Fast-Fourier-Transform-programma voor willekeurige signalen

Fast-Fourier-Transform-programma voor willekeurige signalen.

Eindhoven, dec 1982

Vakgroep fundamentele werktuigbouwkunde

Dr. Ir. A. de Kraker

THE rapport WE 83.10

Deze handleiding bevat:

EEN REKENPROGRAMMA VOOR HET BEREKENEN VAN DE FFT VAN BASISFUNCTIES

Ter illustratie van de FFT-theorie en voor het analyseren van de practische consequenties van de discretisatie van de (exacte) Fourierintegraal is een interactief rekenprogramma ontwikkeld. Het programma werkt op de PRIME afdelingscomputer en is geschreven in FORTRAN. Het programma kan "gerund" worden via een grafische terminal:

(a) TEKTRONIX T4014
(b) HP 2647 A

Enige karakteristieken van het programma:

* Via het programma kan interactief een tamelijk willekeurige basisfunctie gegenereerd worden. Dit gebeurd door een willekeurig aantal elementaire functies te kombineren, waarbij onder kombineren wordt verstaan:

  1. optellen,
  2. aftrekken,
  3. vermenigvuldigen, of
  4. delen.

  De elementaire functies zijn:
  -Konstante functie f(t)=A, [0<=t<=T]
  -Stapfunctie f(t)=A [t<To], f(t)=B [t>=To]
  -Blokfunctie f(t)=B [T1<=t<=T2], f(t)=A [t<T1 of t>T2]
  -Harmonische functie f(t)=Acos(2*pi*f*t+phi)
  -Exponentieele functie f(t)=Aexp(-Bt)
  -Exponentieele window functie, zie hierna
  -Hanning window functie, zie hierna
  -Dirac functie f(t)=delta(t-To)
  -Bandwith limited random noise.

* De gecreerde basisfunctie wordt beschouwd in het tijdvenster [0,T] op basis van N equidistante tijdsintervallen. Voor het huidige programma geldt N<=2048!!. Elke willekeurige ingevoerde N wordt door het programma aangepast zodanig dat

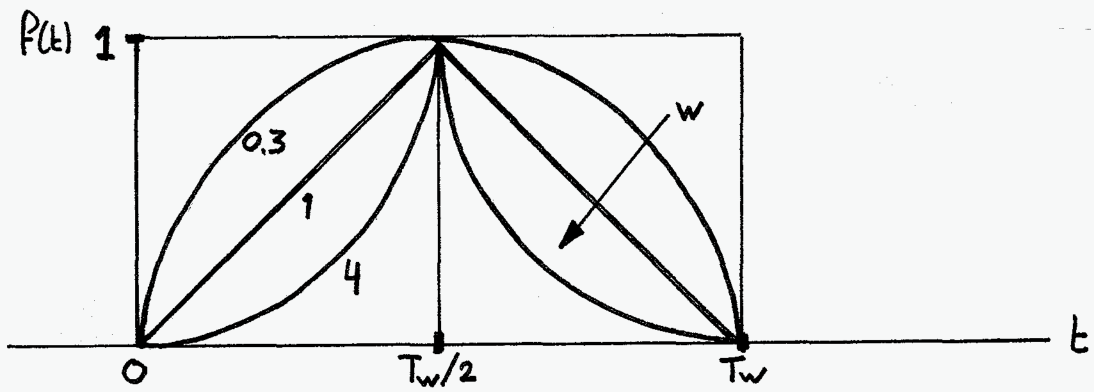
  N={N=2**p en N<=2048}, p=integer <=11.

* Het programma kan ook gebruikt worden voor het analyseren van het effect van windowfuncties. Dit kan (naast het automatische rechthoekige window) geschieden via:

  - Het vermenigvuldigen van uw te analyseren functie met een zelf te creeren windowfunctie uit de genoemde elementaire basisfuncties.

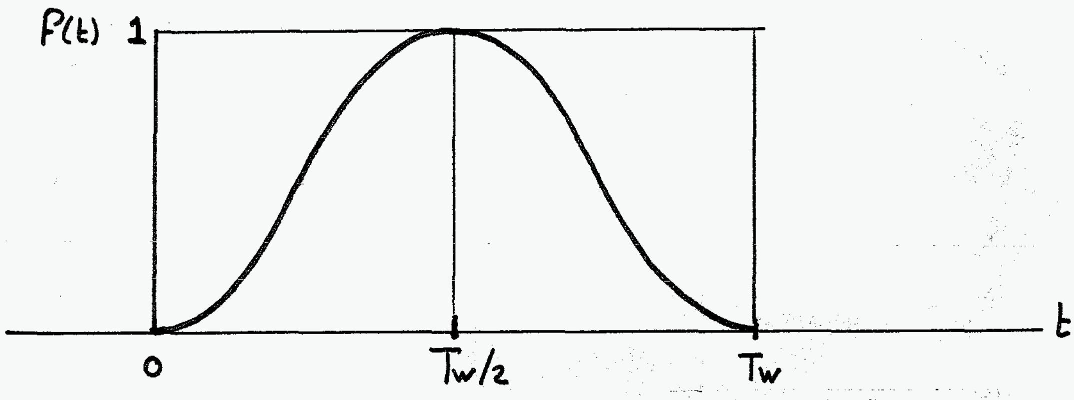
  - Gebruik te maken van de standaard exponentieele window functie: f(t)=(2*t/Tw)**w, [0<=t<=Tw], symmetrisch ten opzichte van Tw/2.

    Normaliter dient Tw daarbij gelijk te zijn aan T. De extra parameter Tw is ingevoerd om bij het analyseren van de windowfunctie zelf via de Sampling-Time T het frequentiebereik te kunnen sturen.



Figuur p1. Exponentieele Window functie.

- Gebruik te maken van de standaard HANNING-Window functie f(t)=0.5-0.5*cos(2*pi*t/Tw).



Figuur p2. Hanning window functie.

* De FFT procedure bepaalt de fouriergetransformeerde in het frequentiegebied [0,Fmax], waarbij Fmax=N/T [Hz]. De resultaten in de grafieken bestrijken het frequentiegebied [0,Fn], waarbij Fn=Fmax/2.="Folding Frequency".

  De transformaties naar de frequentiebereiken [0,Fmax] of [-Fn,Fn] geschieden eenvoudig door uzelf op basis van de fundamenteele eigenschappen van de FFT methodiek.

* Na het berekenen van de FFT van een basisfunctie kan via de inverse FFT procedure teruggetransformeerd worden naar de basisfunctie f(t). Dit geeft enige informatie over de nauwkeurigheid van de FFT transformatie.

* De FFT procedure is ontleend aan: D.E.Newland "An Introduction to Random Vibrations and Spectral Analysis", Longman, London, 1975, Appendix 2.

* De uitvoer van het rekenprogramma bestaat achtereenvolgens uit:

  -Plot met de basisfunctie f(t) op [0,T]
  -Plot met Re{F} en Im{F} op [0,Fn]
  -Plot met Mod(F) en Arg(F) op [0,Fn]
  -Nyquist plot {Im(F) als functie van Re(F)}

Indien de terugtransformatie verlangd wordt tevens:
-Plot met f'(t) op [0,T]
f'(t)=FFT.INV van F(f).

* Het programma kan gebruikt worden vanaf een Tektronix T4014 beeldscherm of een HP 2647A beeldscherm, verbonden aan de PRIME.

