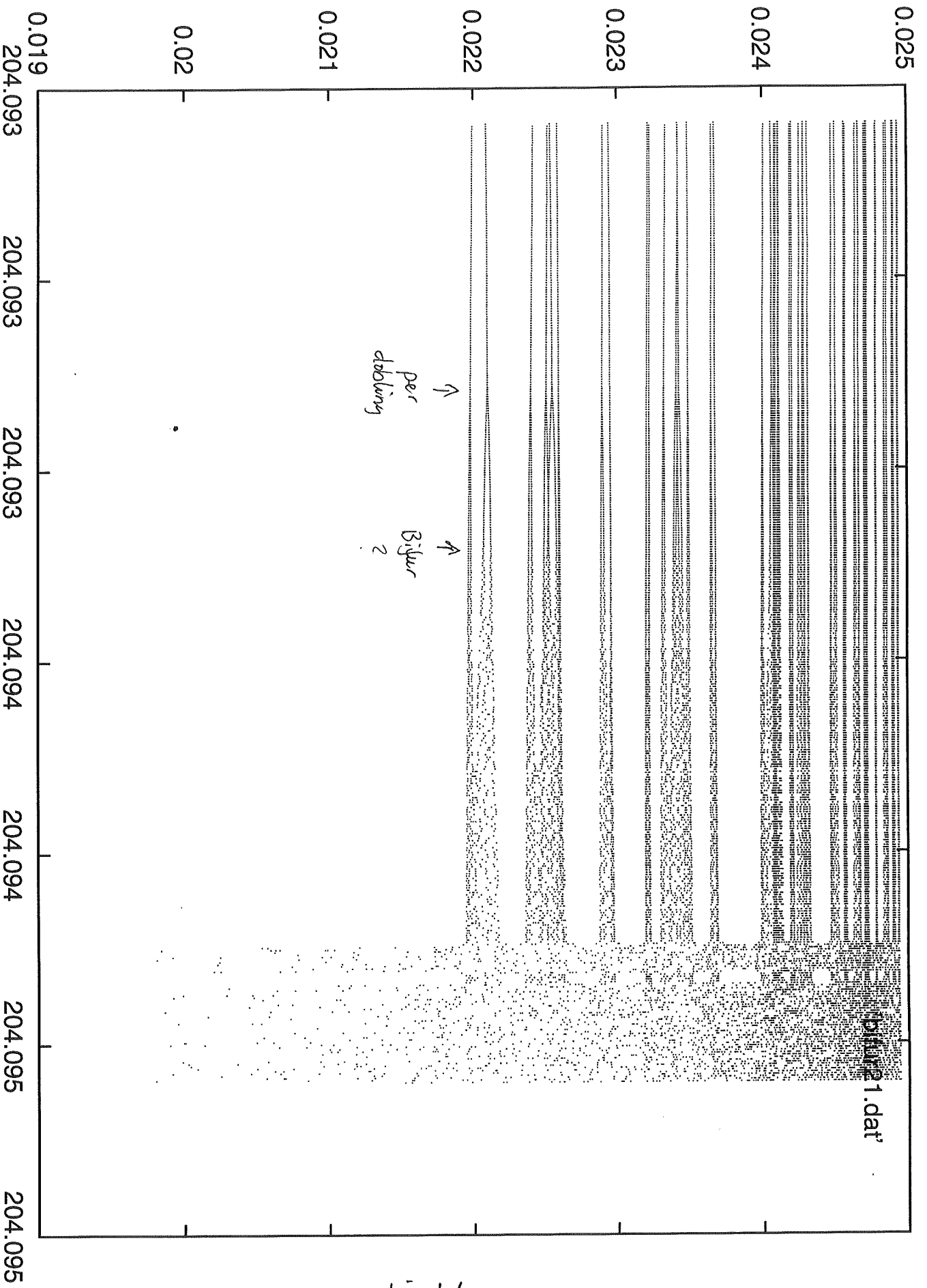
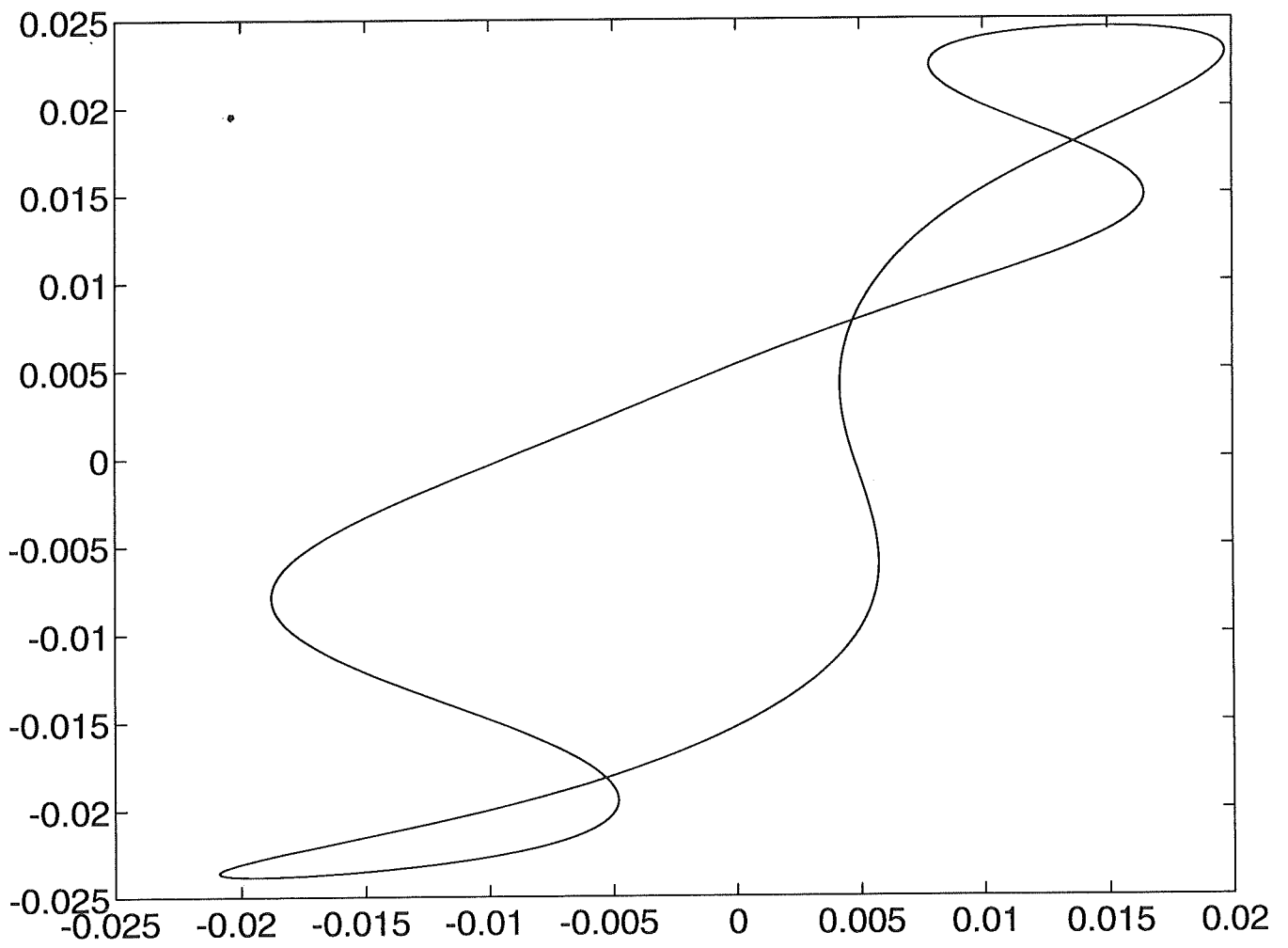


Fig 1.6



$v = 203.33 \text{ m/s}$ X3(X1)



$0 < t < 16,384 \text{ s.}$ per l.

fig. 1.7

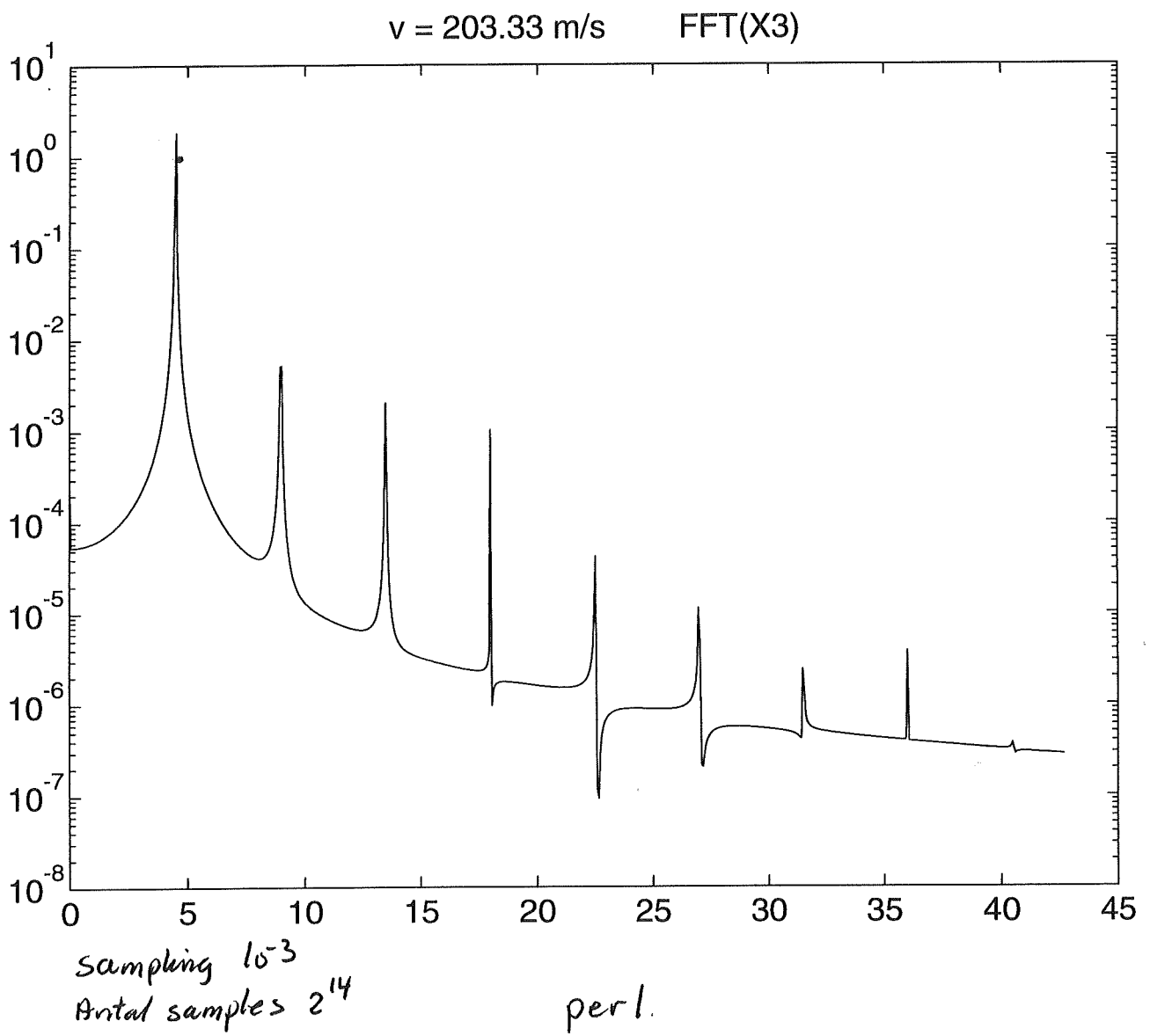
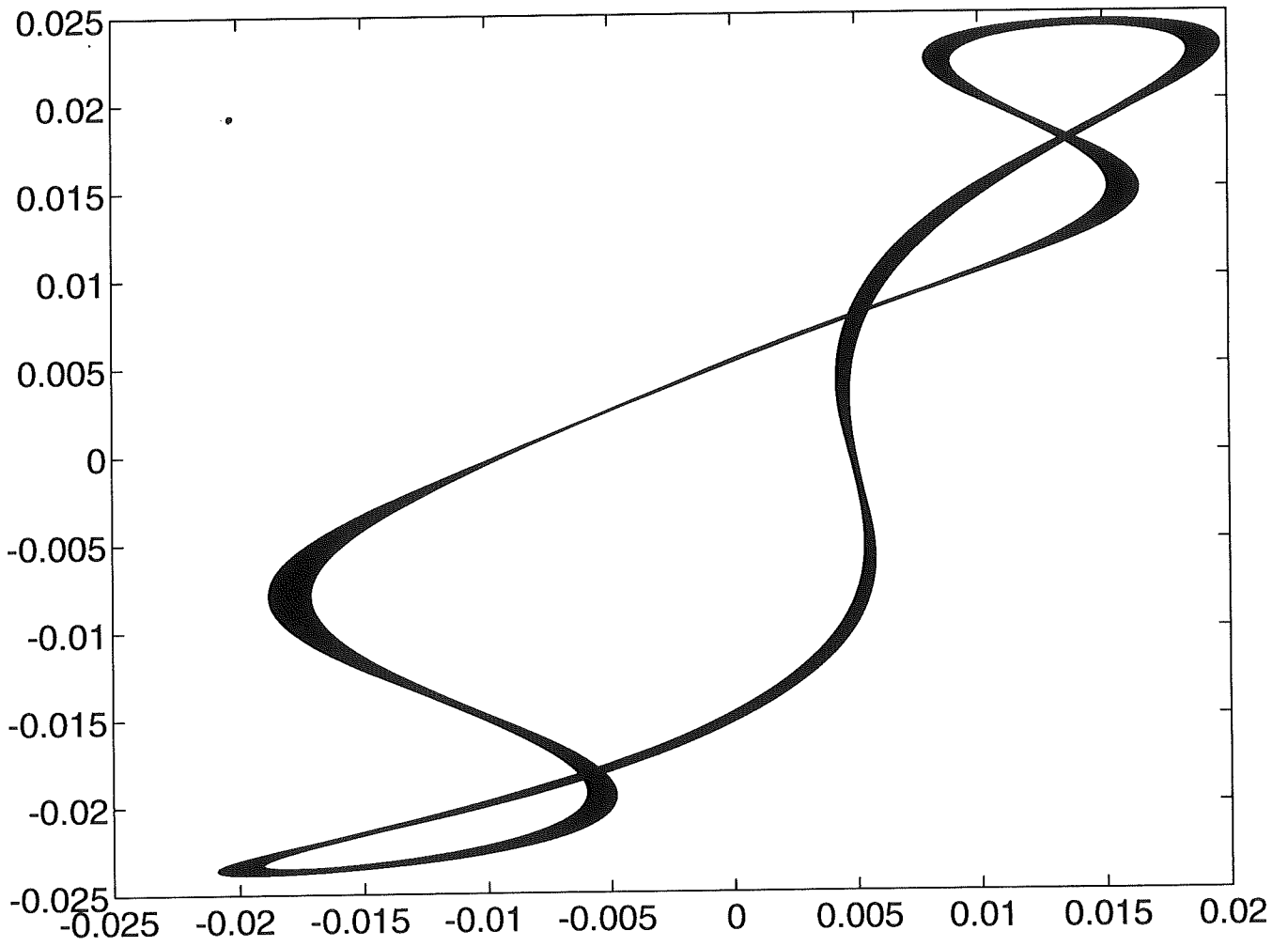


Fig. 1.8

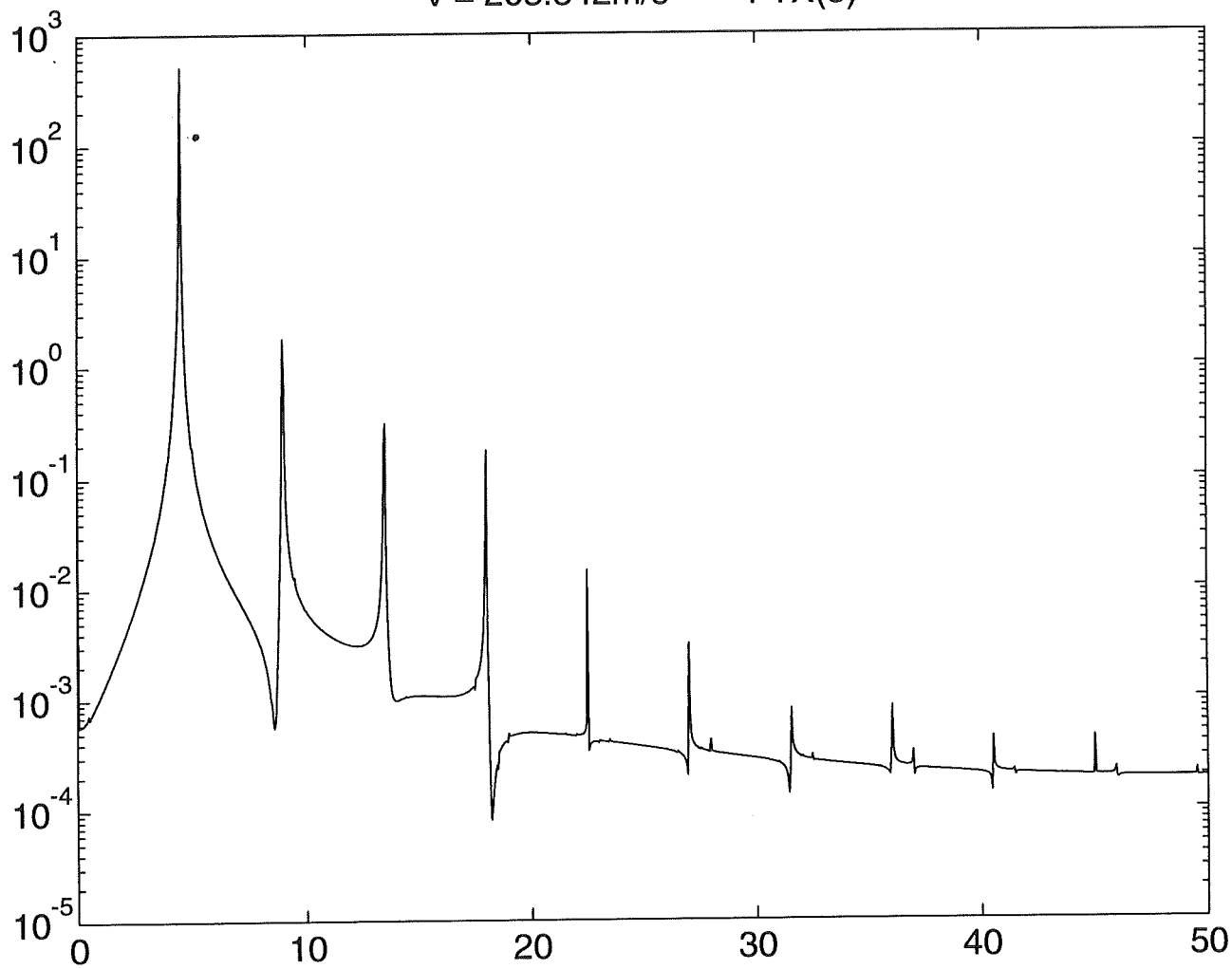
$v = 203.342 \text{ m/s}$ X3(X1)