De algemene procedure daarbij is:

- Zet terminal aan.
- Log in via het intikken van: LOGIN BRAM
- Type vervolgens: R R

Als u aan de HP terminal werkt vervolgens
- SLIST W>HP (activeert de functietoetsen f1 t/m f6
- Ga over op de grafische mode via het indrukken van de f1-toets.

Het programma kan nu gestart worden door het intikken van:
SEG FFT

EEN VOORBEELD

Basisfunctie: f(t)=f1(t)*f2(t)+j(0)   (Dus zuiver reeel)

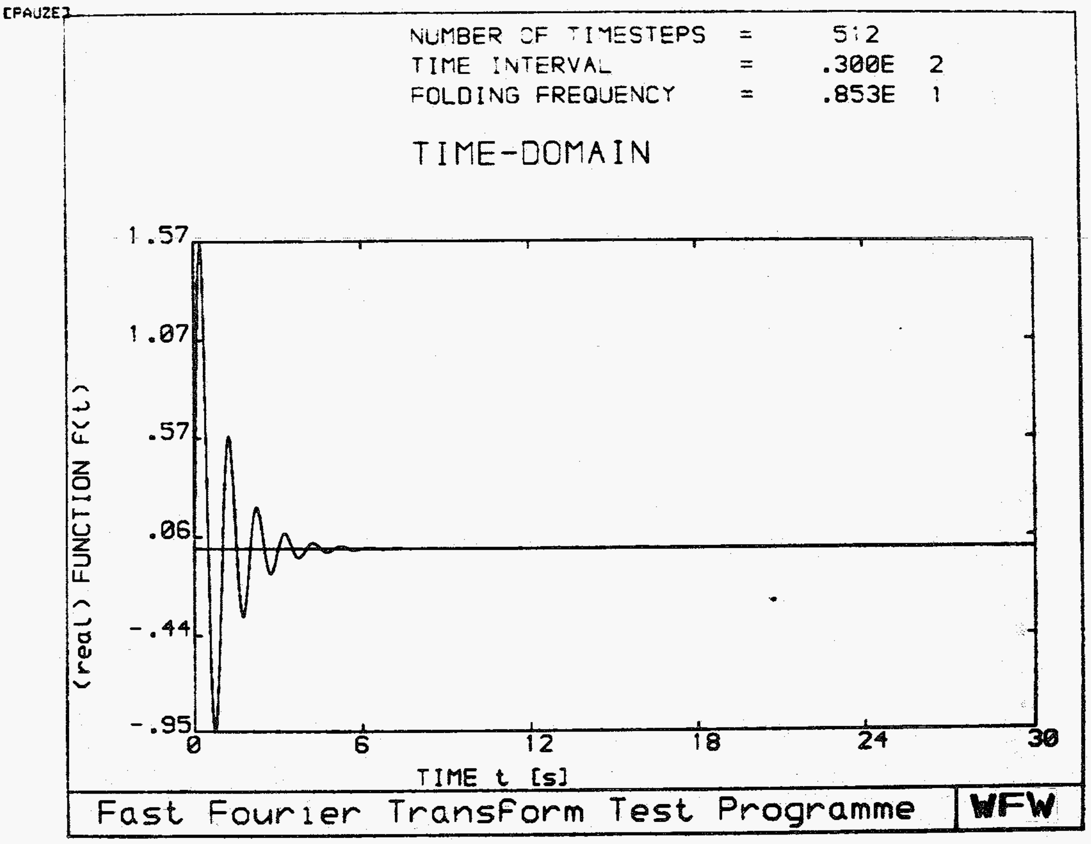
```
               f1(t)=A*cos(2*pi*f*t + phi)
                     f=1
                     phi=-pi/2
                     A=1

               f2(t)=A*exp(-B*t)
                     A=2
                     B=1
```

Tijdsinterval T=30
Aantal tijdstappen N=512

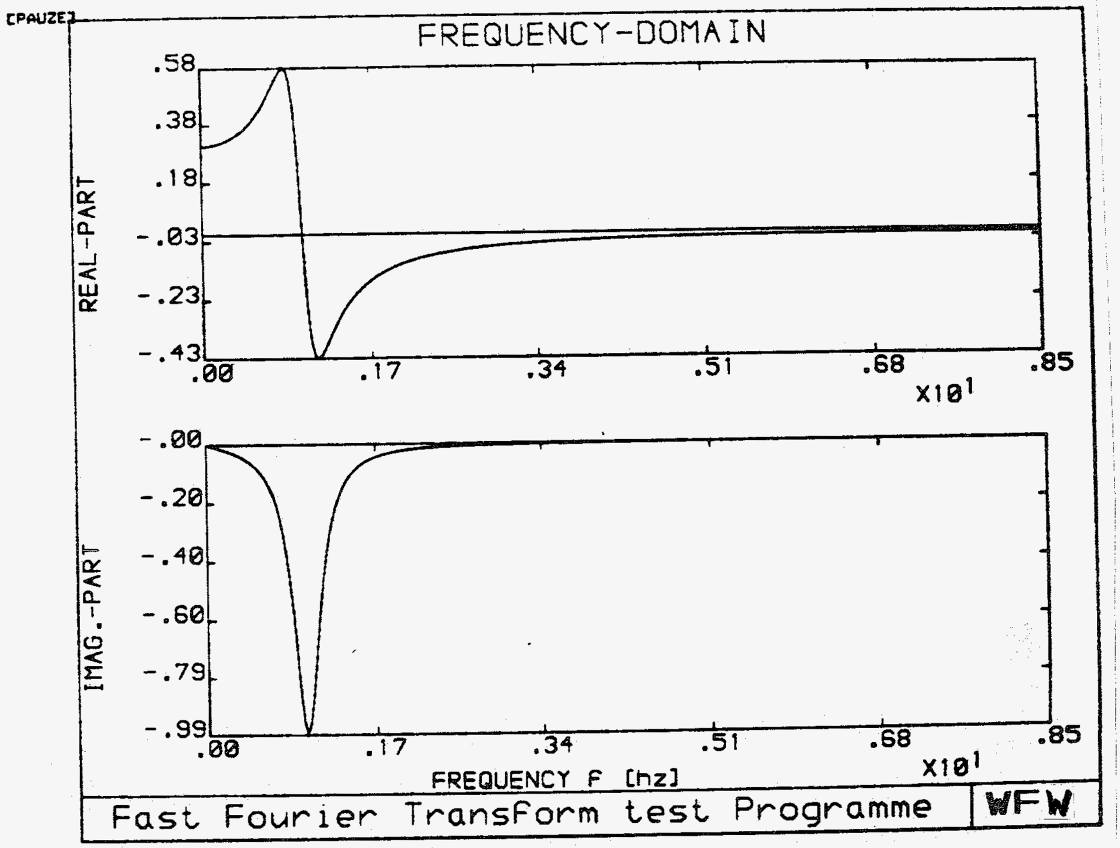
****

```
SEG FFT
 IN HET PROGRAMMA ZIJN PAUZES INGELAST, AANGEGEVEN DOOR
 [PAUZE], U GAAT VERDER DOOR HET INDRUKKEN VAN DE
 [RETURN] TOETS


 ***************************************************
 ***                                             ***
 ***         F.F.T. TEST PROGRAMMA               ***
 ***         WFM, juni 1982                      ***
 ***                                             ***
 ***         INF. A. de Kraker                   ***
 ***         WHOOG 0.134                         ***
 ***                                             ***
 ***************************************************

 AANTAL TIJDSSTAPPEN=
512
 TOTALE TIJD  T=
30
 IS UW UITGANGSFUNKTIE:
   1: ZUIVER REEEL
   2: ZUIVER IMAGINAIR
   3: ALGEMEEN KOMPLEX
1




    REEELE DEEL
 ********************
    BASISFUNKTIES:

   1:       f(t)=Konstante
   2:       f(t)=Stapfunktie
   3:       f(t)=Blokfunktie
   4:       f(t)=Harmonische funktie
   5:       f(t)=Exponentieele funktie
   6:       f(t)=Exponentieele window funktie
   7:       f(t)=HANNING window
   8:       f(t)=DIRAC funktie
 WELKE FUNKTIE KIEST U :
4
 FUNCTIE f(t)=A*cos(2*pi*FREQ*t+PHI)
    A=
1
    FREQ=
1
    PHI=
-1.5708
 WILT U DE FUNKTIE MET NOG EEN FUNKTIE KOMBINEREN,
 ZO,JA (1), ZO NIET (0):
1
```

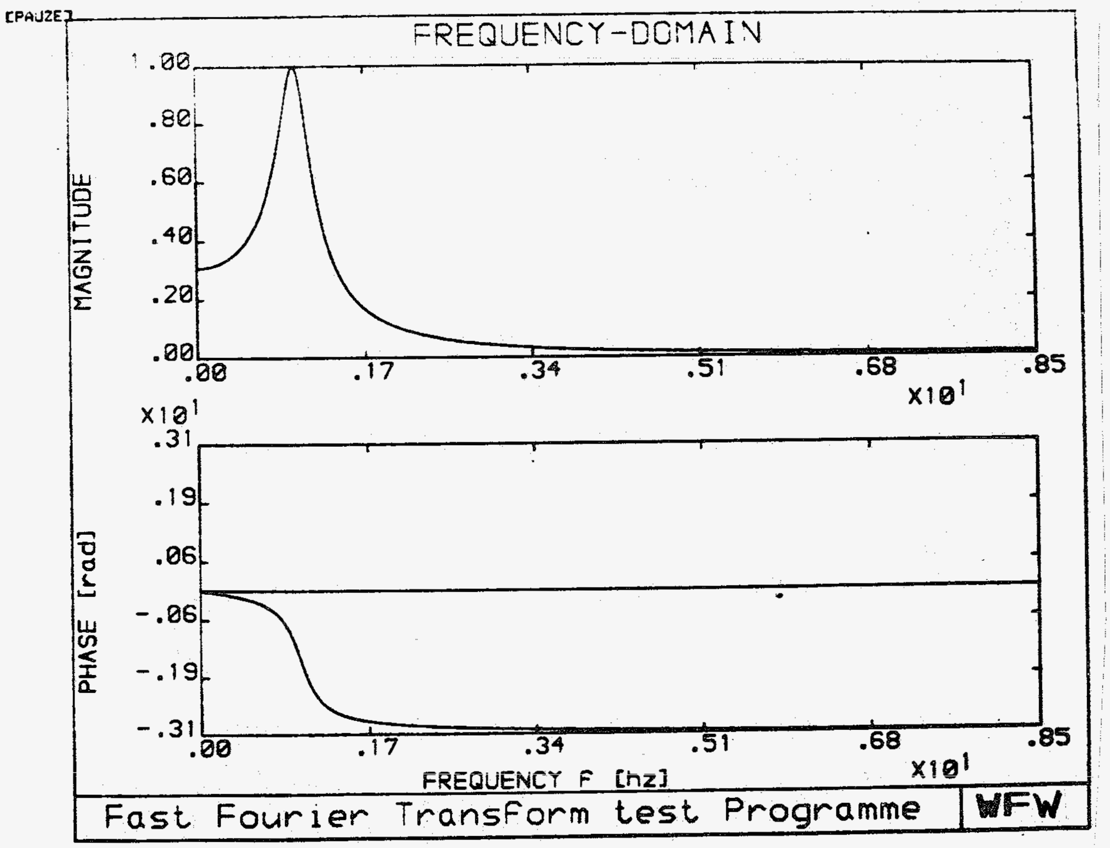
```
BASISFUNKTIES:

  1:     f(t)=Konstante
  2:     f(t)=Stapfunktie
  3:     f(t)=Blokfunktie
  4:     f(t)=Harmonische funktie
  5:     f(t)=Exponentieele funktie
  6:     f(t)=Exponentieele window funktie
  7:     f(t)=HANNING window
  8:     f(t)=DIRAC funktie
 WELKE FUNKTIE KIEST U :
5
 FUNCTIE f(t)=A*exp(-B*t)
     A=
2
     B=
1
 WILT U DE FUNKTIE T.O.V. DE VORIGE FUNKTIE:
     1: OPTELLEN
     2: AFTREKKEN
     3: VERMENIGVULDIGEN
     4: DELEN
3
 WILT U DE FUNKTIE MET NOG EEN FUNKTIE KOMBINEREN,
 ZO,JA (1), ZO NIET (0):
0
```



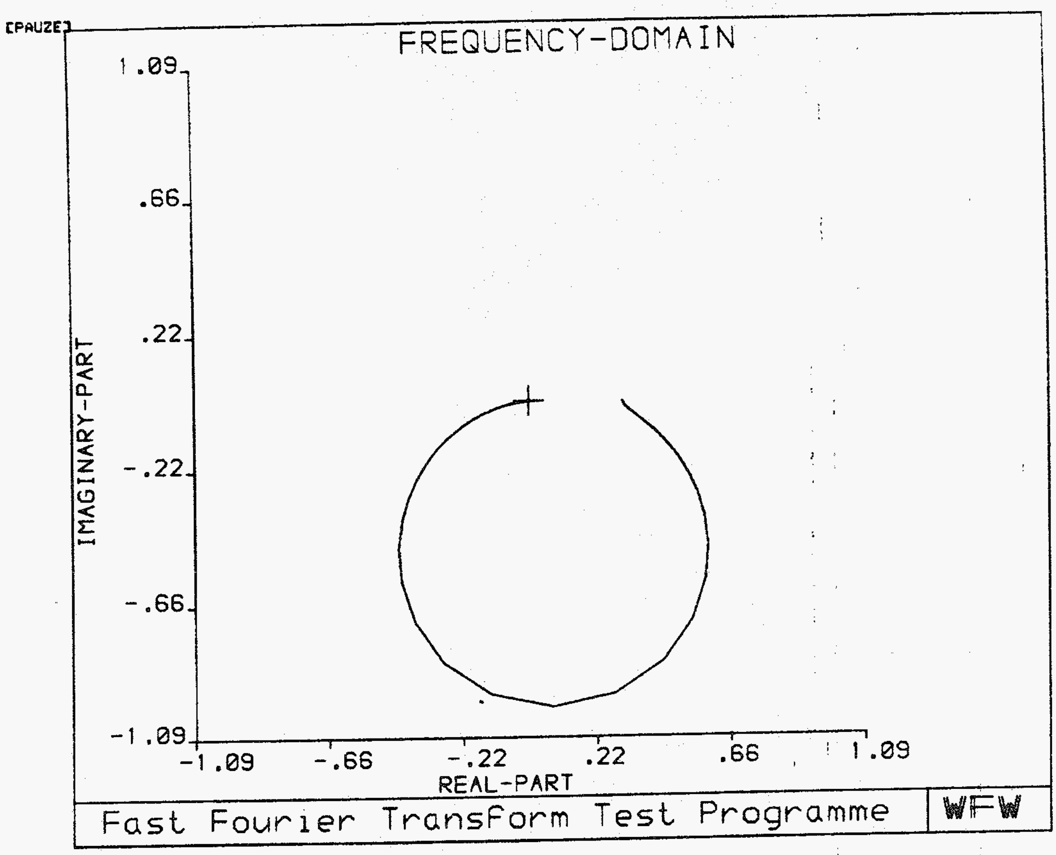
Figuur 1. Basisfunctie f(t)