Quasi

fig. 1.9

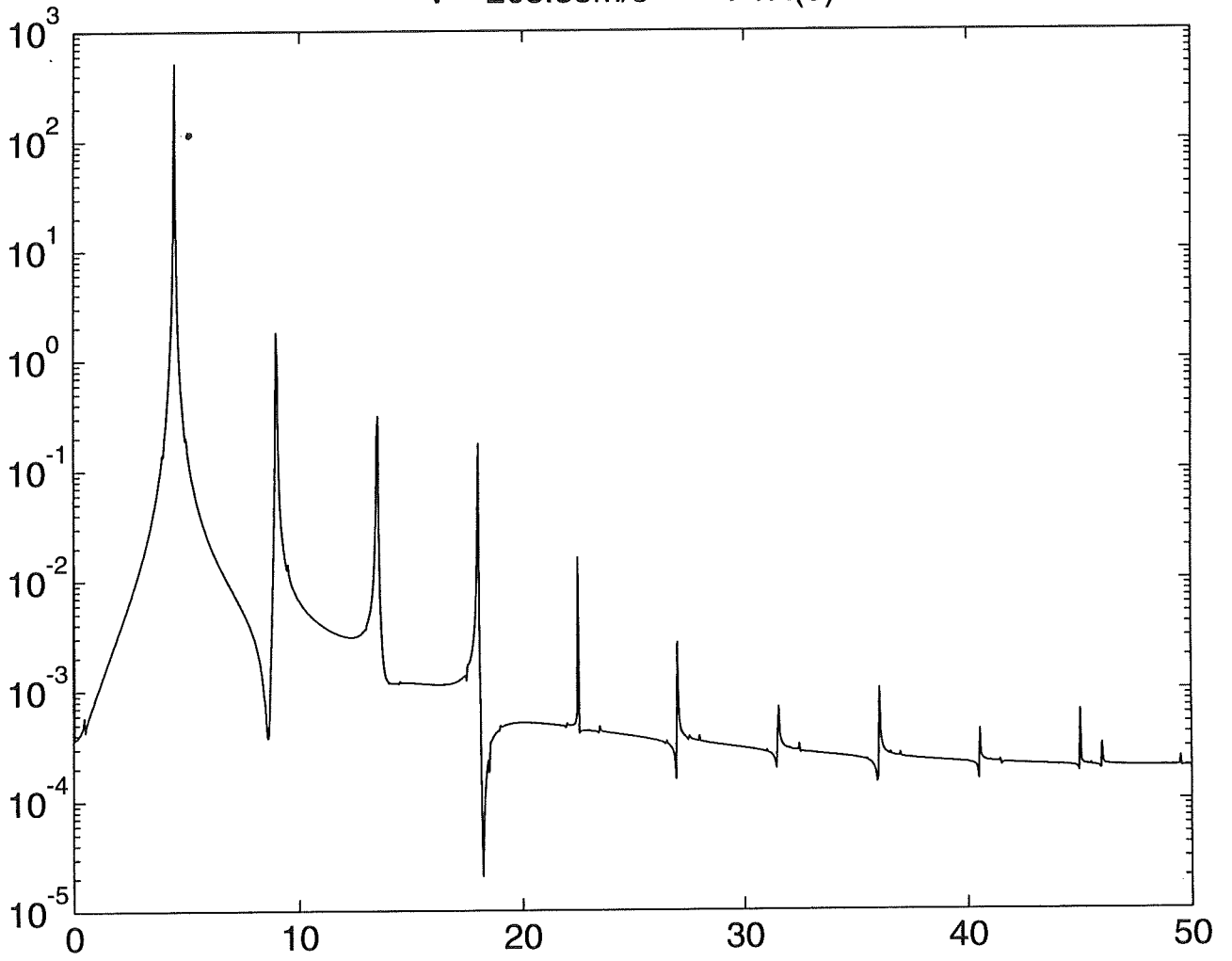
$v = 203.342\text{m/s}$ FTX(3)



Quasi

Fig 1.10

$v = 203.35\text{m/s}$ FTX(3)



Quasi

fig 1.11

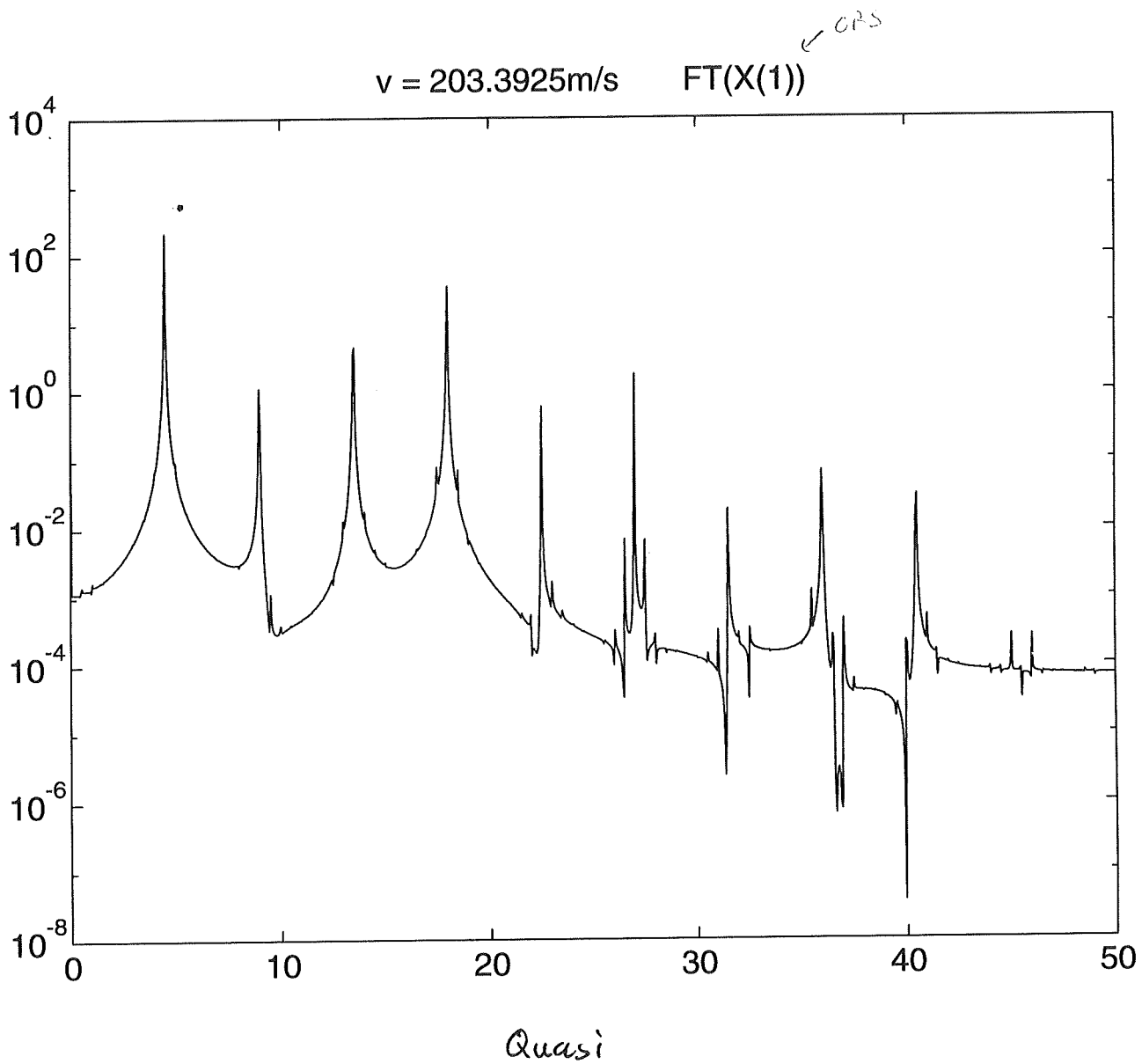
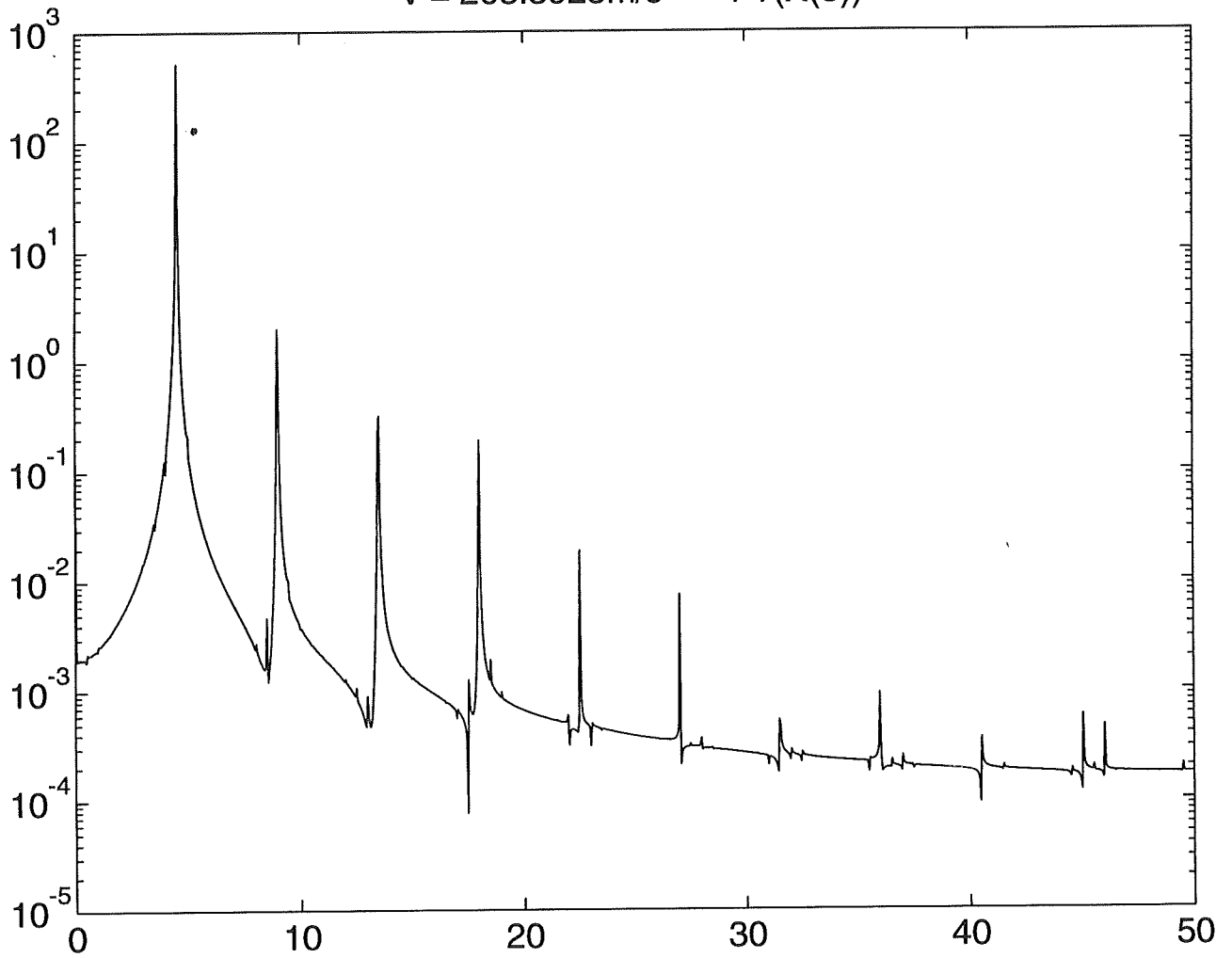


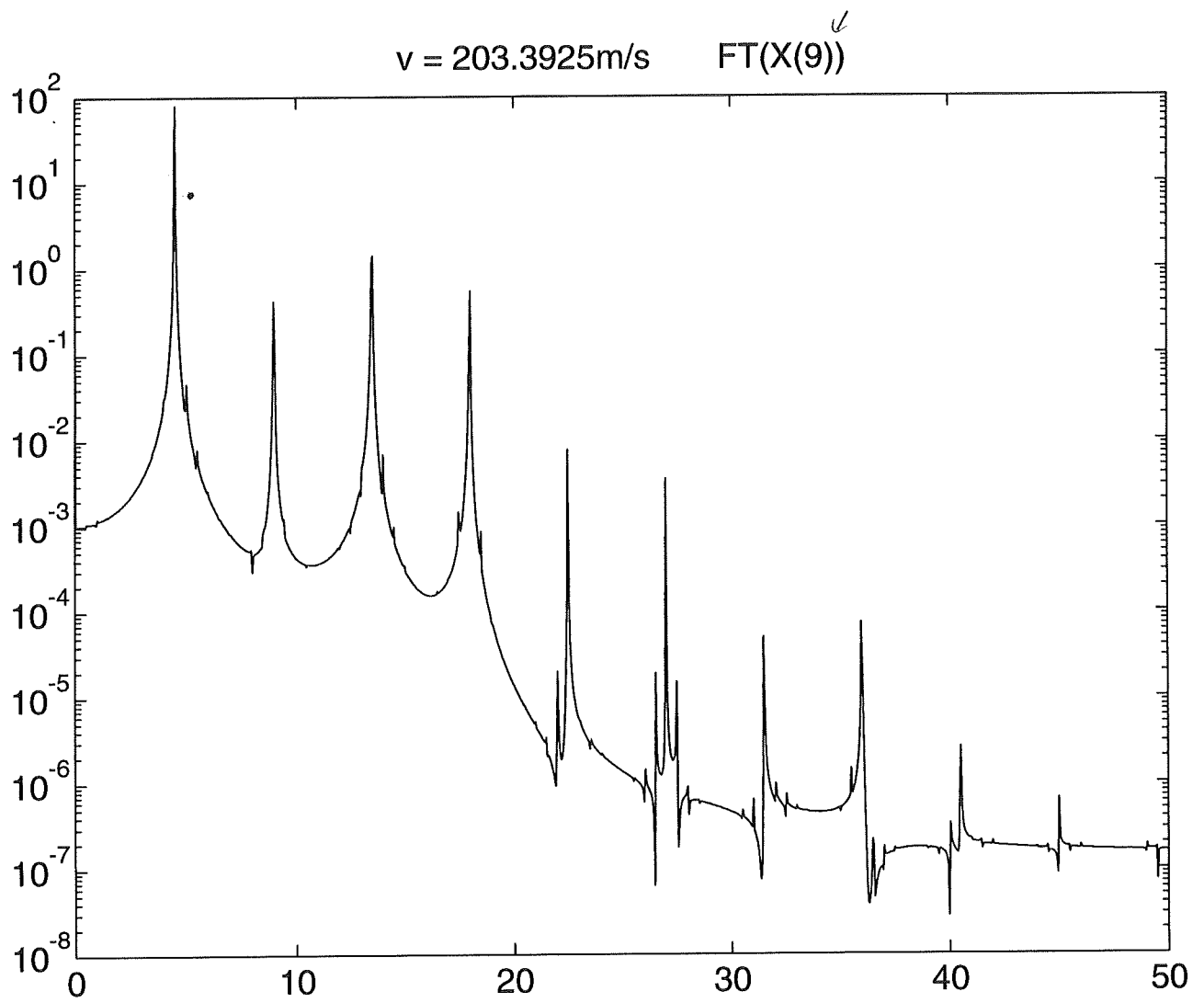
fig 1.12

$v = 203.3925\text{m/s}$ FT(X(3))



Quasi

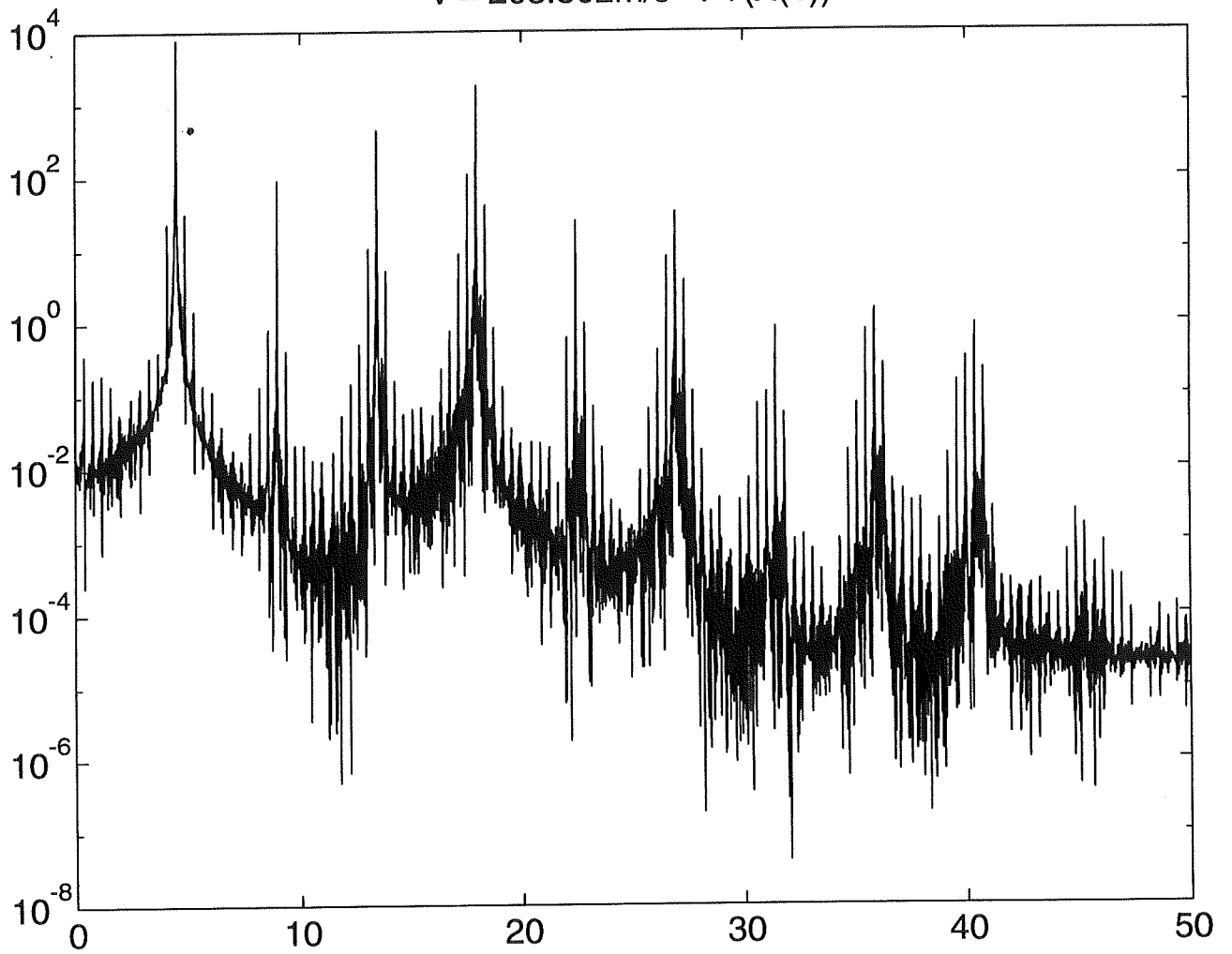
fig 1.13



Quasi

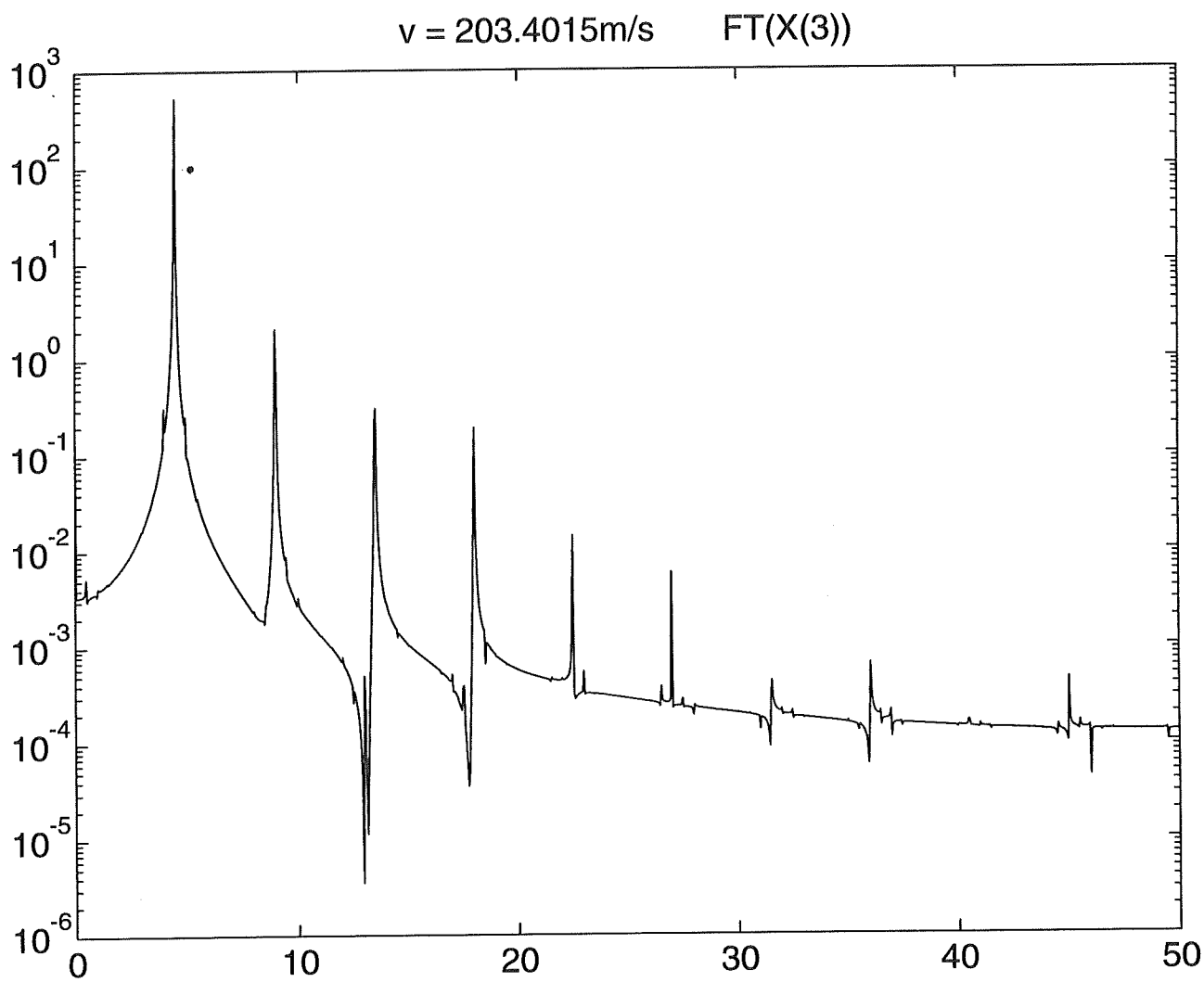
fig 1.14

$v = 203.802\text{m/s}$ FT(X(1))