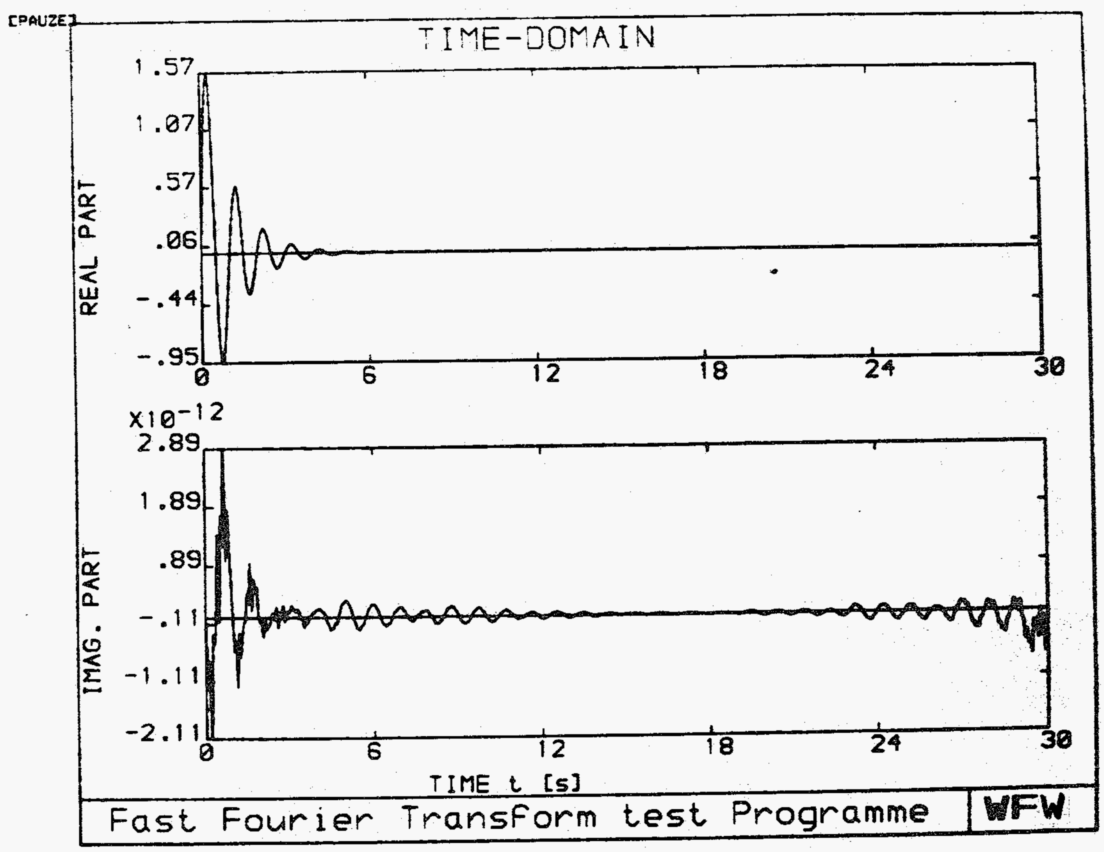
Figuur 2. FFT van f(t)



Figuur 3. FFT van f(t)



Figuur 4. Nyquist plot van de FFT.



Figuur 5. De teruggetransformeerde f'(t).

OEFENINGEN

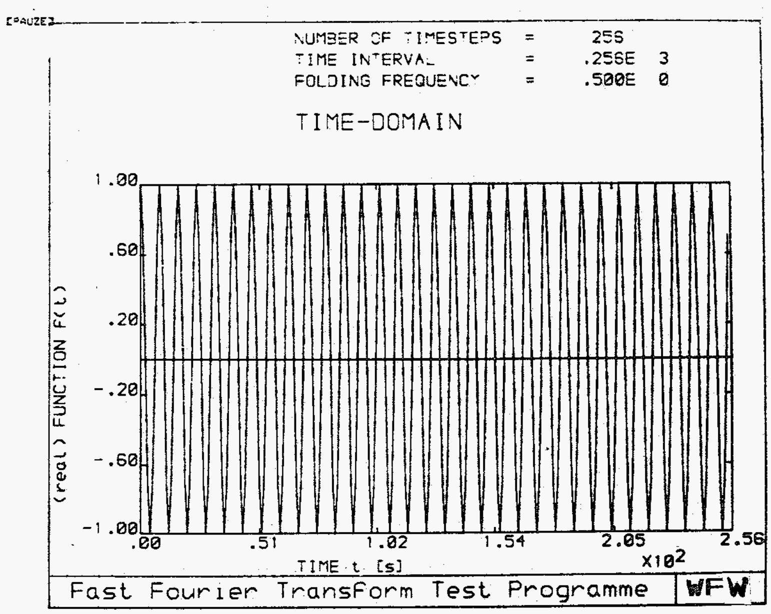
****
OEFENING 1.
****

Bepaal de Fouriergetransformeerde van een basisfunctie via het rekenprogramma van de functie:

f(t)=A*cos(2*pi*fo*t + phi), waarbij
A=1
fo=0.125 [hz]
phi=0 [rad]
T=256 [s]
N=256

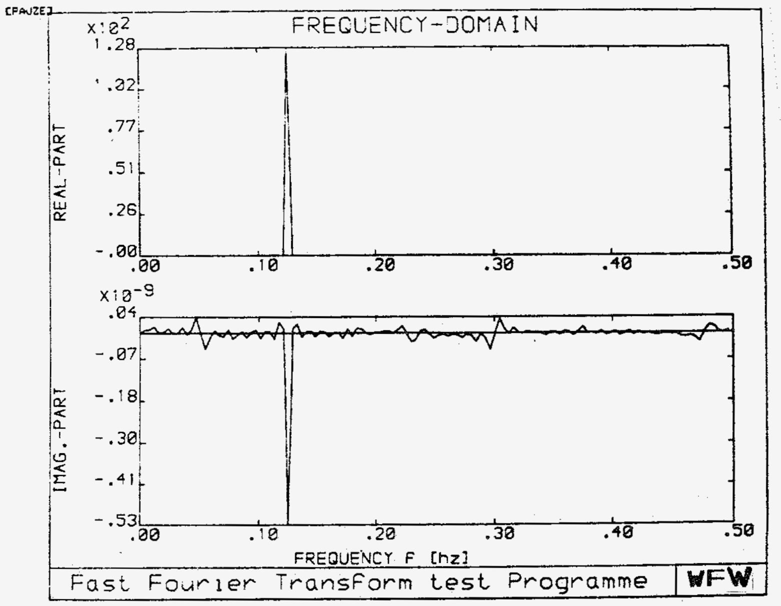
Realiseer U dat de trillingstijd To van dit periodieke signaal To=8 [s], dus we beschrijven precies 32 periodes.