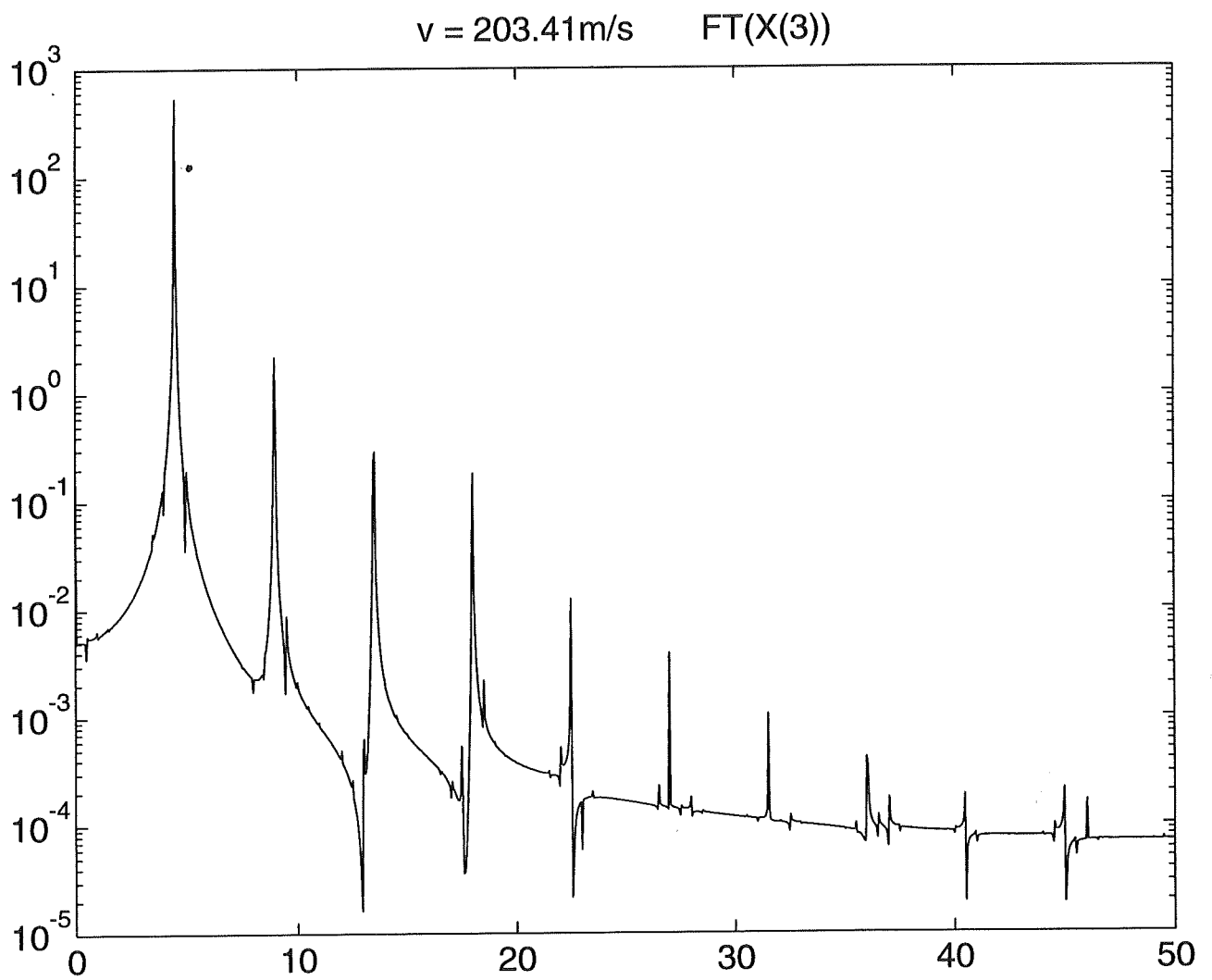
Kwos

Fig 1.22



Quasi

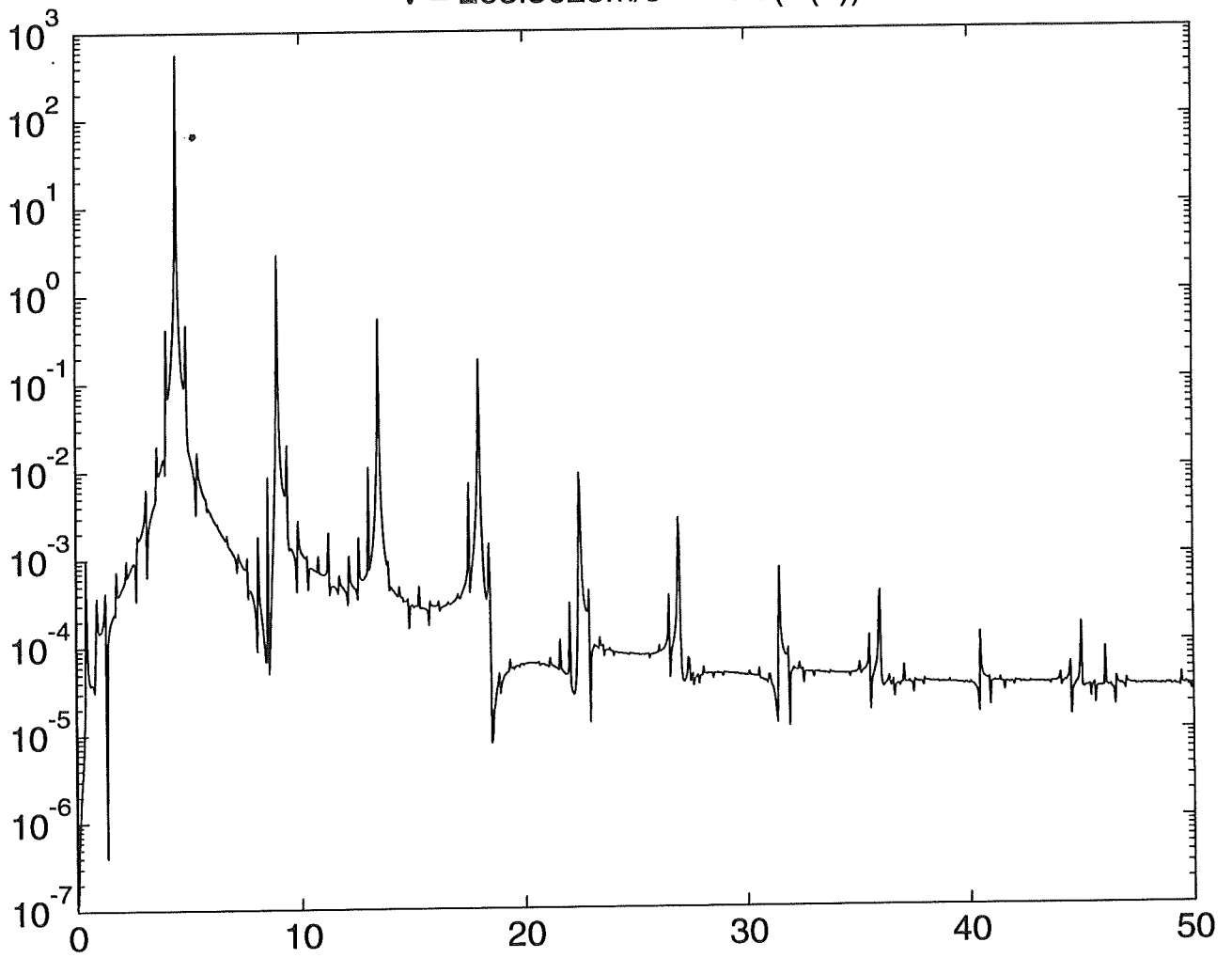
fig 1.15



Quasi

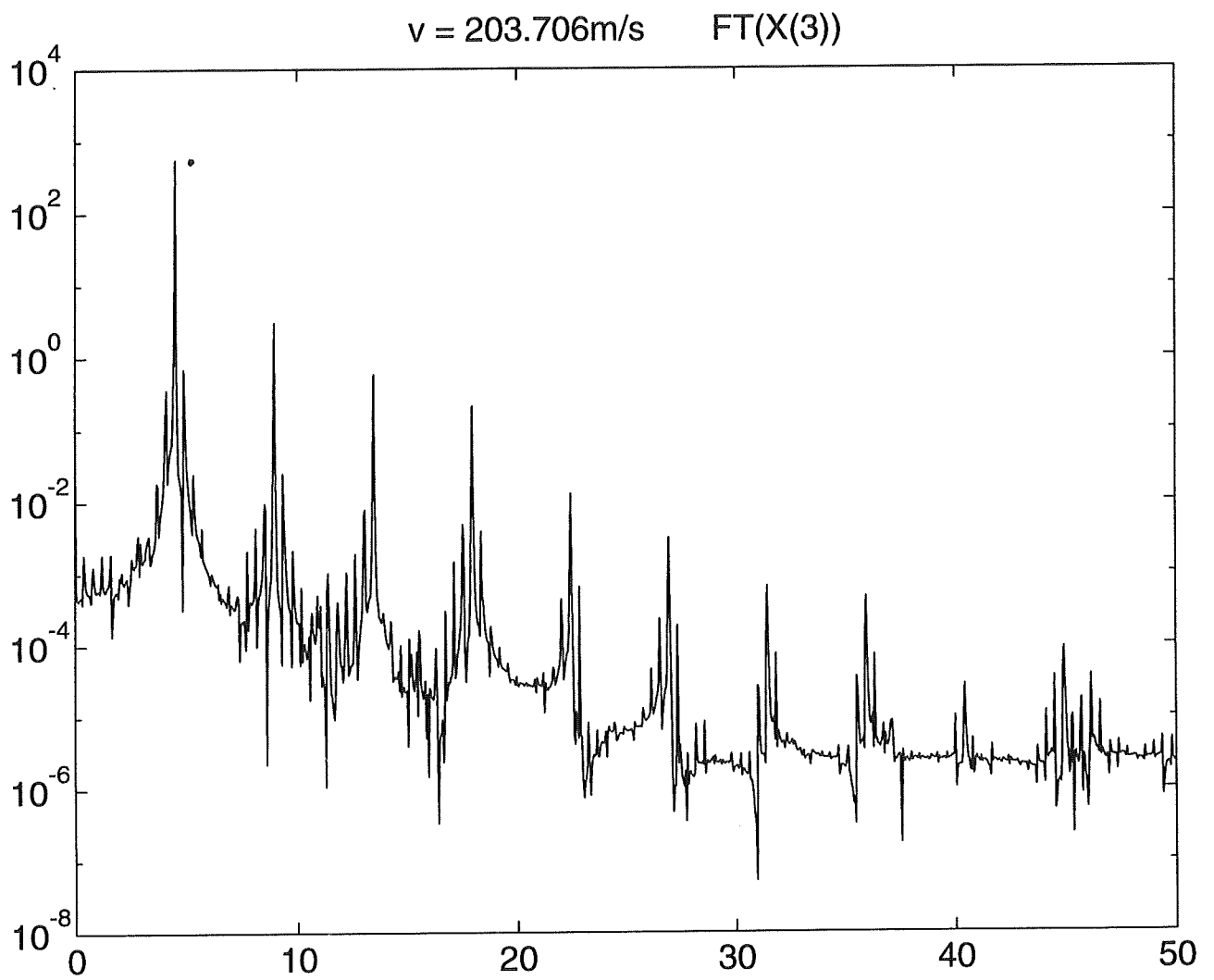
fig 1.16

$v = 203.5625\text{m/s}$ FT(X(3))



per lo

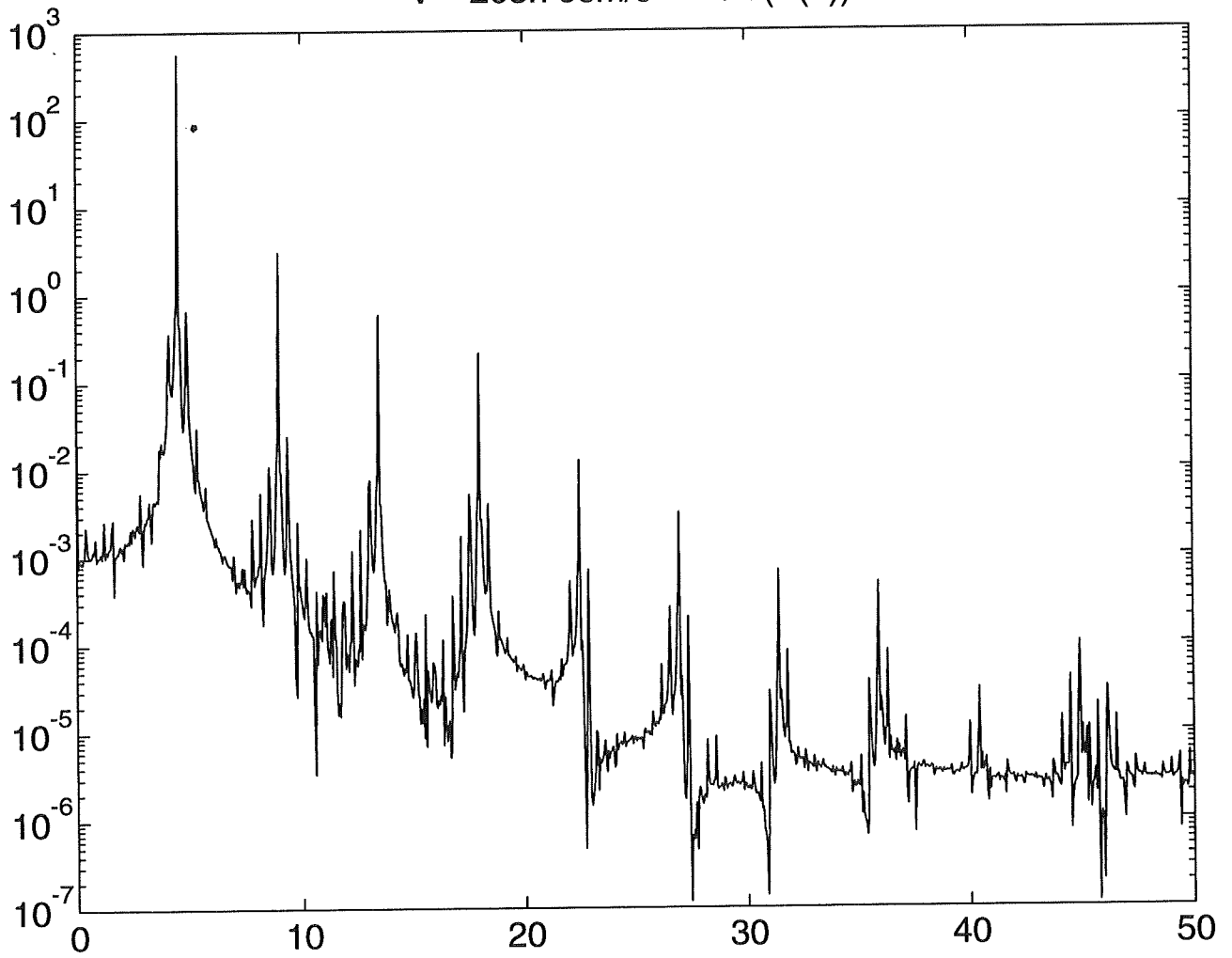
fig 1.17



Kaos.

fig 1.18

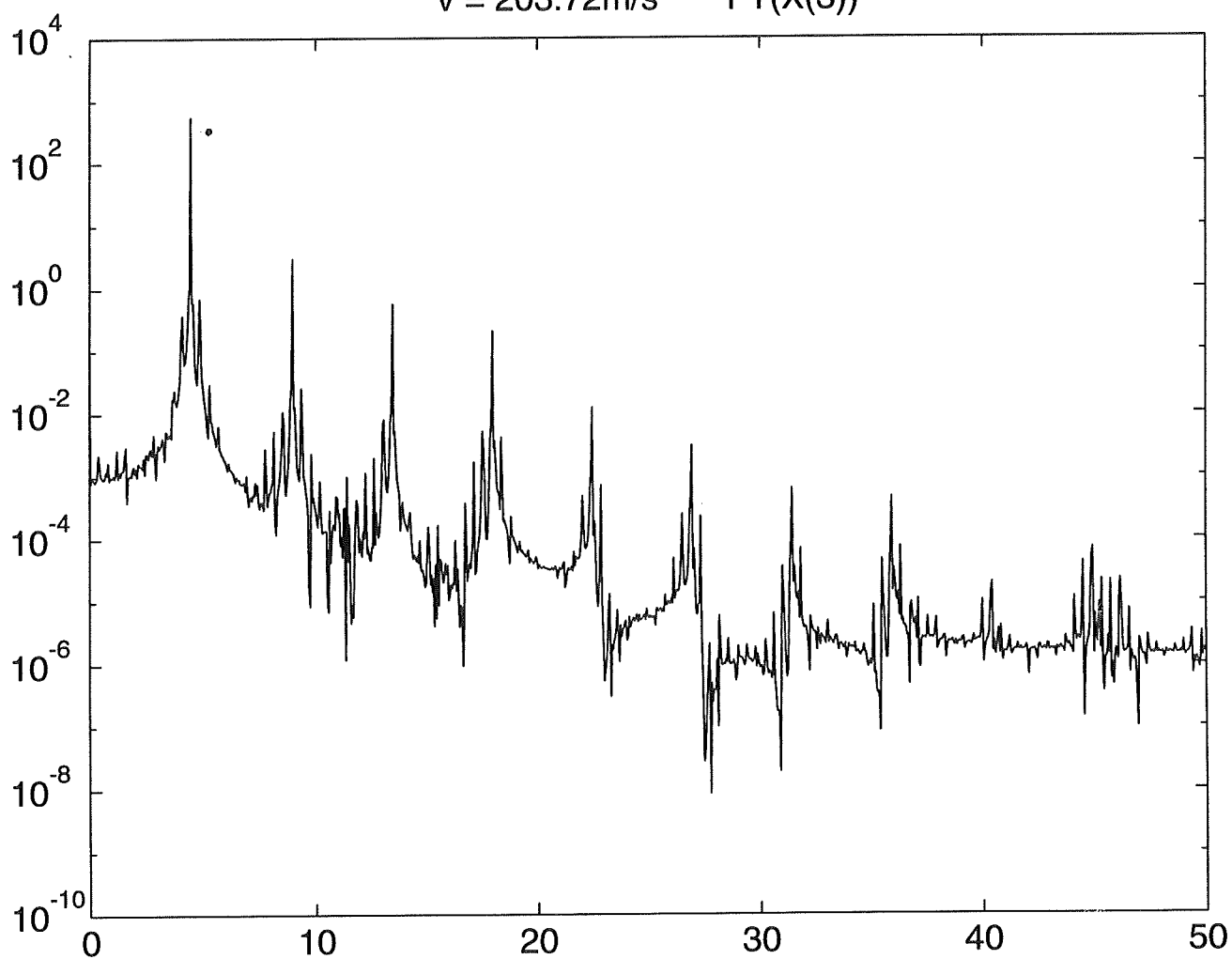
$v = 203.708\text{m/s}$ FT(X(3))



per 66

fig 1.19

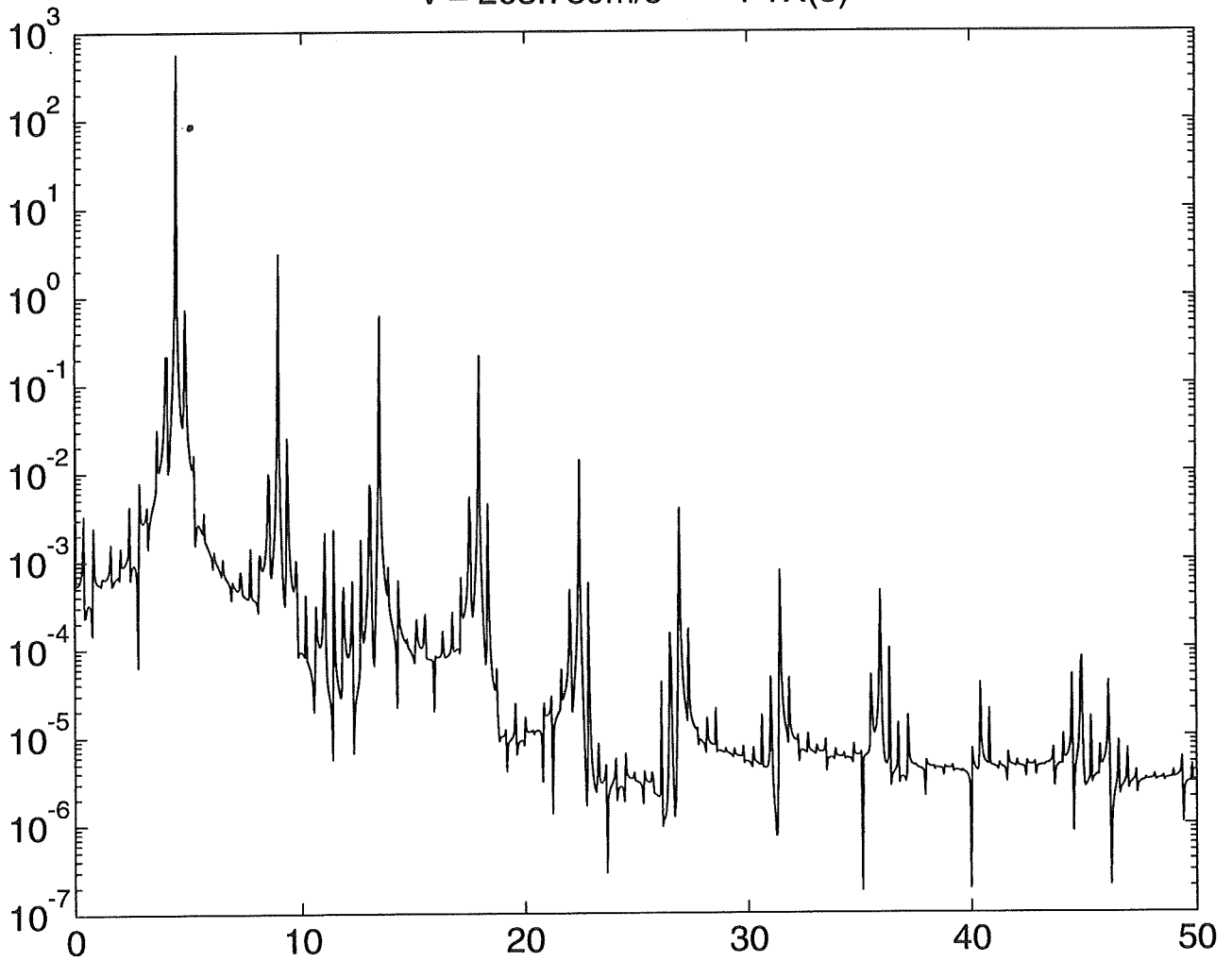
$v = 203.72\text{m/s}$ FT(X(3))



per 330

fig 1.20

$v = 203.789\text{m/s}$ FTX(3)



per 11

fig 1.21

Samp: 10^{-2}

2048 plot.

DEL 2

BIFURKATIONS DIAGRAM I HASTIGHEDSINTERVALLET $111 \text{ m/s} < v < 115 \text{ m/s}$

Ved at følge en af de asymmetriske periodiske løsninger for aftagende hastighed findes bifurkationsdiagrammet på figur 2.1. Den periodiske løsning ses at bifurkation ved 112.77 m/s . Ved hjælp af PATH bestemmes denne bifurkation til bifurkation til torus. PATH følger den nu ustabile periodiske løsning til $v = 110.066 \text{ m/s}$, hvorefter PATH må opgives at følge denne løsning for aftagende hastighed. Derimod begynder PATH, af sig selv, at følge løsningen 'tilbage' -altså for stigende hastighed, udskrift fra PATH vedlagt.

Bifurkationsdiagrammet på figur 2.1 er undersøgt nøjere.

På figur 2.2 er den quasiperiodiske fuldt for både aftagende og stigende hastighed. Ved aftagende hastighed eksisterer løsningen til $v = 111.603 \text{ m/s}$, og for stigende hastighed eksisterer løsningen til $v = 113.15 \text{ m/s}$. Bemærk hysteresefænomenet i hastighedsintervallet $112.77 \text{ m/s} < v < 113.15 \text{ m/s}$.

Ved $v = 112.5 \text{ m/s}$ ændrer løsningen karakter og i mit eksamensprojekt er det vist, at løsninger ved $v = 112.154 \text{ m/s}$ er kaotisk.

Figur 2.3 - 2.7 viser bifurkationsdiagrammet på figur 2.2 i forstørrede uddrag. Pile angiver om diagrammerne er udregnet for voksende eller aftagende hastighed.

Bemærk figur 2.3 der viser, at der er et periodisk vindue med periode 1 ved $v = 112.88 \text{ m/s}$

Bemærk figur 2.7 der viser, hvorledes attraktoren forsvinder ved $v = 111.603 \text{ m/s}$. Der findes en periodisk løsning, der vokser (hurtigt) op fra den symmetriske løsning. Figur 2.8 viser afslutningen af den anden tilhørende asymmetriske løsning som figur 2.6. Figurene er skaleret ens på den vertikale akse, og der ses tydelig forskel i intervallet som X_3 bevæger sig i. Desværre er opløsningen på figur 2.8 ikke fin nok til tydeligt at vise, hvorledes denne attraktor afsluttes i en periodisk løsning.

For at bekræfte eksistensen af den aperiodiske løsning ved hastigheder højere end $v = 112.77 \text{ m/s}$ er dette undersøgt nærmere. Figur 2.9 viser et forløb af løsningen. Der er benyttet begyndelsesbetingelser fra figur 2.3, og herefter er der integreret et forløb på 5000s før figuren generes, dette svarer til godt 22500 gange den karakteristiske periode. Hermed er hysteresefænomenet påvist. Figur 2.10 - 2.12 viser tidsserier af X_1 , X_3 og X_9 og figur 2.13 - 2.15 de tilhørende frekvensspektra for $v = 113.10 \text{ m/s}$. Som tidligere nævnt er det svært at bestemme typen af den aperiodiske løsning.

Figur 2.16 viser et overordnet billede af de forskellige løsninger i det undersøgte hastighedsinterval. Det bemærkes, at den symmetriske løsning eksisterer (næsten) helt op til 115 m/s , hvormed endnu et hysteresefænomen vises. Figuren viser, hvorledes de to asymmetriske løsninger vokser ud af den aperiodiske attraktor. Det skal dog nævnes, at kun den tilhørende aperiodiske attraktor for den 'nederste' asymmetriske periodiske løsning er medtaget.

Forløbet af de to asymmetriske periodiske løsninger er vist på figur 2.17. Det ses, at der for den 'nederste' løsning sker et 'spring' ved $v = 118 \text{ m/s}$. Figur 2.18 viser dette forløb forstørret.

Figur 2.19, der viser en tidsserie af løsningen, forklarer disse 'spring'. Poincaré Planen er bestemt af maksimum af X_3 , men figur 2.19 viser at X_3 har tre lokale ekstrema per periode. Det benyttede program vælger ikke det samme ekstremum, hver gang

Poincaré Planen der fastlægges, skifter mellem de tre ekstrema i den positive halvperiode. Dette kunne undgås ved at vælge en mindre integrations skridt længde, med flere integrationskald til følge. Dette ville forøge den nødvendige regnetid.

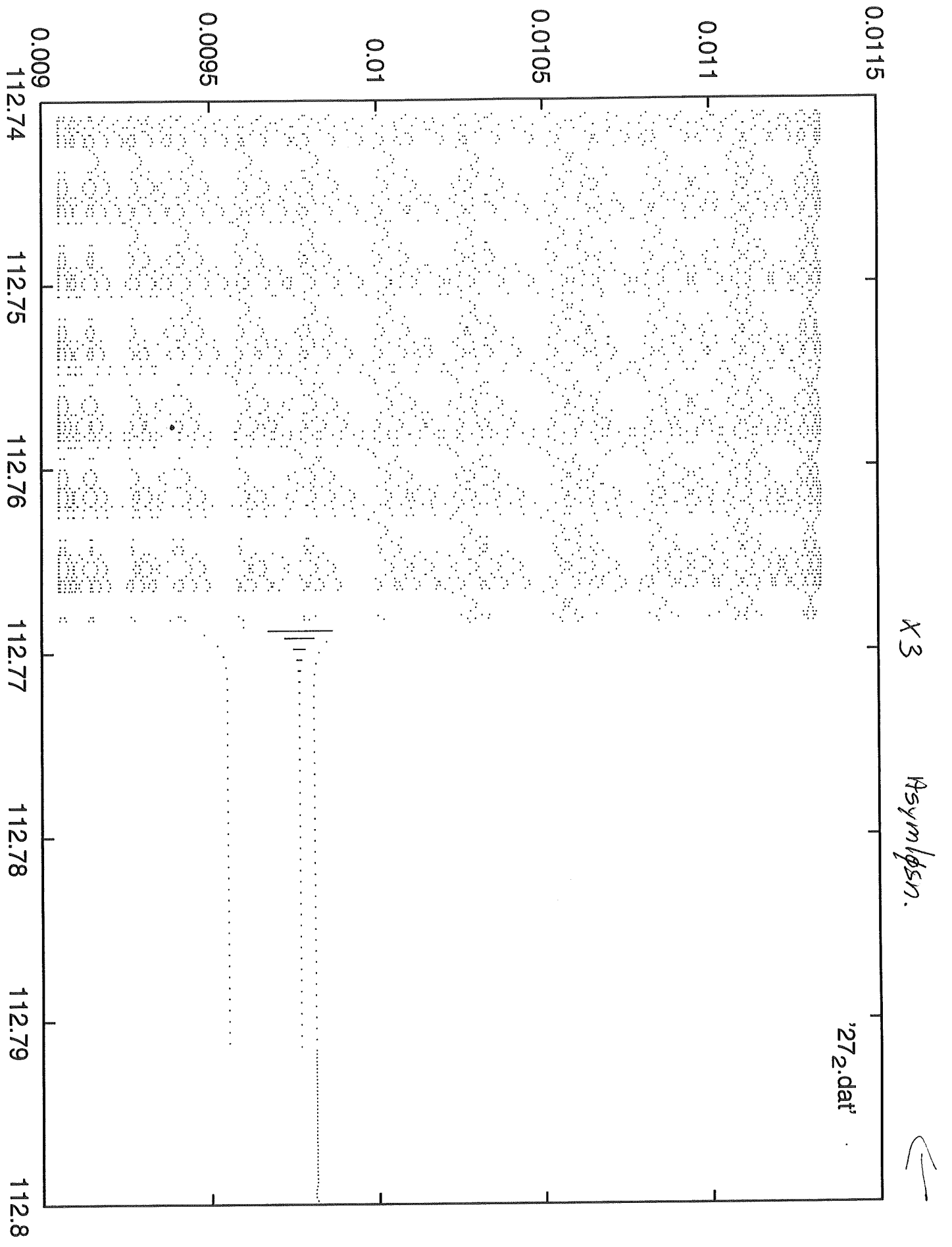


Fig 2.1

Udskrift fra PATH.

Asymmetrisk periodisk loesning foelges for aftagende hastighed.

PROGRAM: CXBOG
WHEEL-RAIL FORCE: JOHNSON
WITH FLANGE CONTACT

PATH	N	INP	JCASE	JSTOP	JBIF	IJAC	IW
	14	0	2	0	0	2	1500

** ZPAR	** EPSZ	HZ	ITZ
	.1000D-07	.1000D-04	50

** GPAR	** EPSG	HG	ITG
	.1000D-06	.1000D-03	50

** PPAR	** HMIN	HP	HMAX	FACINC	FACDEC	ITP
	.1000D-05	.1000D-01	.5000D+01	.1250D+01	.2500D+00	50

** EQSOL	** IODE	LRW	TOL
	2	400	.1000D-08

** PMAPC	** EPSR	HR	ITR
	.1000D-08	.1000D-03	50

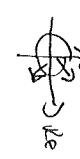
PATH	ISTEP	NITZ	ITRED	NITG	HP
	0	2	0	2063824544	.1000D-01

X=STATES	C=PARAMETERS	EIGENVALUES	MOD
X(1) =	.1330701786122242D-01	LAMDAC(1) = .3222D-01	.6
X(2) =	.4163407681224561D+00	LAMDAC(2) = .3222D-01	.6
X(3) =	.9762100648635546D-02	LAMDAC(3) = .7745D-01	.8
X(4) =	.8982550840707064D-02	LAMDAC(4) = .7745D-01	.8
X(5) =	-.8516698443510033D-02	LAMDAC(5) = -.1267D+00	.1
X(6) =	.2923229952292408D+00	LAMDAC(6) = -.1267D+00	.1
X(7) =	.1210992478992340D-01	LAMDAC(7) = -.1895D+00	.1
X(8) =	.1568166666233842D+00	LAMDAC(8) = -.4392D+00	.4
X(9) =	-.8416020854512411D-03	LAMDAC(9) = -.4392D+00	.4
X(10) =	.4571454776280066D+00	LAMDAC(10) = .4842D+00	.4
X(11) =	.9519521042265142D-02	LAMDAC(11) = .5810D+00	.5
X(12) =	.1103676506696910D+00	LAMDAC(12) = .9235D+00	.9
X(13) =	.3943582278105396D-02	LAMDAC(13) = .9235D+00	.9
X(14) =	.3015820088892912D+00		
C(1) =	.1128000000000000D+03		
C(2) =	.0000000000000000D+00		
TER	.223220947813415D+00		

BIFUR

NUMBER OF ITERATIONS USED IN METHOD OF FALSE POSITION 13

X=STATES	C=PARAMETERS	EIGENVALUES	MOD
X(1) =	.1330994730456827D-01	LAMDAC(1) = .3232D-01	.6
X(2) =	.4165306382665261D+00	LAMDAC(2) = .3232D-01	.6
X(3) =	.9759827529652933D-02	LAMDAC(3) = .7776D-01	.8
X(4) =	.877318872344718D-02	LAMDAC(4) = .7776D-01	.8
X(5) =	-.8501436996917286D-02	LAMDAC(5) = -.1265D+00	.1
X(6) =	.2928864270317725D+00	LAMDAC(6) = -.1265D+00	.1
X(7) =	.1210913005938701D-01	LAMDAC(7) = -.1893D+00	.4
X(8) =	.1565359231219481D+00	LAMDAC(8) = -.4391D+00	.4
X(9) =	-.8278794454912954D-03	LAMDAC(9) = -.4391D+00	.4
X(10) =	.4571842401926692D+00	LAMDAC(10) = .4842D+00	.4
X(11) =	.9519102404393879D-02	LAMDAC(11) = .5842D+00	.5
X(12) =	.1103090497933148D+00	LAMDAC(12) = .9251D+00	.9
X(13) =	.3949815759784064D-02	LAMDAC(13) = .9251D+00	.9
X(14) =	.3019113899739284D+00		
C(1) =	.1127637162277087D+03		
C(2) =	.0000000000000000D+00		
TER	.2231922218118127D+00		



NORMAL OF PLANE	TANGENT OF PATH	VECTOR ACROSS
NP(1) = .7308D-02	TP(1) = .8066D-04	TL(1) = .0000D+00
NP(2) = -.9505D+00	TP(2) = .5229D-02	TL(2) = .0000D+00
NP(3) = .1553D-03	TP(3) = -.6265D-04	TL(3) = .0000D+00
NP(4) = -.1164D+00	TP(4) = -.5769D-02	TL(4) = .0000D+00
NP(5) = .5136D-02	TP(5) = .4204D-03	TL(5) = .0000D+00
NP(6) = .2026D+00	TP(6) = .1552D-01	TL(6) = .0000D+00
NP(7) = .2749D-02	TP(7) = -.2193D-04	TL(7) = .0000D+00
NP(8) = -.1907D+00	TP(8) = -.7734D-02	TL(8) = .0000D+00
NP(9) = .8022D-02	TP(9) = .3780D-03	TL(9) = .0000D+00
NP(10) = .4537D-01	TP(10) = -.1068D-02	TL(10) = .0000D+00
NP(11) = .1936D-02	TP(11) = -.1156D-04	TL(11) = .0000D+00
NP(12) = -.3235D-01	TP(12) = -.1613D-02	TL(12) = .0000D+00
NP(13) = .5295D-02	TP(13) = .1717D-03	TL(13) = .0000D+00
NP(14) = -.4706D-01	TP(14) = .9073D-02	TL(14) = .0000D+00

PATH foelger den ustrabile periodiske loesning til SPEED = 110.066 m/s.

PATH	ISTEP	NITZ	ITRED	NITG	HP
	20	4	0	2063824544	.5551D+00

X=STATES	C=PARAMETERS	EIGENVALUES	MOD
X(1) =	.1387695444313192D-01	LAMDAC(1) = .3771D-01	.3
X(2) =	.43642584185444135D+00	LAMDAC(2) = .3174D-01	.6

```

X( 3) = .9787570908210267D-02 LAMDA( 3) = .3174D-01 -6.185D-01 .6
X( 4) = -.6163945029945308D-02 LAMDA( 4) = -.1205D+00 -.6220D-01 .1
X( 5) = -.6802365352507307D-02 LAMDA( 5) = -.1205D+00 .6220D-01 .1
X( 6) = .3518827014169414D+00 LAMDA( 6) = .1708D+00 .4605D-01 .1
X( 7) = .1229322963713275D-01 LAMDA( 7) = .1708D+00 -.4605D-01 .1
X( 8) = .1233977381335388D+00 LAMDA( 8) = .4231D+00 .0000D+00 .4
X( 9) = .8971123366086887D-03 LAMDA( 9) = -.4285D+00 -.2277D+00 .4
X(10) = .4480383337207631D+00 LAMDA(10) = -.4285D+00 .2277D+00 .4
X(11) = .9673485790152064D-02 LAMDA(11) = .8279D+00 .0000D+00 .8
X(12) = .9706931482235416D-01 LAMDA(12) = .1065D+01 -.1390D+00 .1
X(13) = .4917970085612602D-02 LAMDA(13) = .1065D+01 .1390D+00 .1
X(14) = .3214575609734005D+00
C( 1) = .1100655873899461D+03
C( 2) = .00000000000000D+00
TPER = .2210841987372877D+00 <--- PERIOD OF ORBIT

```

```

TPER = .2211D+00 NPOINT = 401 DT = .5513D-03
XMIN( 1) = -.1666D-01 XMAX( 1) = .1610D-01 AMP( 1) = .3276D-01
XMIN( 2) = -.7811D+00 XMAX( 2) = .7367D+00 AMP( 2) = .1518D+01
XMIN( 3) = -.1032D-01 XMAX( 3) = .9790D-02 AMP( 3) = .2011D-01
XMIN( 4) = -.4851D+00 XMAX( 4) = .4716D+00 AMP( 4) = .9567D+00
XMIN( 5) = -.1361D-01 XMAX( 5) = .1381D-01 AMP( 5) = .2742D-01
XMIN( 6) = -.5605D+00 XMAX( 6) = .5852D+00 AMP( 6) = .1146D+01
XMIN( 7) = -.1291D-01 XMAX( 7) = .1300D-01 AMP( 7) = .2592D-01
XMIN( 8) = -.4247D+00 XMAX( 8) = .4050D+00 AMP( 8) = .8297D+00
XMIN( 9) = -.1414D-01 XMAX( 9) = .1460D-01 AMP( 9) = .2874D-01
XMIN(10) = -.4047D+00 XMAX(10) = .4501D+00 AMP(10) = .8548D+00
XMIN(11) = -.1026D-01 XMAX(11) = .1066D-01 AMP(11) = .2093D-01
XMIN(12) = -.3578D+00 XMAX(12) = .3673D+00 AMP(12) = .7252D+00
XMIN(13) = -.1230D-01 XMAX(13) = .1235D-01 AMP(13) = .2464D-01
XMIN(14) = -.3525D+00 XMAX(14) = .3483D+00 AMP(14) = .7006D+00
GFCN ***** MAXIMAL NUMBER OF ITERATIONS 50 USED IN (JCASE=2)
IN THE LAST ITERATION PROUF = .5727D-02
IN THE LAST ITERATION PROUF = .6621D+02

```

```

MANIF : GFCN COULD NOT SOLVE THE ODE
IN ITERATION NUMBER NIT = 2
GFCN ***** MAXIMAL NUMBER OF ITERATIONS 50 USED IN (JCASE=2)
IN THE LAST ITERATION PROUF = -.1553D+00
MANIF : GFCN COULD NOT SOLVE THE ODE
IN ITERATION NUMBER NIT = 0
PROUF = .3970D+02

```

PATH 'vender om' og følger periodisk loesning for stigende hastighed.