Run het programma, het resultaat is weergegeven in de figuren 6 t/m 9.

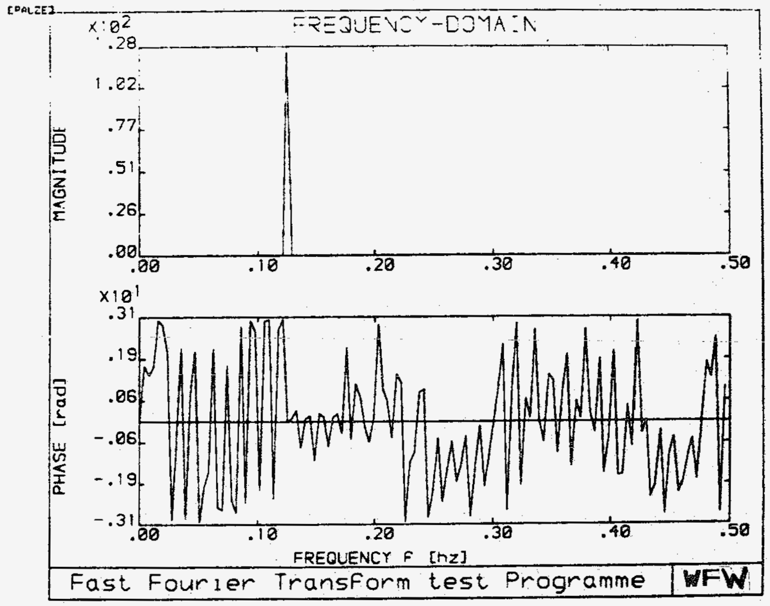


Figuur 6. De basisfunctie

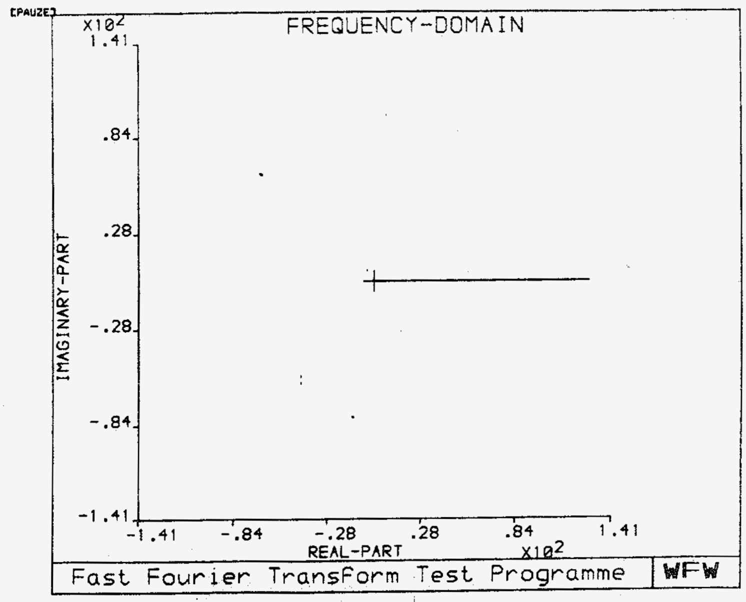
Figuur 7. Reeel en imaginair deel van de FFT van f(t).



Figuur 8. Mod(f) en arg(F).



Figuur 9. Nyquist plot.



Interpreteer en verklaar zoveel mogelijk de resultaten met als uitgangspunt de <u>exakte</u> Fouriergetransformeerde van f(t)=Acos(2*pi*f*t): namelijk

F(f)=A*A/2*[(delta(f-fo)+delta(f+fo)]

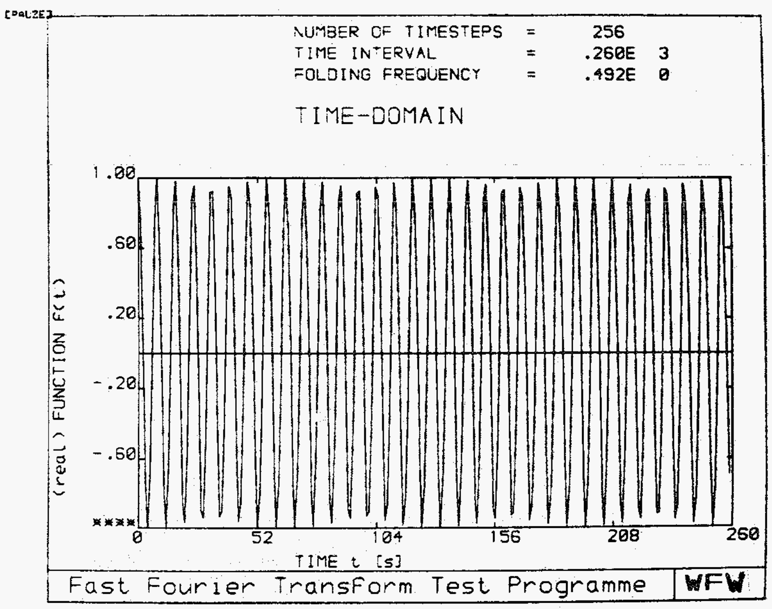
****
OEFENING 2.
****

In oefening 1 hebben we de FFT bepaald van een harmonisch signaal waarbij het tijdvenster precies een veelvoud was van de periodetijd van het periodieke signaal. We zullen nu nagaan wat er gebeurt indien dit laatste niet het geval is.

Bepaal de FFT van:

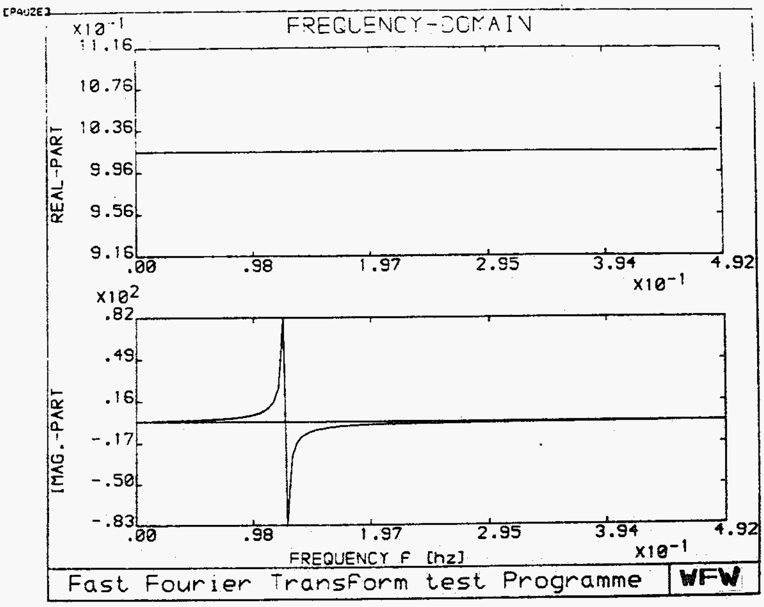
f(t)=Acos(2*pi*fo*t+phi), waarbij
A=1
fo=0.125 [Hz]
phi=0 [rad]
T=260 [s] !!!
N=256

Het resultaat blijkt te zijn zoals weergegeven in de figuren 10 t/m 13.