X3. Asym. l₀₅₀.

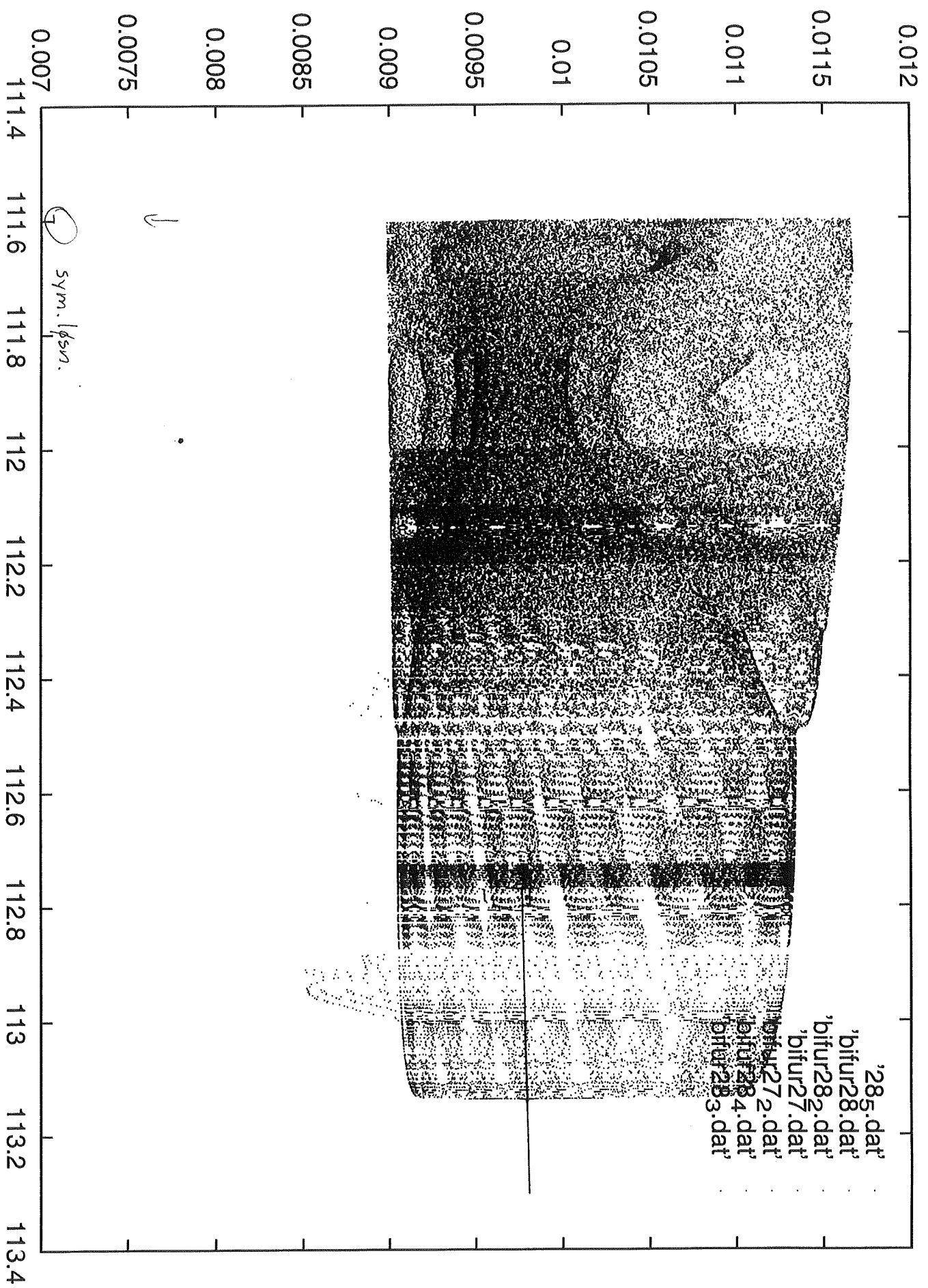


fig 2.2

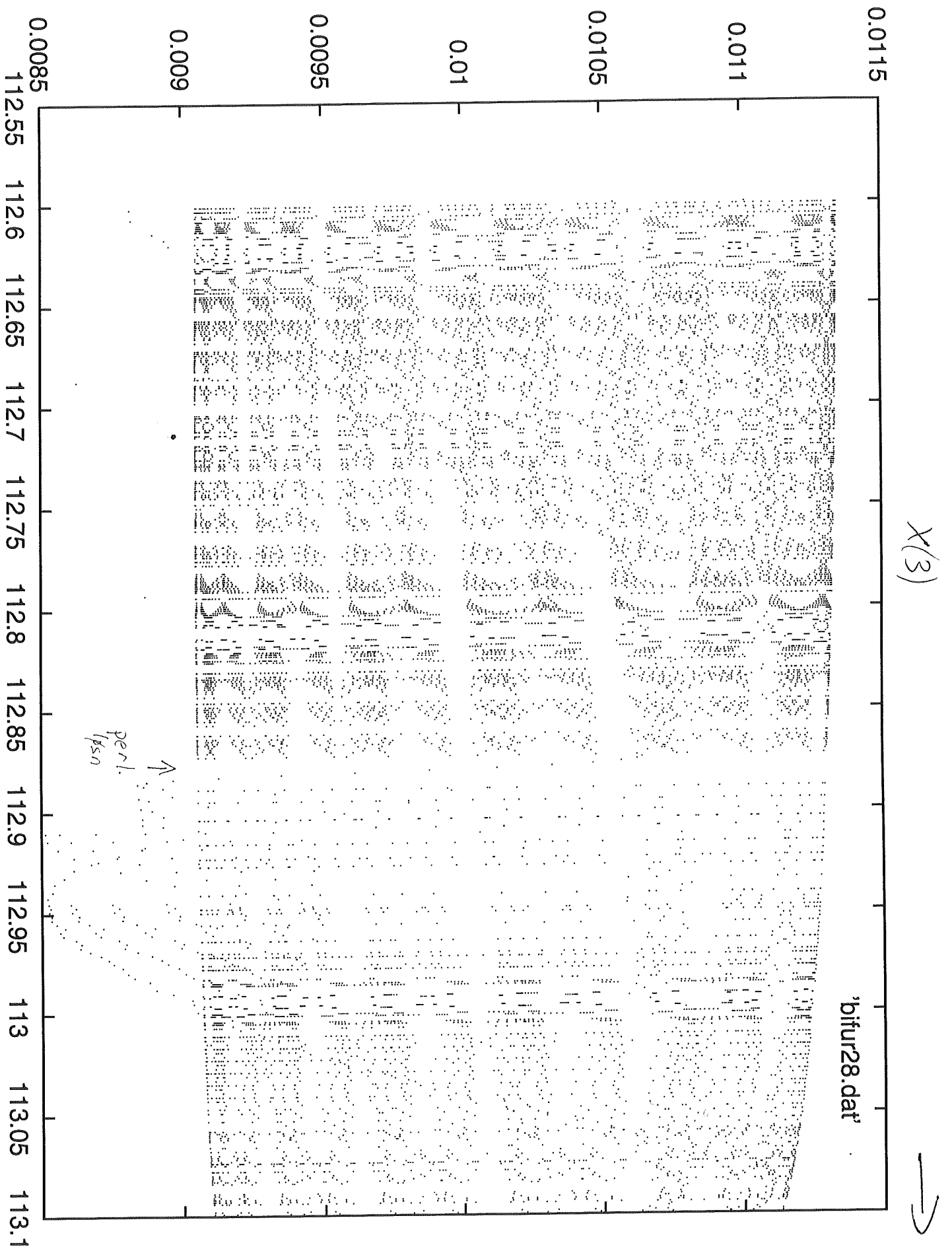


Fig 2.3

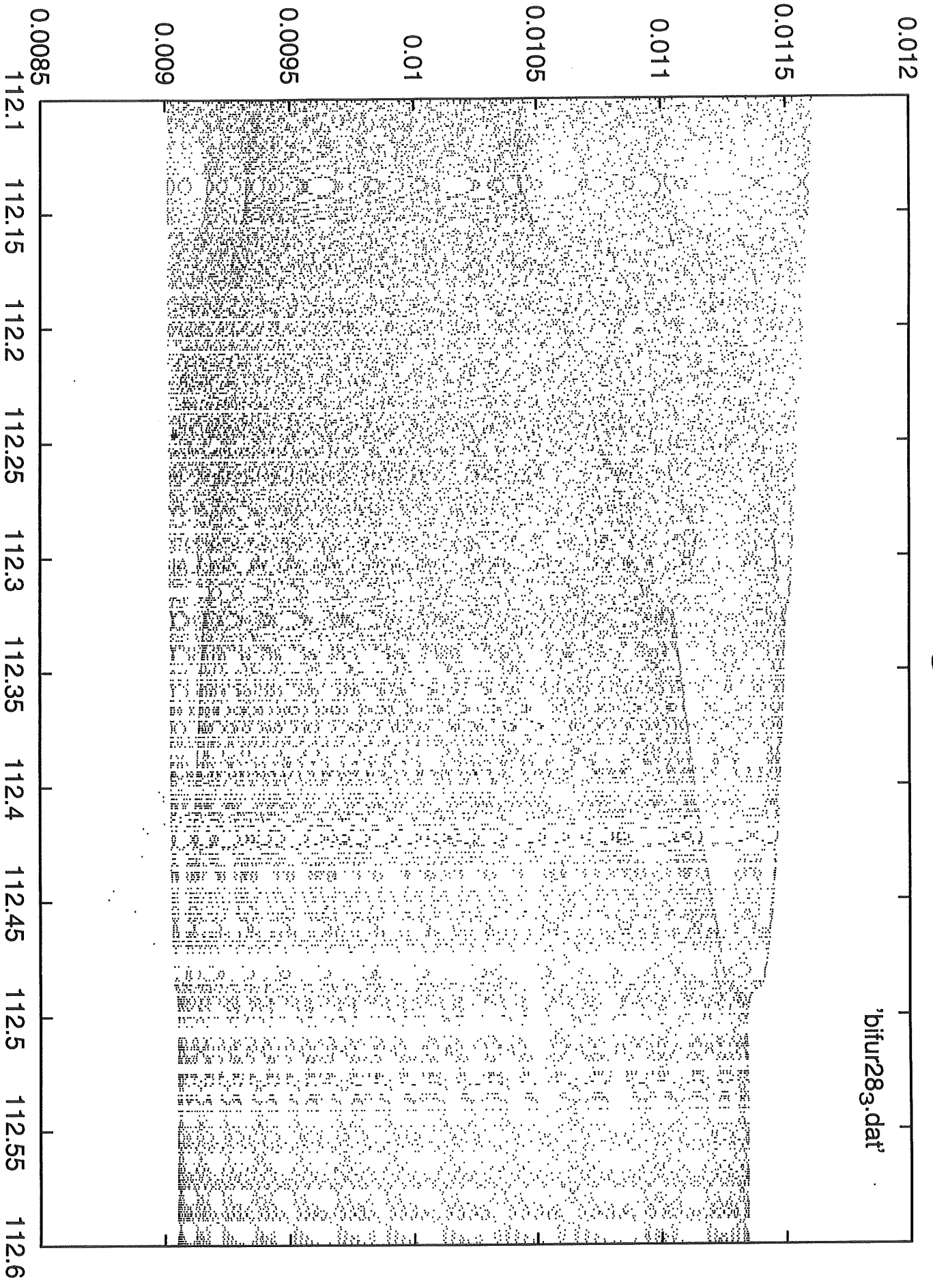
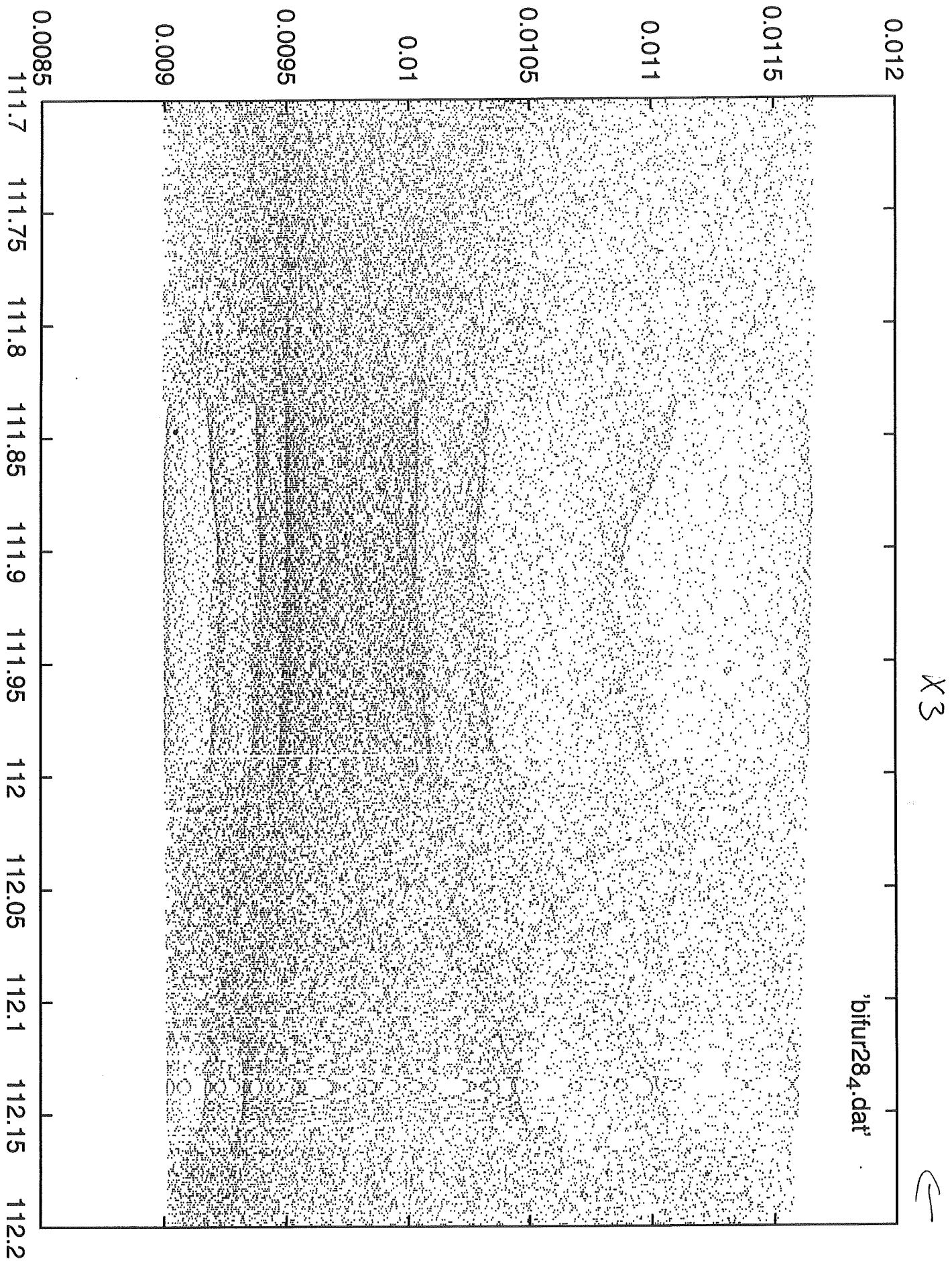


fig. 2.4



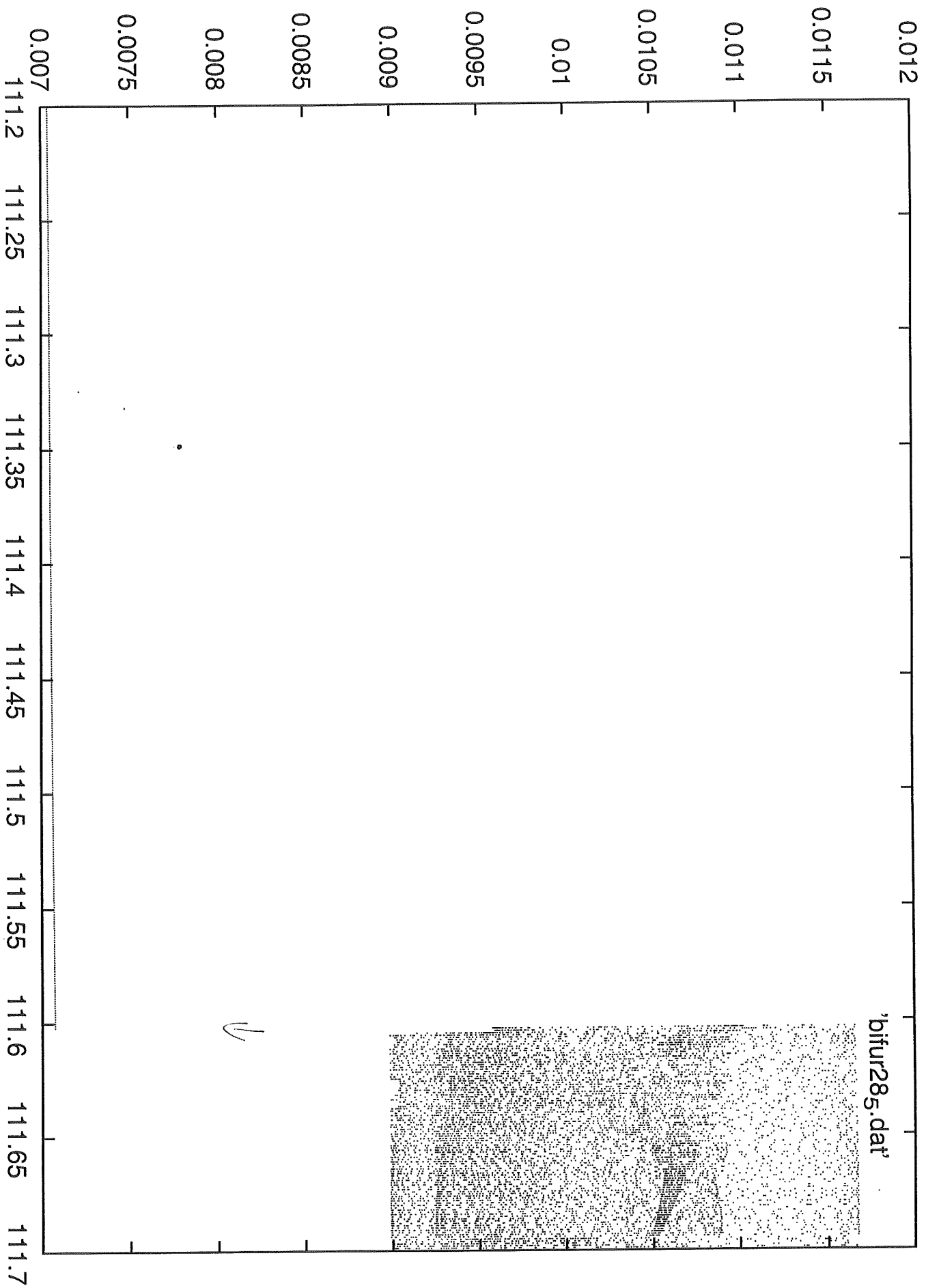
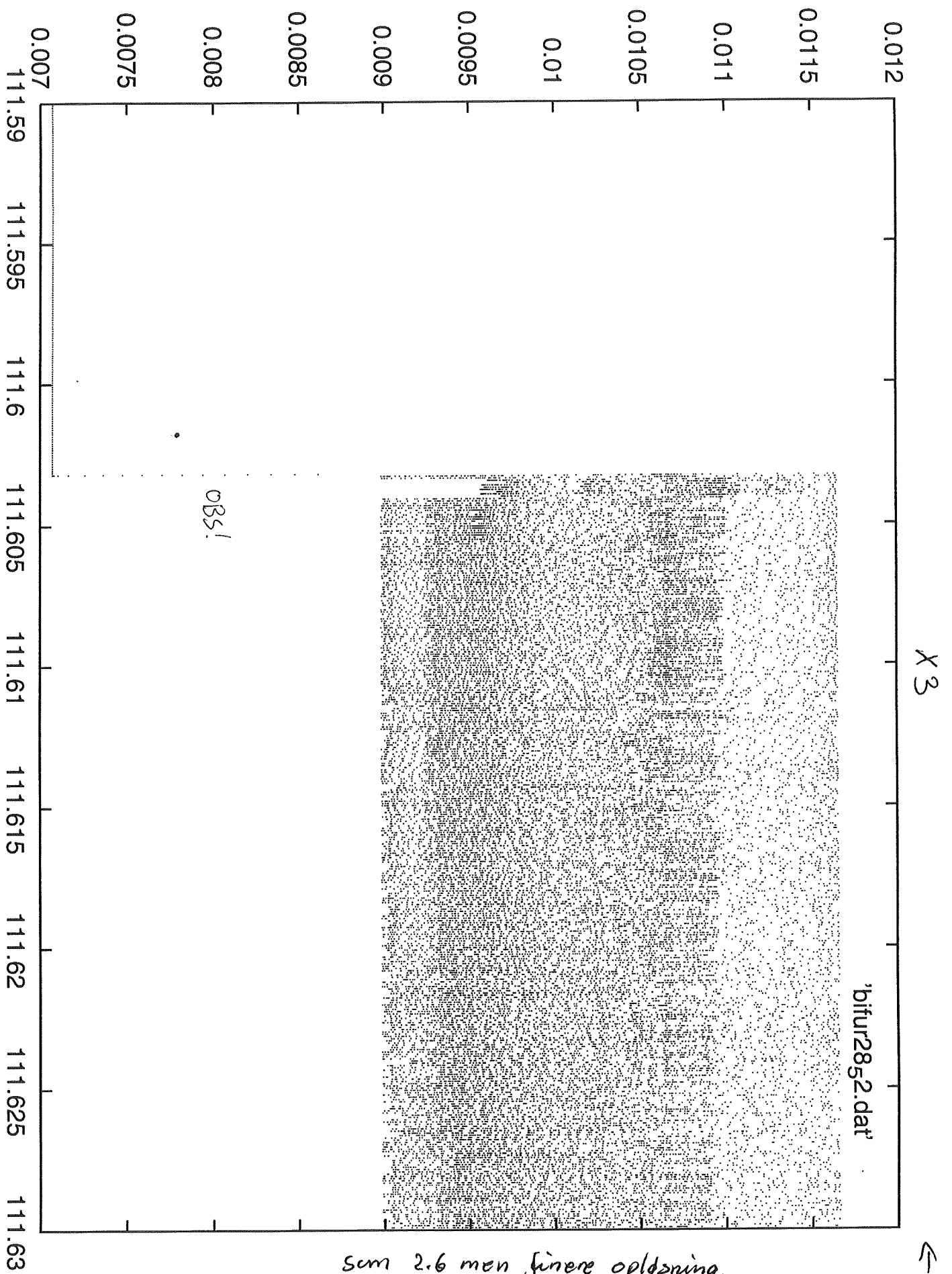