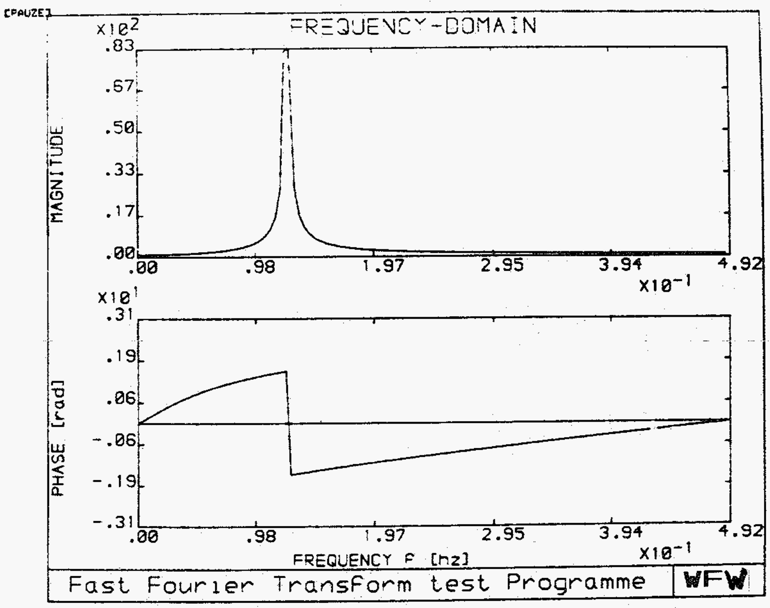


Figuur 10. De Basisfunctie.

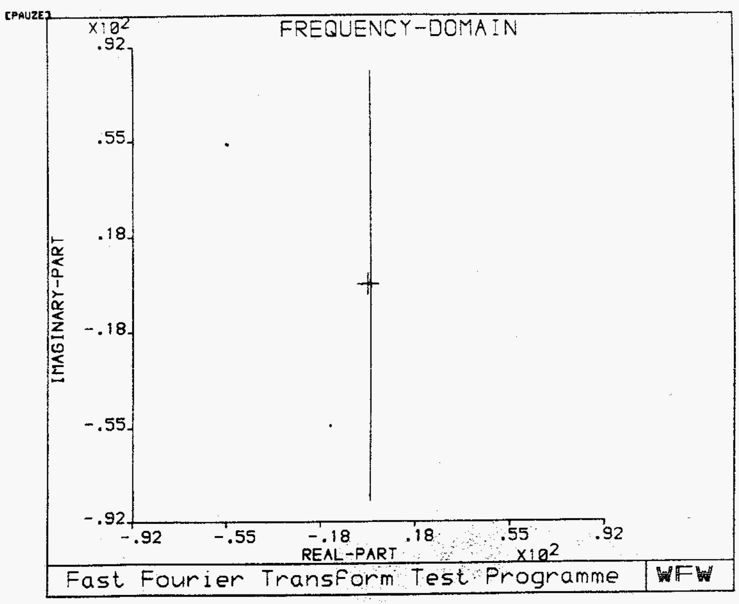
Figuur 11.



Figuur 12.



Figuur 13.



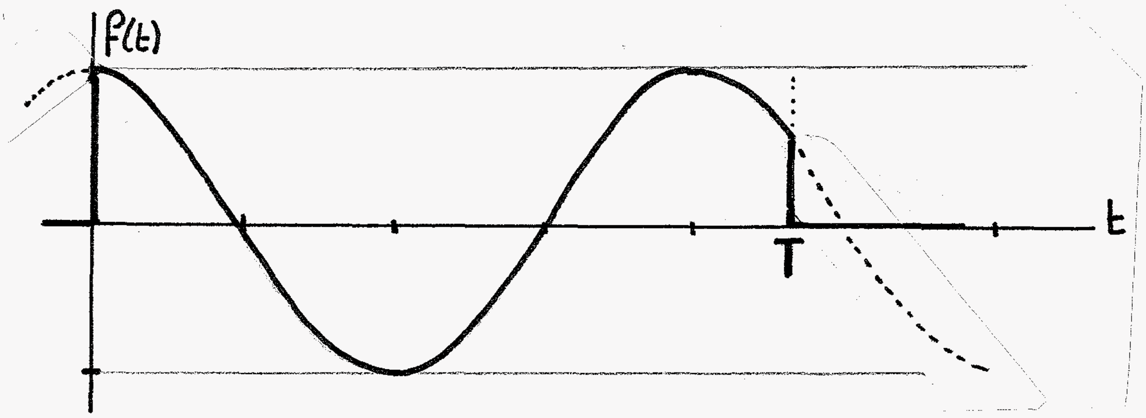
Vergelijkt U de Figuren 11,12 en 13 met de figuren 7,8 en 9.

Het essentieele verschil tussen de situatie waarbij het tijdvenster een geheel aantal malen de periodetijd is en de situatie waarbij dit niet het geval is bestaat uit het overgaan van een echte "pulsfunctie" in een "uitgesmeerde pulsfunctie" met een aantal "zijlobben".

Dit fenomeen heet signaal-lek en we zullen de oorzaak hiervan analyseren.

SIGNAAL-LEK

Het uitgangspunt is het bepalen van de fouriergetransformeerde F(f) van een harmonisch signaal f(t) in het tijdvenster [0,T]. (zie figuur 14)



Figuur 14. Harmonisch signaal.

We bepalen dus in feite de FFT van de dik getrokken functie f'(t) waarbij:

f'(t)=f(t)*fs(t)
met:
f(t)=cos(2*pi*f*t)
fs(t)=blokfunctie op het interval [0,T]

Vermenigvuldiging in het tijddomein komt overeen met de convolutie in het frequentiedomein dus voor de Fouriergetransformeerden geldt:

F'(f)=F(f) ⊗ Fs(f)

De exakte fouriergetransformeerde van f(t) kennen we, deze is namelijk de DIRAC- functie:

F(f)=[delta(f-fo)+delta(f+fo)]/2.

Via het rekenprogramma bekijken we de Fouriergetransformeerde Fs(f) van fs(t).

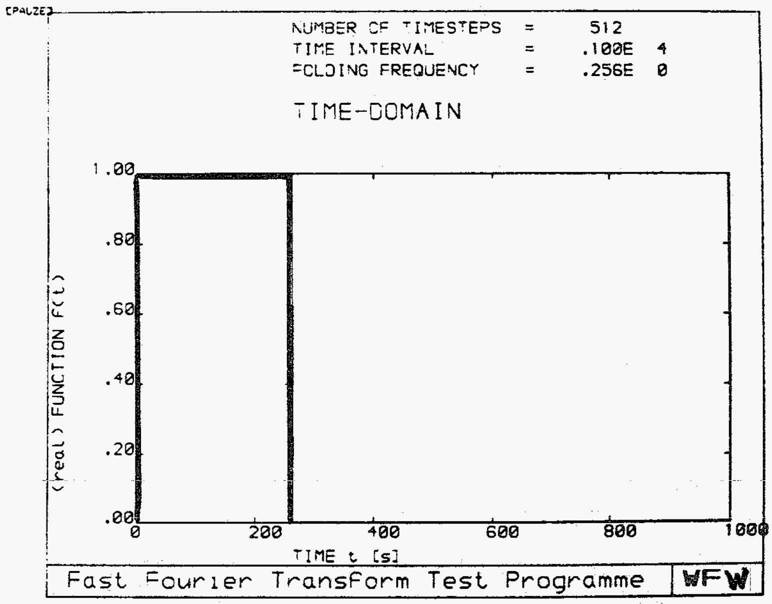
****
OEFENING 3.
****

Bepaal de FFT van de "Blokfunctie":

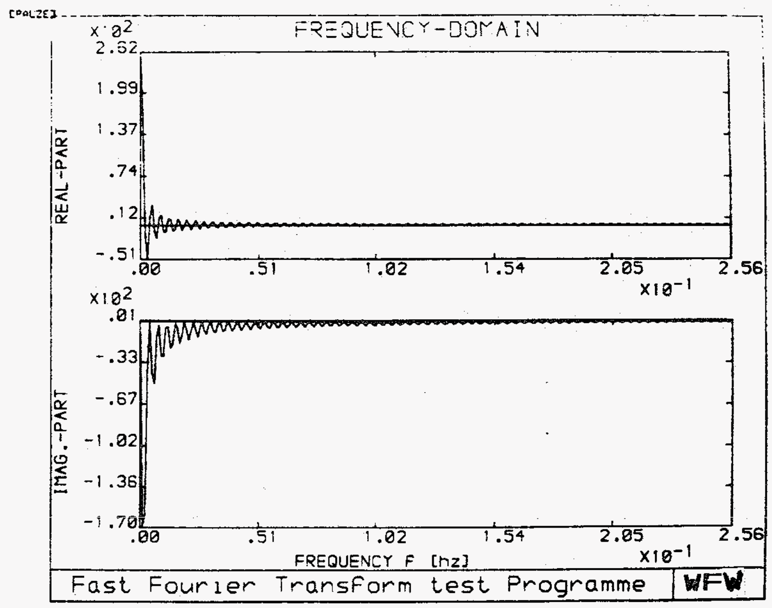
$$f(t)=\begin{cases} 0, & t<0,\ t>260. \\ 1, & 0<=t<=260. \end{cases}$$

Neem hierbij N=512 en T=1000. Het resultaat is weergegeven in de figuren 15 t/m 18.

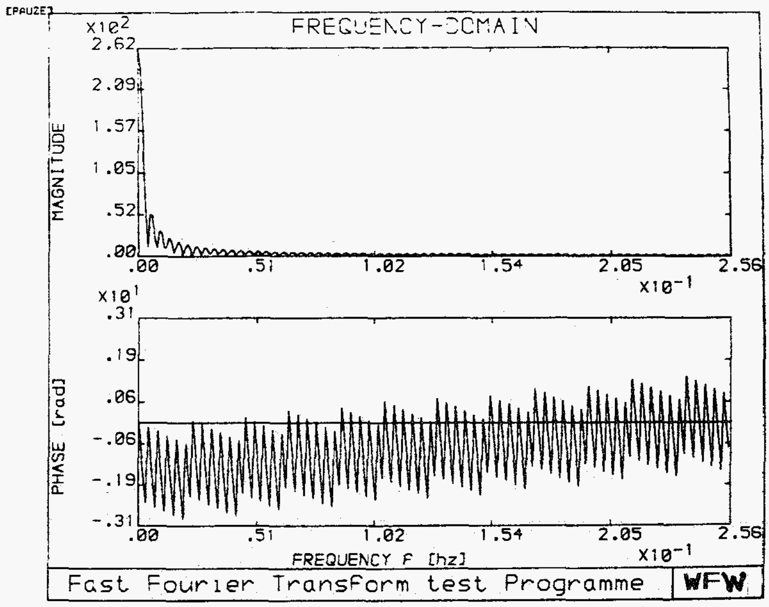
Figuur 15. De Blokfunctie.



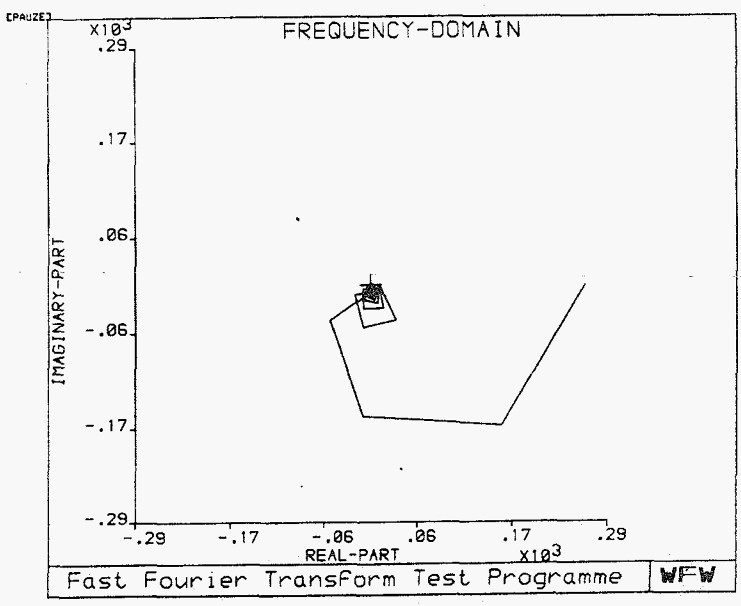
Figuur 16.



Figuur 17.



Figuur 18.



We krijgen dus voor de FFT van de Blokfunctie het hierboven weergegeven resultaat. Voor het exakte geval gaat deze functie over in een sin(f)/f functie. Voor de FFT van het harmonische signaal in het sampling interval krijgen we dus exakt de konvolutie van een Dirac-functie met deze sin(f)/f functie.

Evalueer dit resultaat en verklaar de resultaten van de oefeningen 1 en 2, met name de figuren:

Fig. 8: T=veelvoud van de periodetijd.
Fig.12: T≠veelvoud van de periodetijd.

Resumerend kan dus gesteld worden dat als het venster [O,T] niet een geheel aantal malen de periodetijd is van het periodieke signaal de FFT berekening een nogal afwijkend resultaat oplevert ten opzichte van de exakte Fouriergetransformeerde.

Dit uit zich in extra frequentie komponenten de z.g. SIGNAAL-LEK. Om deze signaal-lek te reduceren is het gewenst een "WINDOW-FUNCTIE" te hanteren welke in mindere mate het zijlobben effect bezit als de sin(f)/f functie, behorend bij het rechthoekige venster.

****
OEFENING 4.
****

Het gebruik van WINDOW-functies

Het rekenprogramma biedt 3 mogelijkheden voor het analyseren van het effect van de toepassing van een windowfunctie, n.l.:

- # Standaard exponentieele window functie.
- # Standaard Hanning window functie
- # Door uzelf uit de basisfuncties te creeren windowfunctie.