fig 2.6

X3

↑



```

PROGRAM BIFUR
IMPLICIT NONE
EXTERNAL FCN,DUMJAC
INTEGER N, IRWOK, IW
PARAMETER (N=14, IRWOK=400, IW=1500)
INTEGER IJAC, INDEX, JCASE, JBIF, JSTOP, IX0, INP, IER, I, K, NINT
REAL*8 TPER, T, DT, TEND, TSTOP
REAL*8 X(N+2), X0(N), NP(N+2), TP(N+2), TL(N+2), W(IW)
COMPLEX*16 LAMDA
===== bifur erklæring =====
INTEGER ISPEED, IPUNKT, ITEST, II, FLADELØK
REAL*8 TSTEP, TSTEPSTART, TOLD, POINTOL, XTEMP(N)
=====
INTEGER IODE, LRM
REAL*8 TOL, RWOK(IRWOK)
COMMON /EASOL/ IODE, LRM, TOL, RWOK
INTEGER REAL*8 ITR
COMMON /PPAR/ EPSZ, HZ, ITZ
INTEGER REAL*8 ITR
COMMON /GPAR/ EPSG, HG, ITG
INTEGER REAL*8 ITR
COMMON /PMAPC/ EPSR, HR, ITR
REAL*8 EPSR, HR
COMMON /PMAPC/ EPSR, HR, ITR
INTEGER HMIN, HP, HMAX, FACINC, FACDEC
COMMON /PPAR/ HMIN, HP, HMAX, FACINC, FACDEC, ITP, NSTEP
INTEGER HMIN, HP, HMAX, FACINC, FACDEC
COMMON /PPAR/ HMIN, HP, HMAX, FACINC, FACDEC, ITP, NSTEP
INTEGER NQUA
COMMON /QUASI/ NQUA
INTEGER IFLANG
COMMON /KFLANG/ IFLANG
INTEGER NXYZ
COMMON /KXYZ/ NXYZ
REAL*8 SPEED, DUMPAR
COMMON /PARAM/ SPEED, DUMPAR
* Parametre til EQSOL.l|sning af ODL og allokering af lagerplads *
IODE = 2
TOL = 1.0D-9
LRW = IRWOK
IW = 800 (S|ttes i parameterlisten)
* Parametre til GPAR. Lokalisering af bifurkationspunkt *
EPSG = 1.0D-7
HG = 1.0D-4
ITG = 10
* Parametre til ZPAR. Nulpunktsl|ser (Newtons metode) *

```

```

EPSZ = 1.0D-8
HZ = 1.0D-5
ITZ = 10
* Parametre til PPAR. Kontrol af skridtl|ngde *
HMIN = 1.0D-6
HP = 0.05D0
HMAX = 5.0D0
FACINC = 2.5D0
FACDEC = 0.5D0
ITP = 10
NSTEP = 50
* Parametre til PMAPC. Kontrol af Poincare-hyperflade *
EPSR = 1.0D-9
ITR = 10
HR = 1.0D-4
* Nulstil dummy-parameter *
X(16) = DD0
TP(16) = DD0
NP(16) = DD0
TL(16) = DD0
* Anvend model med flanger *
IFLANG = 1
* Jacobi-matricen angives ikke eksplicit *
IJAC = 2
WRITE(6,5)
5 FORMAT(1X,80('=')/15X,'PROGRAM: CXB0G'/
& 15X,'WHEEL-RAIL FORCE: JOHNSON'/
& 15X,'WITH FLANGE CONTACT')
50 FORMAT(1X,5E25.18,110.6)
51 FORMAT(1X,2E20.10)
54 FORMAT(1X,2E25.18)
61 FORMAT(6X,'SPEED = 'E26.16)
62 FORMAT(6X,'X('12,') = 'E26.16)
OPEN(10, FILE='bifur28_52.dat')
OPEN(11, FILE='bifur28_52.dat.x')
SPEED = .1169999999999999985E+03
X(1) = .1442849841058810E-01
X(2) = .1523997877145729E+00
X(3) = .1011079474592682E-01
X(4) = .1357795528505098E-08
X(5) = -.75077241056760812E-02
X(6) = .3327115629145878E+00
X(7) = .1295186768427484E-01
X(8) = .1126576605961744E+00
X(9) = .1227120194701194E-02
X(10) = .4477413401106748E+00
X(11) = .1024037871561702E-01
X(12) = .9706083032276079E-01
X(13) = .5337135108414884E-02
X(14) = .2599472796510956E+00
bifurkationsdiagrammer for stabile loesninger oenskes bestemt
initialiser
TSTEPSTART = 1.0D-03
POINTOL = 1.0D-09

```

Afsluering af
 pass. afk|ber af
 overgang til
 chaos v.
 141,8 m/s.

```

C      Transient fjernes
C      T = 0D00
C      TEND = 200D00
C      INDEX = 1
C      CALL ODEX(FCN,DUMJAC,IJAC,N,T,X,TEND,INDEX,IER)
C      IF (INDEX.NE.2) WRITE(6,*) INDEX
C
C      Transient fjernes
C      DO II = 1,7
C      SPEED = SPEED-0.01D+00
C      T = 0D00
C      TEND = 200D00
C      INDEX = 1
C      CALL ODEX(FCN,DUMJAC,IJAC,N,T,X,TEND,INDEX,IER)
C      IF (INDEX.NE.2) WRITE(6,*) INDEX
C      END DO
C
C      speed optaelles
C      DO ISPEED = 1,500
C
C      Transient fjernes
C      T = 0.0D+00
C      TEND = 50.0D+00
C      INDEX = 1
C      CALL ODEX(FCN,DUMJAC,IJAC,N,T,X,TEND,INDEX,IER)
C      WRITE(6,*) 'trans fjernet'
C
C      T = 0.0D0
C      TEND = TSTEPSTART
C      INDEX = 1
C      udskriv IPUNKT punkter til fil
C      DO IPUNKT = 1,100
C
C      FLADELOK = 0
C      ITEST = 0
C      TSTEP = TSTEPSTART
C
C      Poincare flade lokaliseres
C      DO WHILE (FLADELOK.NE. 1)
C      WRITE(6,*) 'whileloekke ',ITEST
C
C      X og T gemmes; hvis der integreres for langt
C      DO II = 1,N
C      XTEMP(11) = X(11)
C      END DO
C      TOLD = T
C
C      INDEX = 1
C      CALL ODEX(FCN,DUMJAC,IJAC,N,T,X,TEND,INDEX,IER)
C      ITEST = ITEST+1
C
C      ***** check om Poincare flade er naaet
C      IF (((X(4) .LT. POINTOL) .AND.
C      (X(4) .GT. -POINTOL)) .AND.
C      (X(3) .GE. 0.0D00 ) ) THEN
C      udskriv punkt paa Poincare flade
C      WRITE(10,51) SPEED,X(3)
C      Videre til naeste punkt
C      FLADELOK = 1
C
C      END IF
C      *****
C      WRITE( 6,50) T,TEND,XTEMP(4),X(4),X(3),ITEST
C      WRITE(11,50) T,TEND,XTEMP(4),X(4),X(3),ITEST
C      bisektion benyttes til at bestemme TEND
C      IF (((XTEMP(4)*X(4)).LT. 0.0D+00) .AND.
C      (X(3) .GT. 0.0D+00)) THEN
C      2
C      WRITE( 6,*) 'bisektion'
C      WRITE(11,*) 'bisektion'
C      saet X og T til gamle vaerdier
C      DO II = 1,N
C      X(11) = XTEMP(11)
C      END DO
C      T = TOLD
C
C      halver steplaengde
C      TSTEP = TSTEP*0.5D+00
C      TEND = T + TSTEP
C
C      Vi er endnu ikke forbi X(4) = 0
C      ELSE
C      TEND = TEND + TSTEP
C      END IF
C      WRITE(11,54) T,TEND
C
C      naar Poincareflade er naaet, tages nu et stoerre tidskridt
C      IF (FLADELOK.EQ.1) THEN
C      TEND = TEND + 0.2D+00
C      TSTEP = TSTEPSTART
C      END IF
C
C      end while FLADELOK; poincare flade lokaliseret, punkt udskrevet
C      END DO
C
C      end IPUNKT punkter udskrevet
C      END DO
C
C      optael SPEED
C      SPEED = SPEED-8.0D-05
C
C      udskriv X
C      IF (MOD(ISPEED,100).EQ.0) THEN
C      WRITE(11,61) SPEED
C      DO II = 1,14
C      WRITE(11,62) II,X(11)
C      END DO
C      WRITE(11,*)
C      END IF
C
C      end SPEED
C      END DO
C      =====
C      CLOSE(10)
C      CLOSE(11)
C      END

```


x3 tilh. asym. løsn.

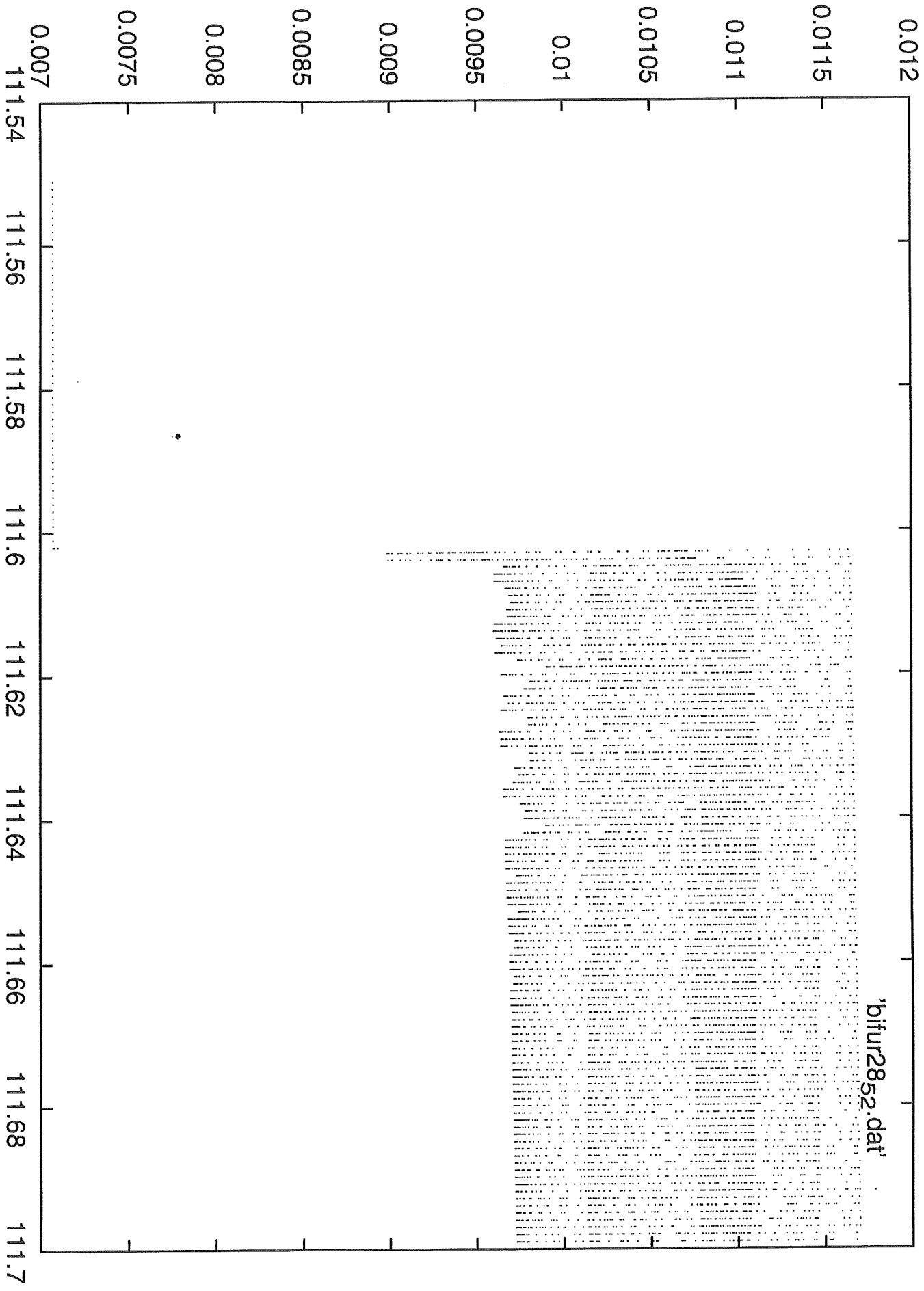
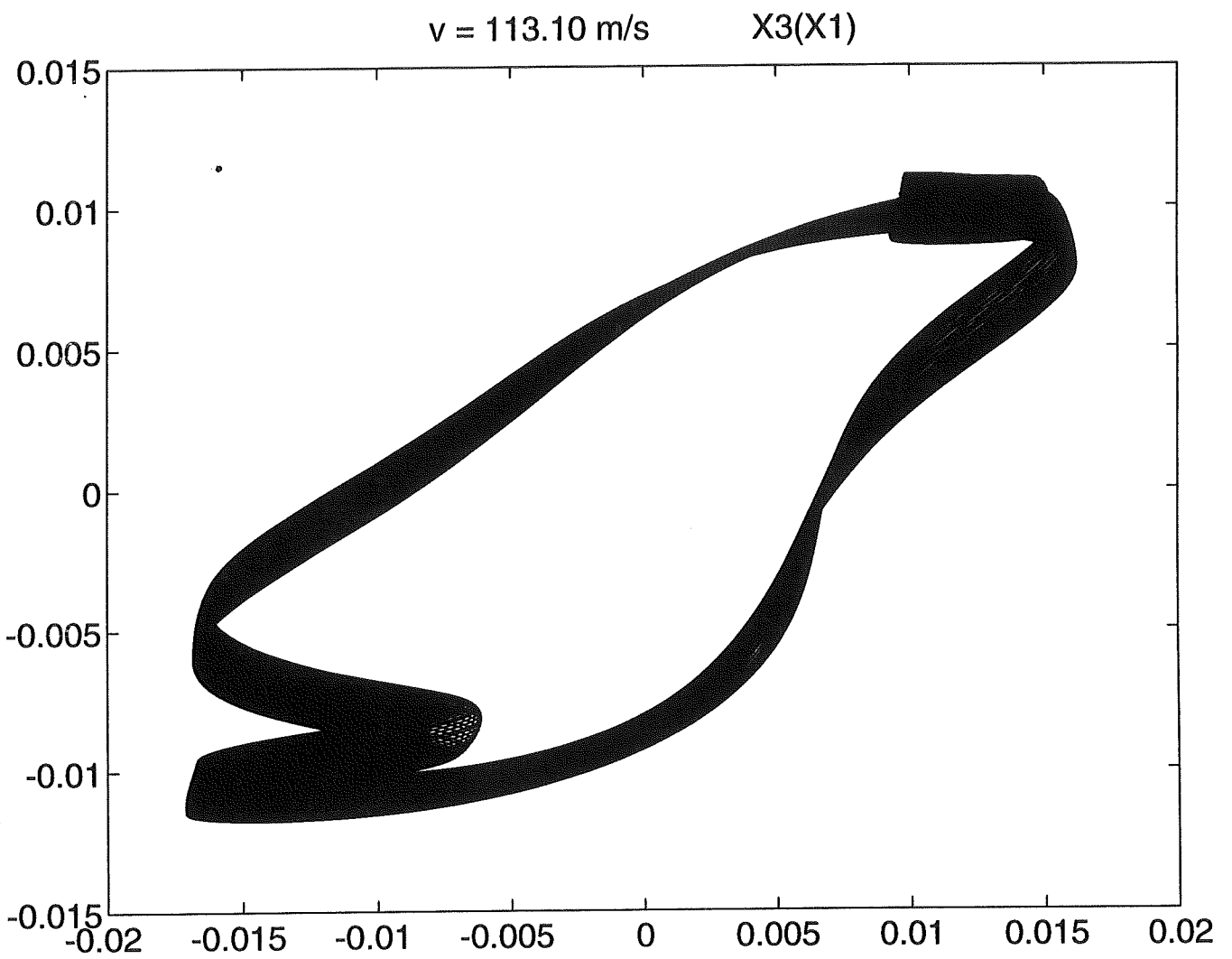


Fig 2.8



transient: 5000 s

$\text{oct} < 16,38\%$.

tydelig aperiodisk (psning!!)

-altså hysteresis.

Fig 2.9

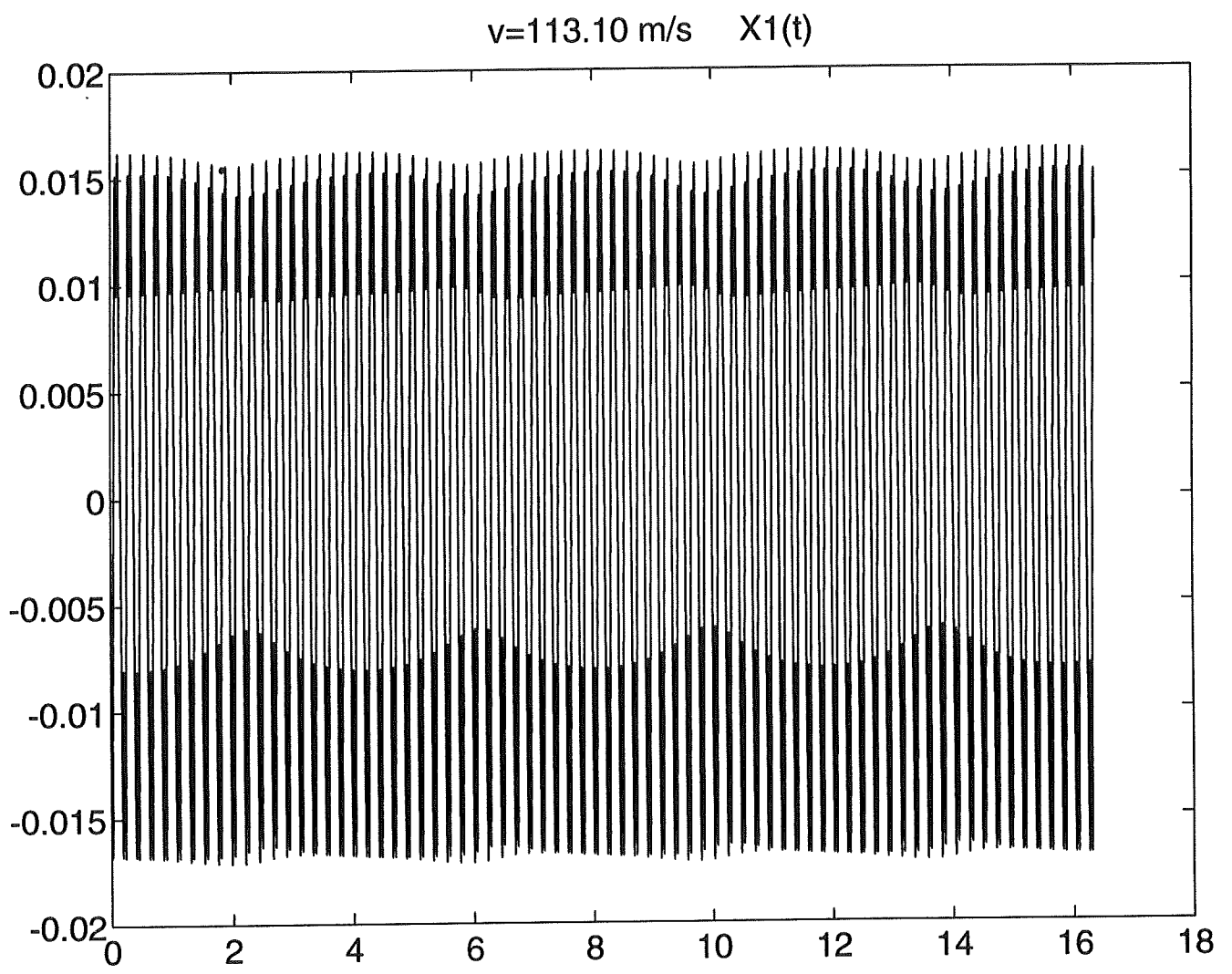


fig 2.10

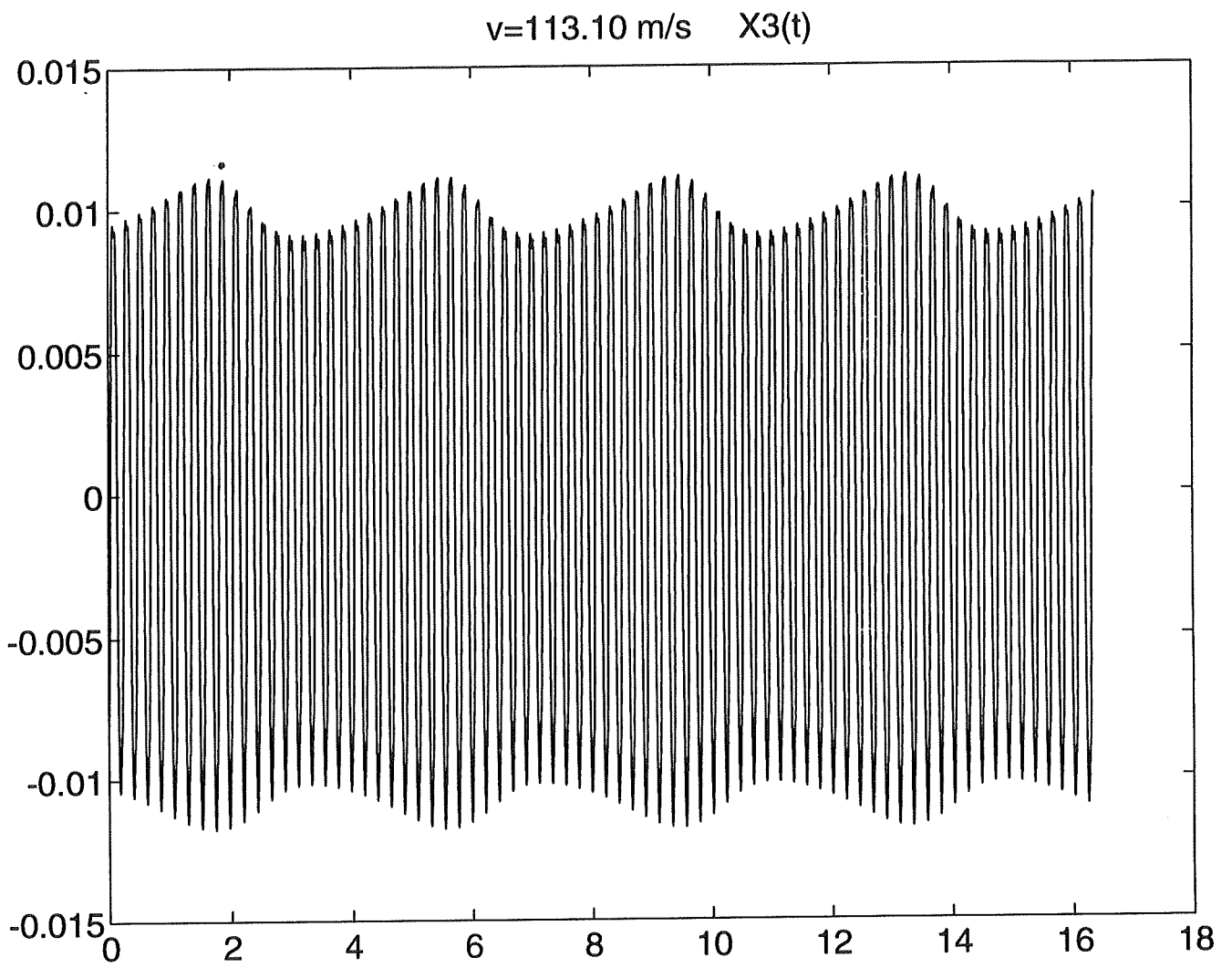


fig 2.11

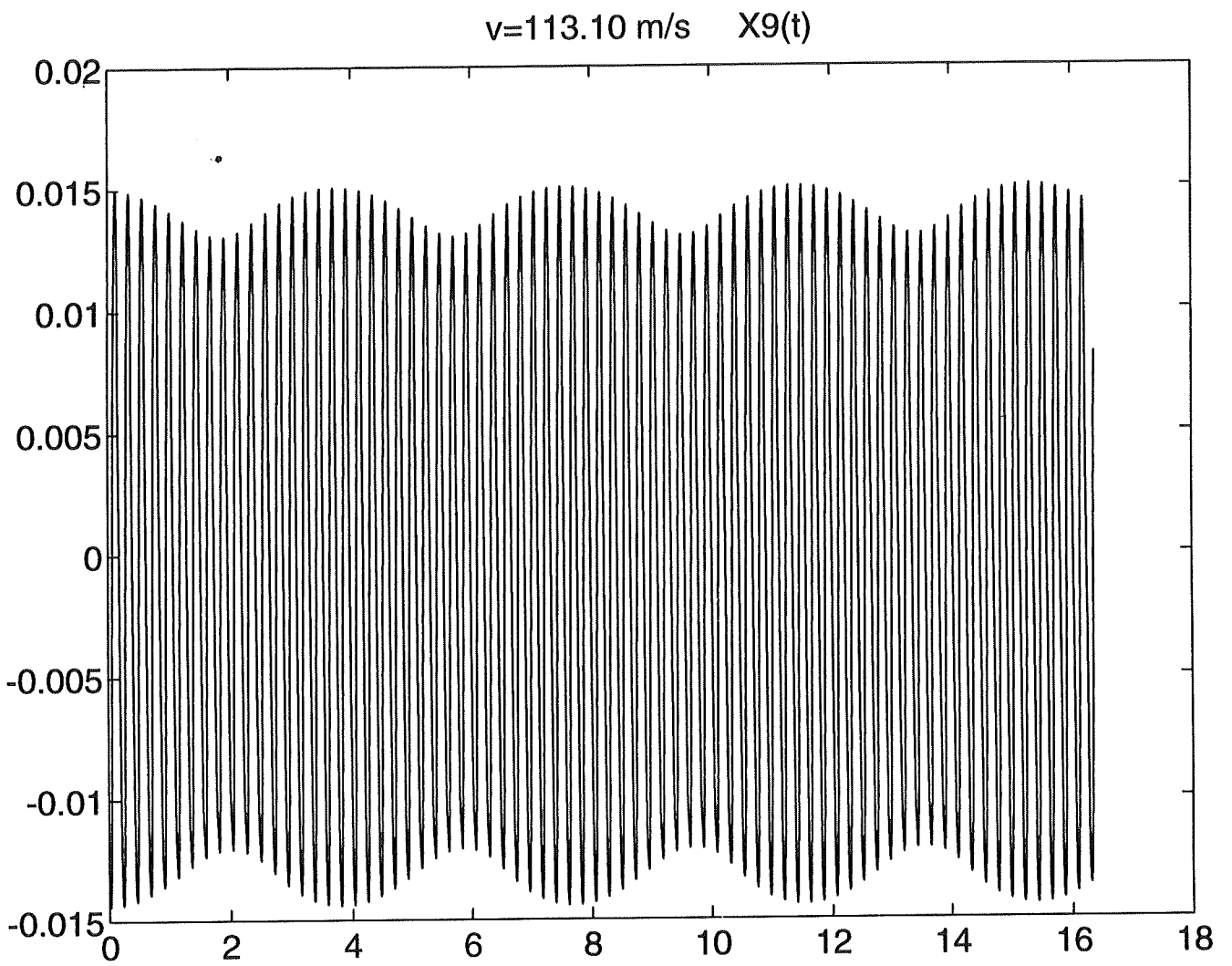


fig 2.12

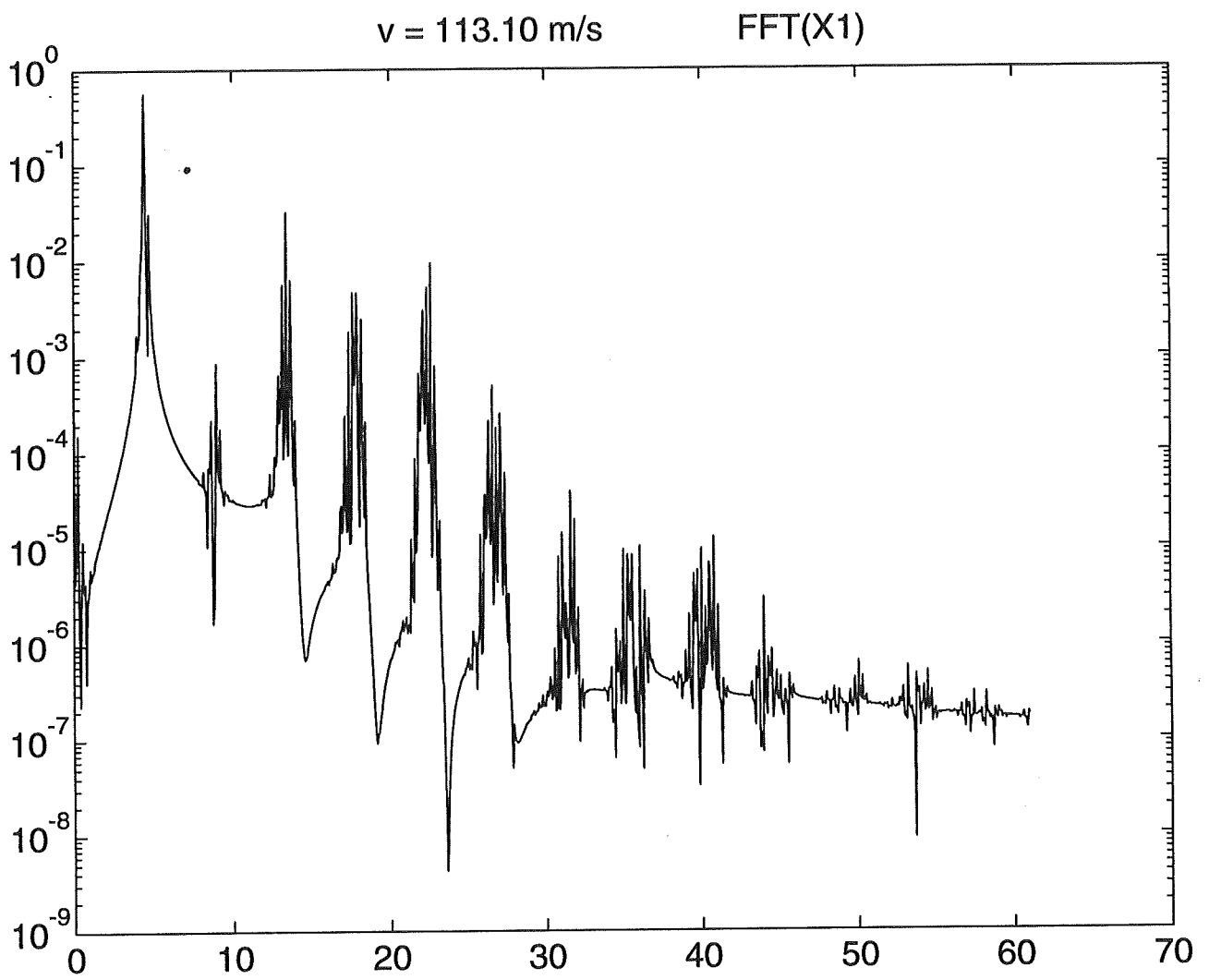


Fig 2.13

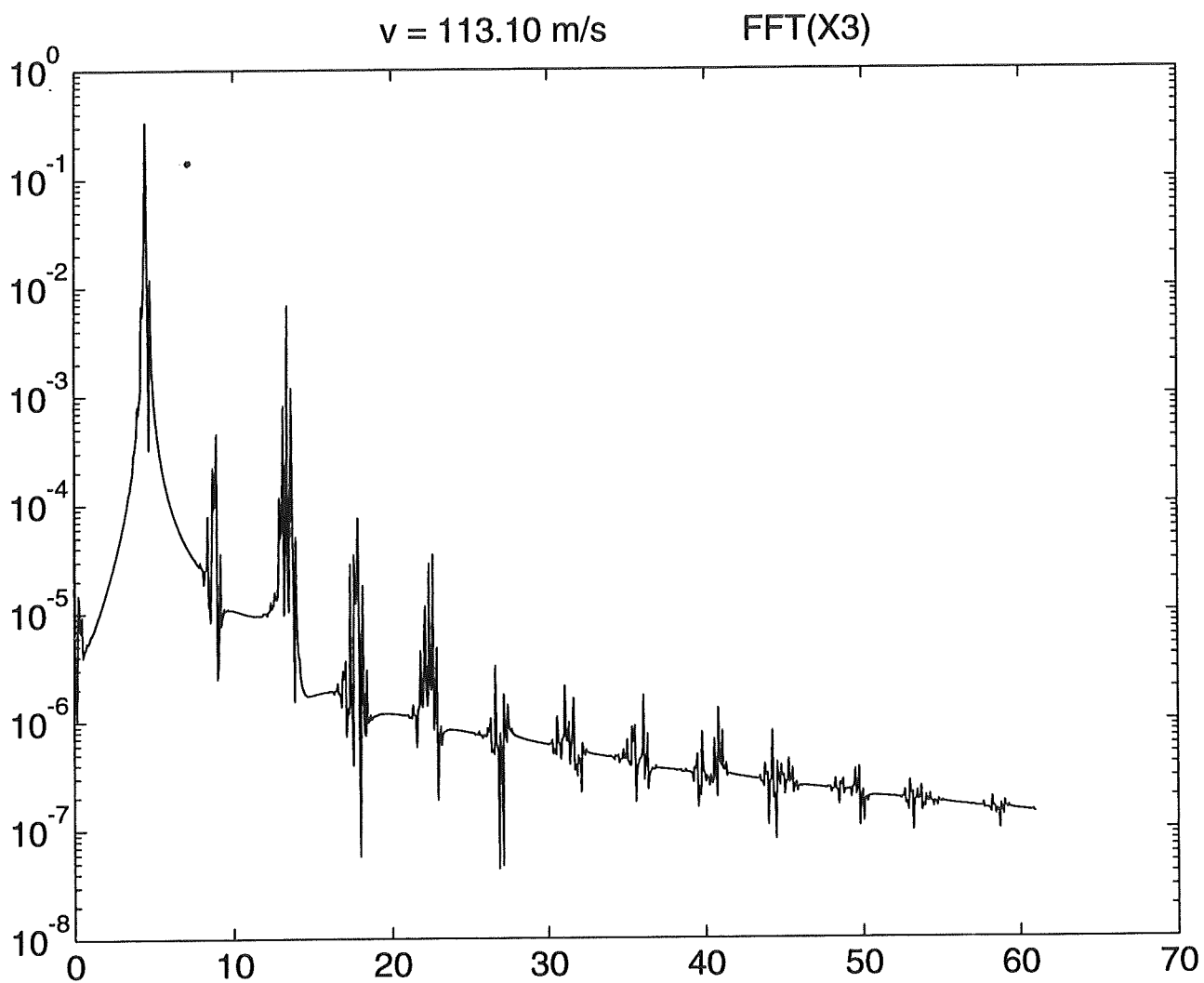


fig 2.14

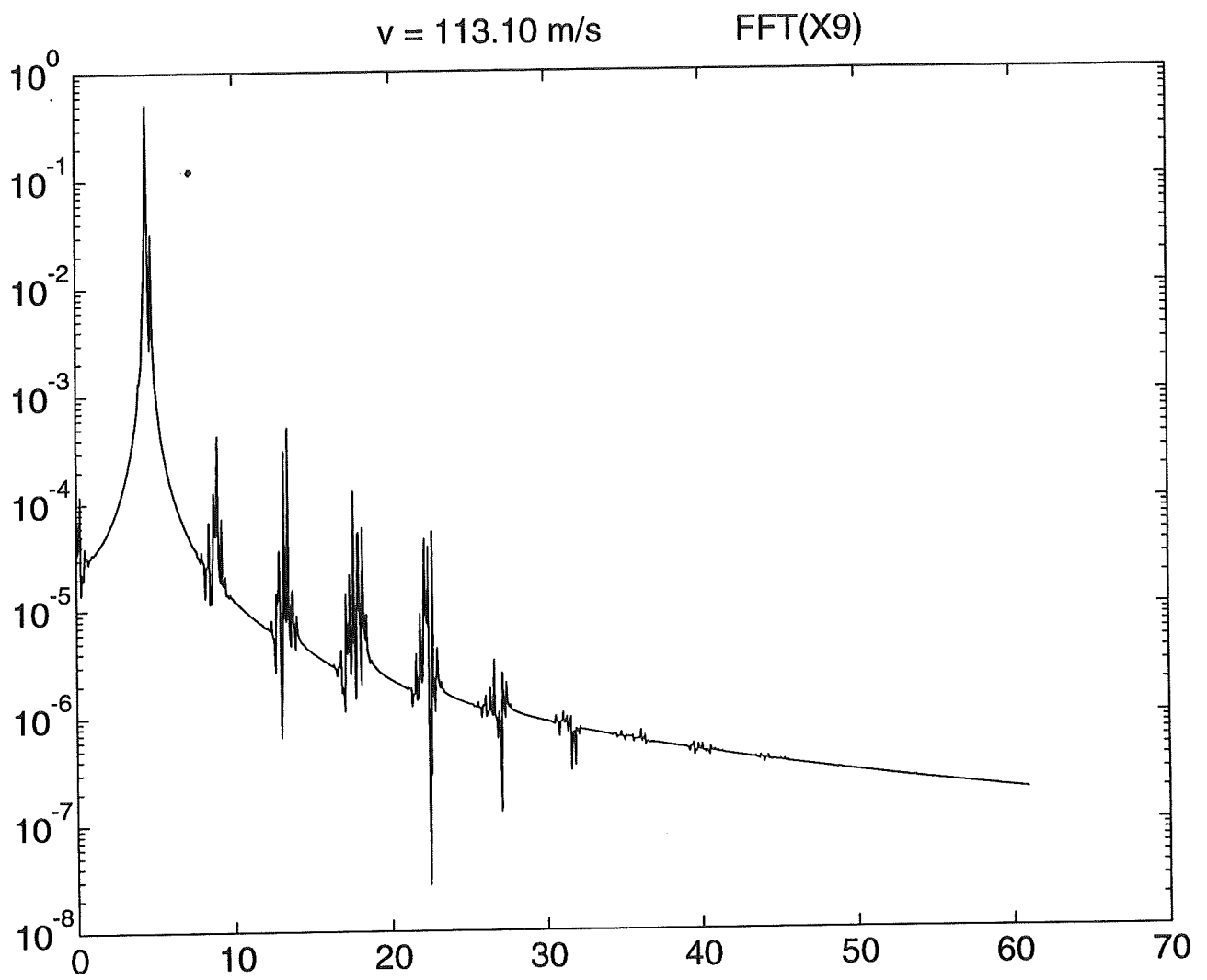


fig 2.15

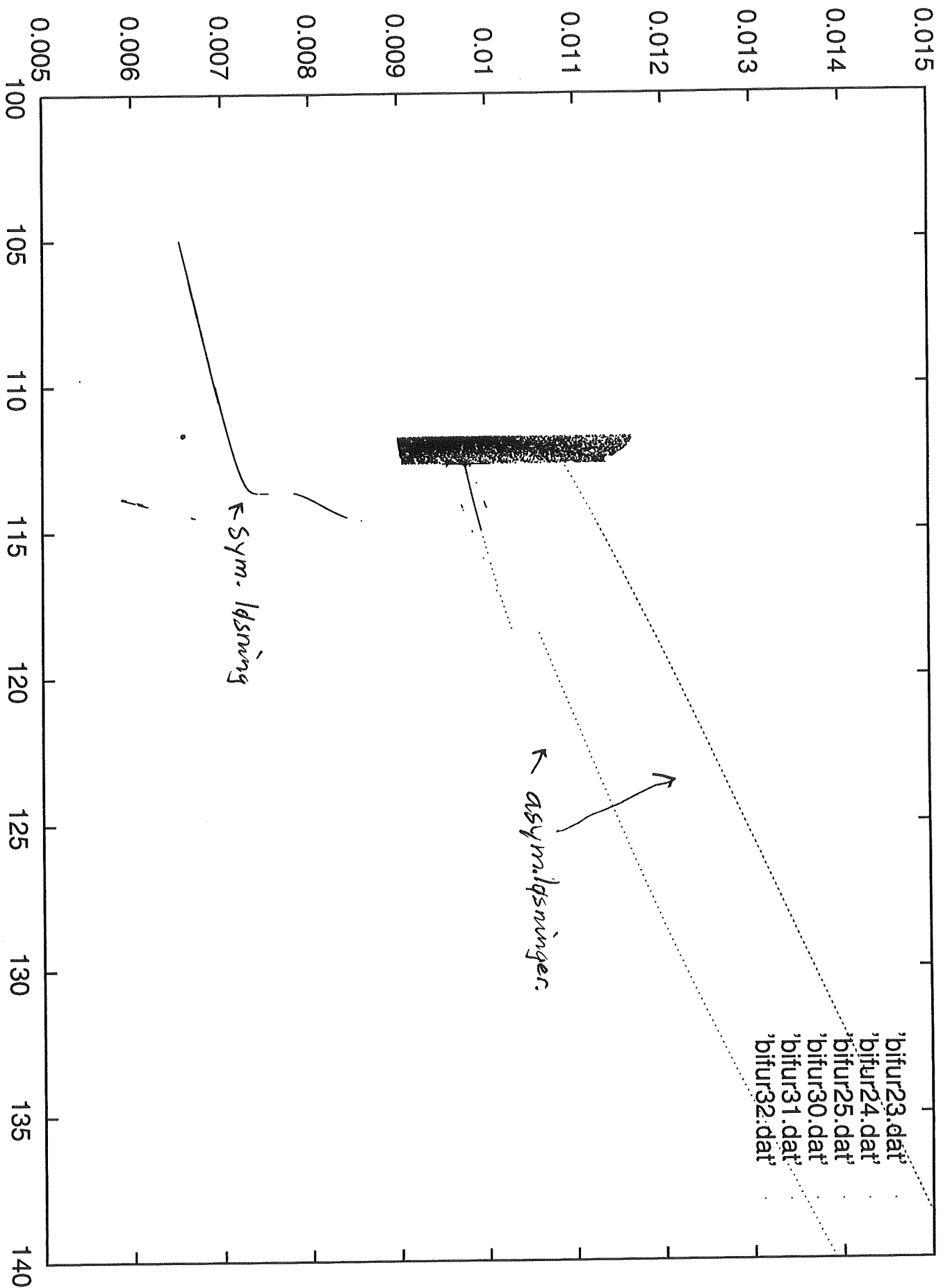


fig 2.16

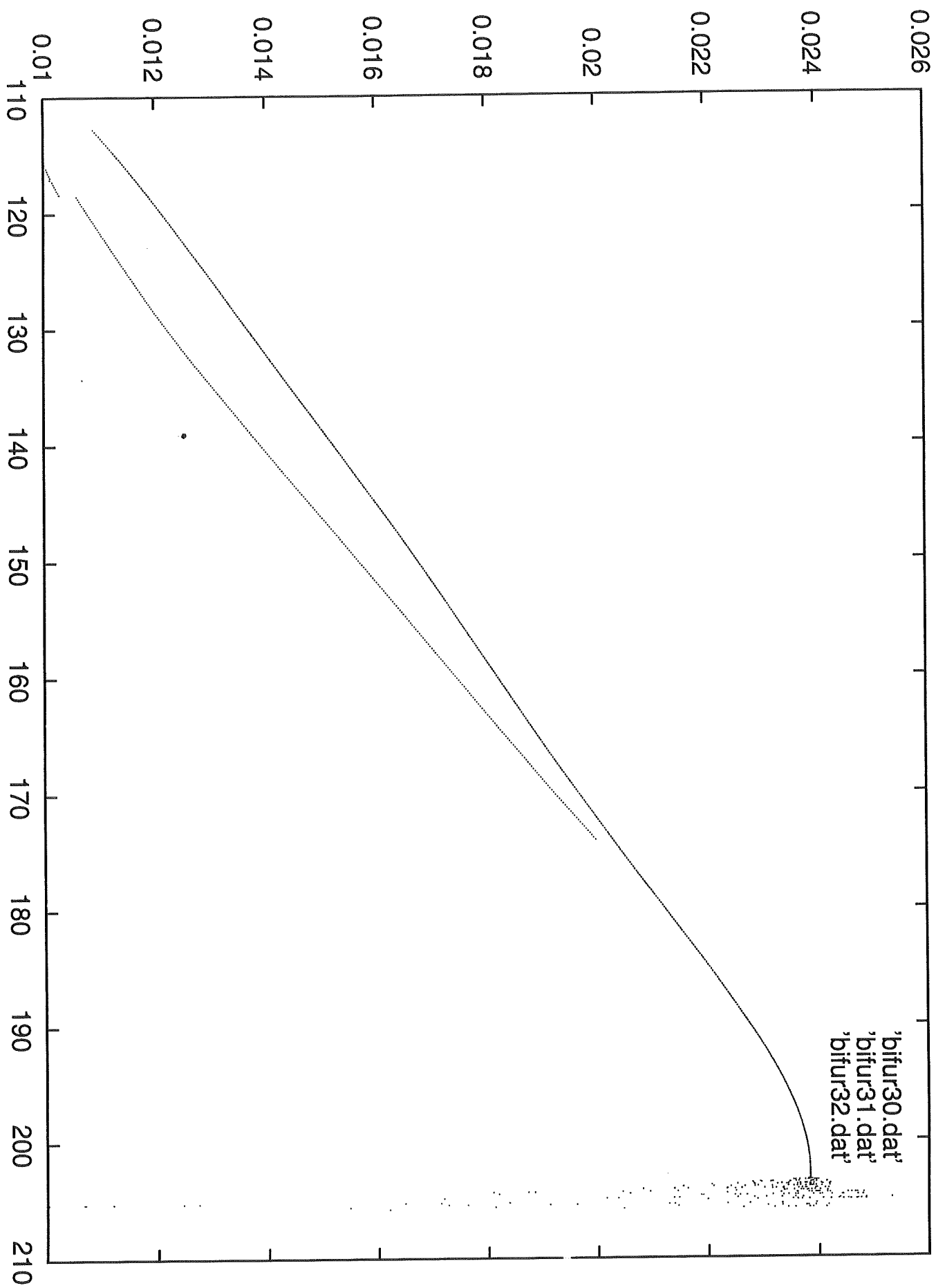


fig 2.17

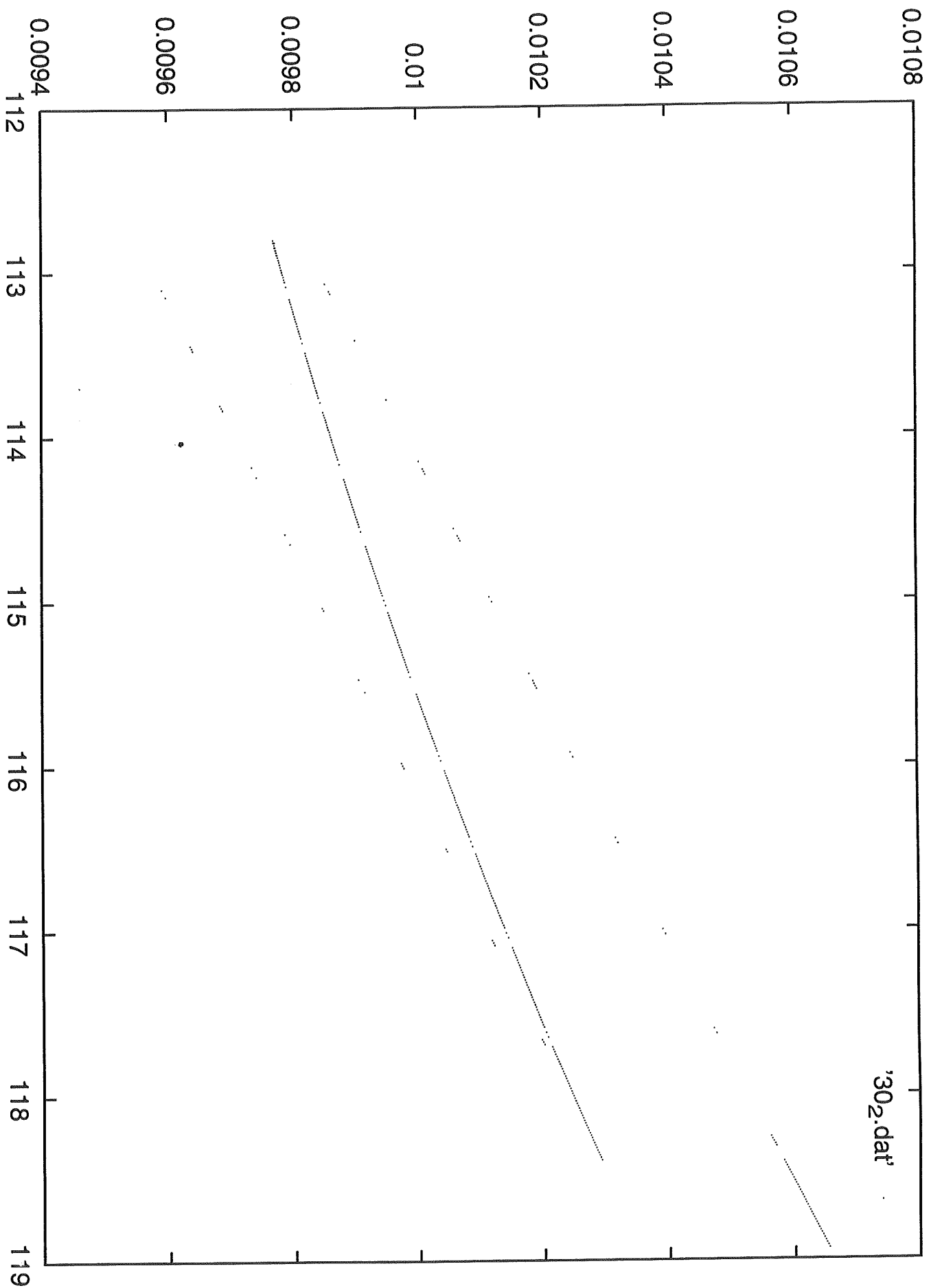


fig 2.18

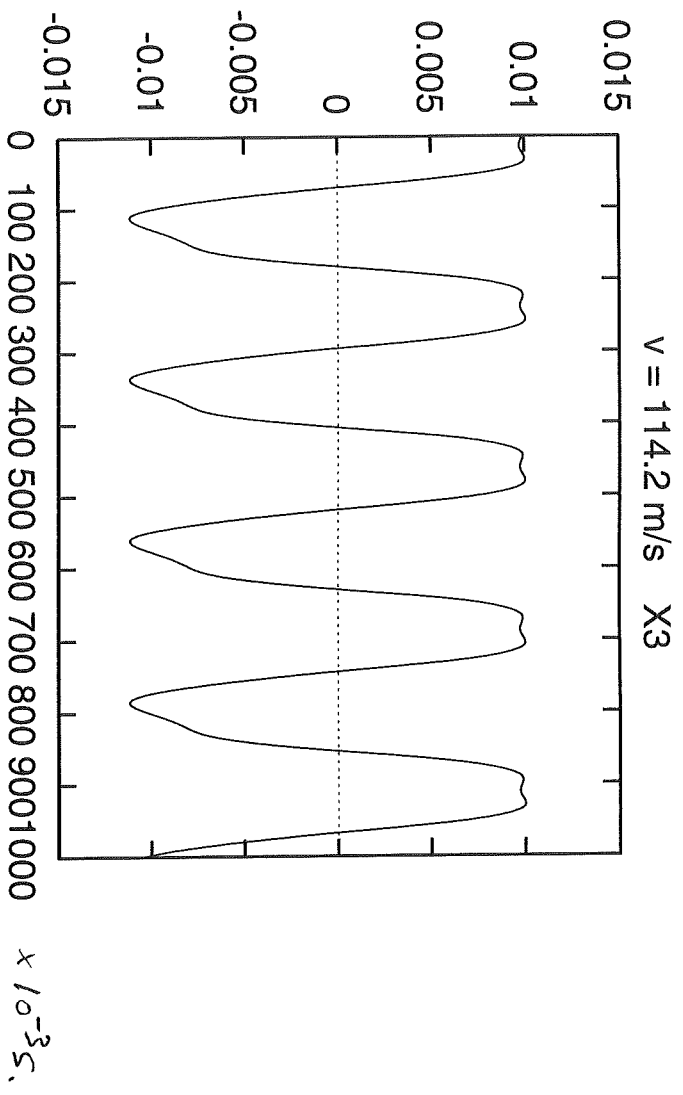


Fig 2.19

DEL 3

Dette afsnit viser 'følsomhed på begyndelsesbetingelserne' eksemplificeret ved rösslers system.

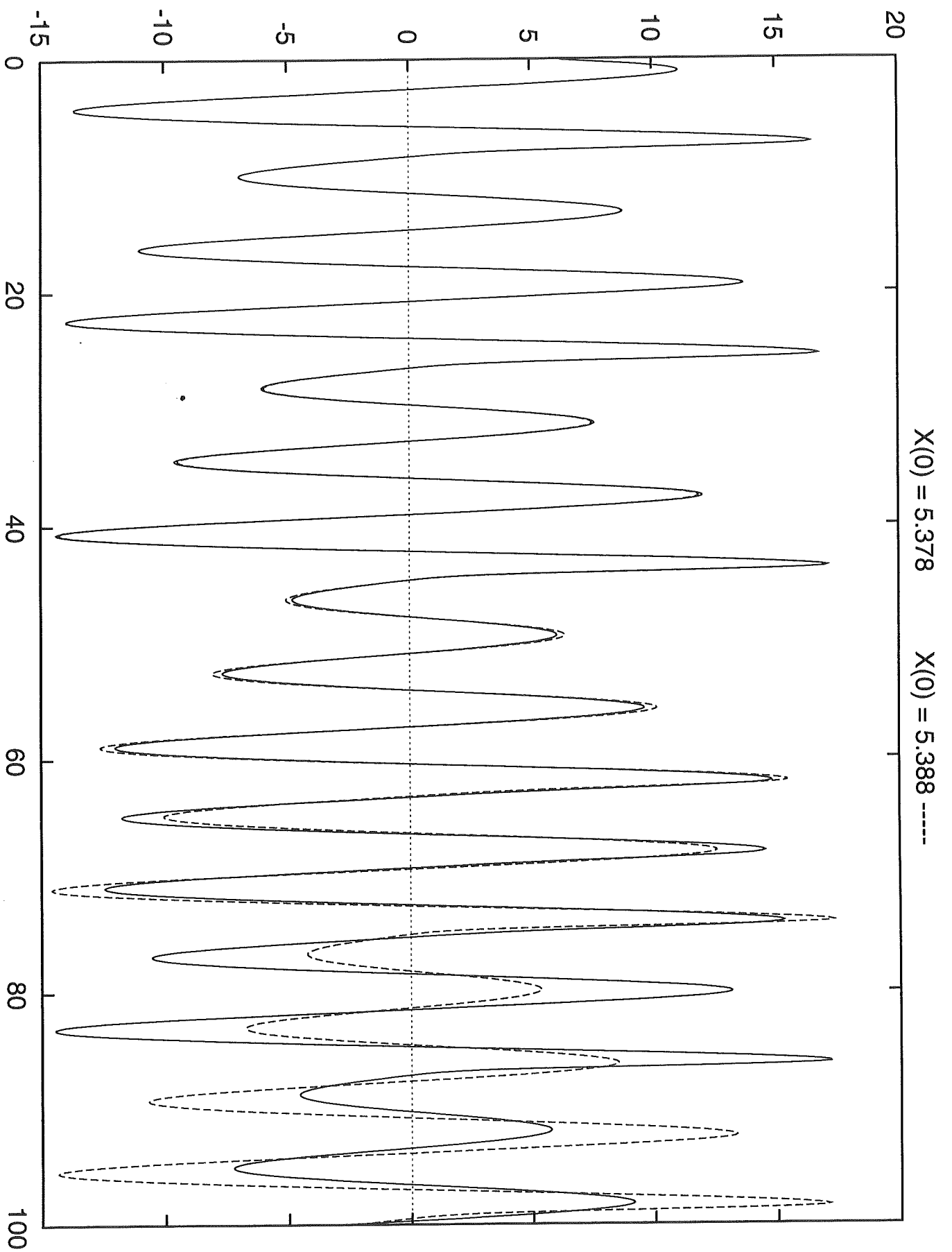


fig 3.1.

KONKLUSION

I del 1 er opsummeret forløbet af bifurkationsdiagrammet fra mit eksamensprojekt. FFT er forsøgt anvendt til at fastslå løsninger ved bestemte hastigheder. Desværre viser denne metode ikke, at kunne endelig fastslå løsningstyperne, men kun at egne sig til at bekræfte de allerede kendte resultater. Håbet var at få fastlagt om løsningerne umiddelbart efter bifurkationen ved $v = 203.33$ m/s ligger på en 2- eller 3-torus.

I del 2 er løsningerne og bifurkationerne i hastighedsintervallet $111 \text{ m/s} < v < 115 \text{ m/s}$ undersøgt. Flere spændende hysterese-fænomener er påvist. Der er også vist hvorledes de asymmetriske løsningsattraktorer forsvinder for aftagende hastigheder.

De udviklede programmer til mit eksamensprojekt er benyttet, og de har også her vist deres nytte til at frembringe de viste resultater.

Endnu engang har jeg ladet mig overraske over, hvor små de undersøgte hastighedsintervallerne skal være, for at vise de ønskede ting. Derfor har jeg også i dette projekt gentaget beregninger flere gange med større og større opløsning. Men med tålmodighed og meget regnekraft er nye og kendte resultater vist.



PREBEN ISAKSEN
C 878290