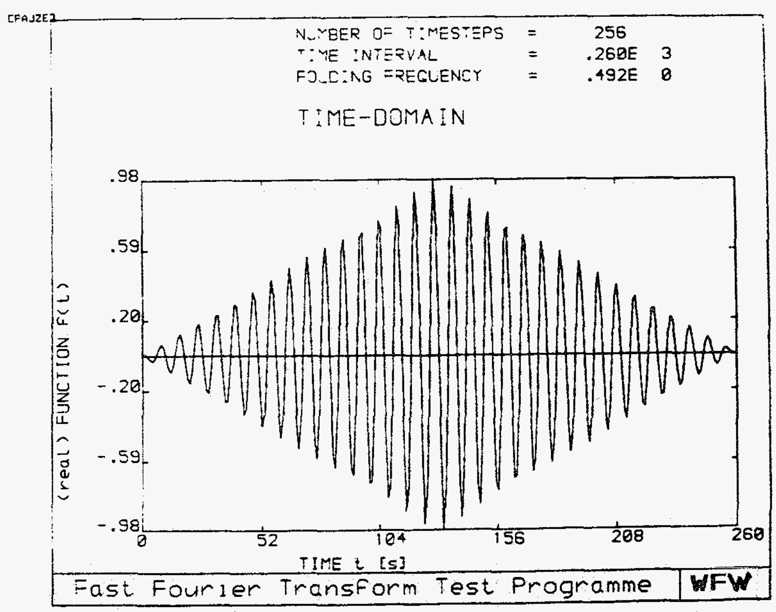
Bepaal de FFT van:

f(t)=Acos(2*pi*f*t+phi)
met:
A=1
f=0.125 [hz]
phi=0 [rad]
T=260 [s]
N=256.

Vermenigvuldig deze functie met de exponentieele window functie met:

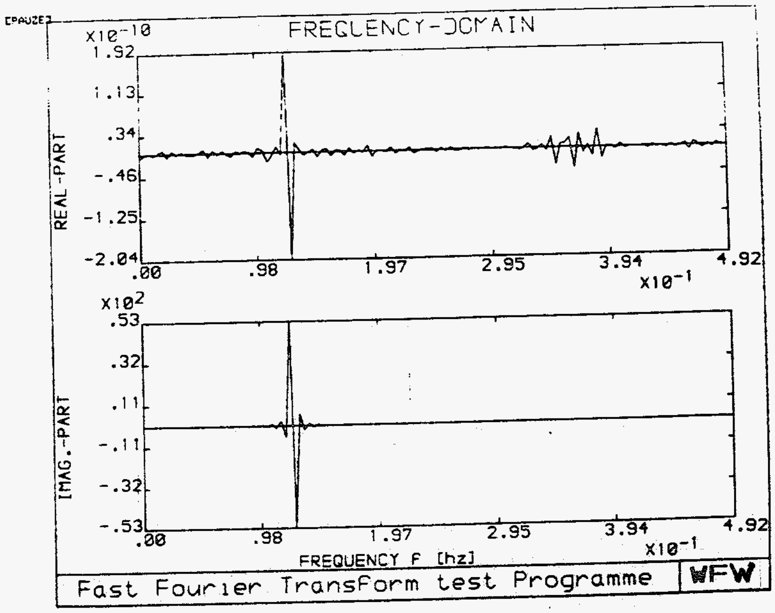
Parameter w=1.
Window-time Tw=T=260 [s].
(Dus een driehoekig window).

Het resultaat zal zijn: (Figuren 19 t/m 22).

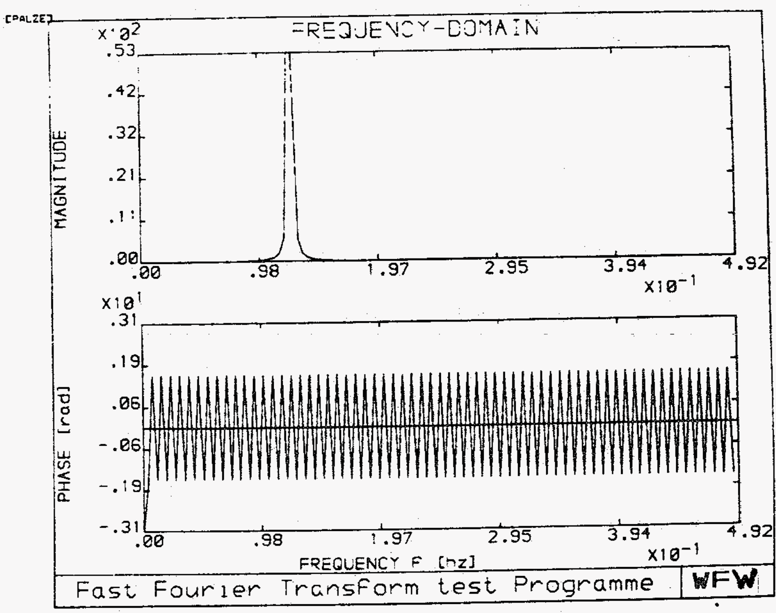


Figuur 19.

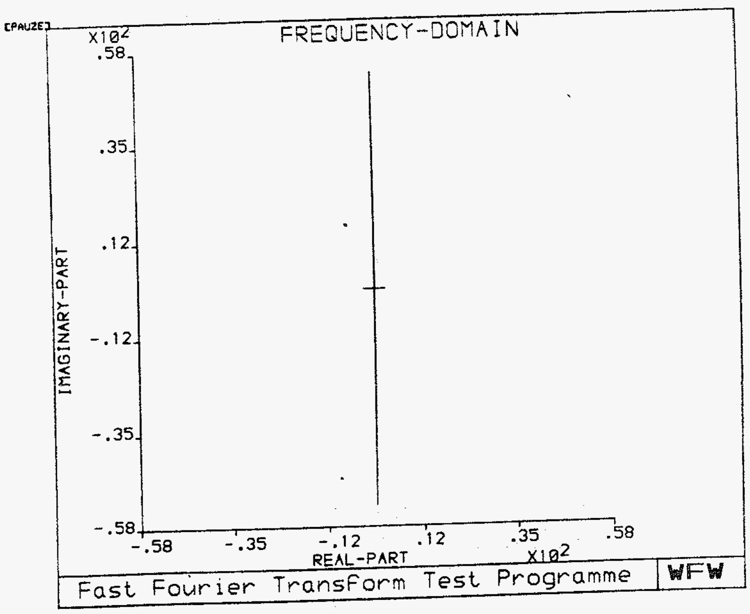
Figuur 20.



Figuur 21.



Figuur 22.



Evalueer het resultaat en vergelijk met name de "Amplitude-plaatjes" van de Figuren 8,12 en 21 .

Te konstateren valt dat de "signaal-lek" aanzienlijk te reduceren is. Daarentegen zal over het algemeen een "vlakkere" functie voor Mod(F) resulteren als benadering voor de echte pulsfunctie. Globaal kan gesteld worden dat een bredere, uitgesmeerde functie het gevolg zal zijn. Het gebruik van een window functie is echter ondanks dat een vaak noodzakelijk doch acceptabel alternatief.

****
Verdere oefeningen
****

* Herhaling van oefening 4 ,maar nu met andere window-parameters, bijvoorbeeld w=0.1, w=3.

* Herhaling van oefening 4 maar nu met het HANNING-window.

* Analyseer de windowfuncties zelf, bijvoorbeeld met:

  T=1000
  Tw=260 (window-time)
  (Zie ook Appendix B.)

```
****************
*  APPENDIX A  *
****************
```

Eenvoudig voorbeeld van een DFT

De grondslag voor het benaderen van de Fouriergetransformeerde F(f) van een functie x(t) via DISKRETE fouriertransformatie wordt gegeven door de relatie:

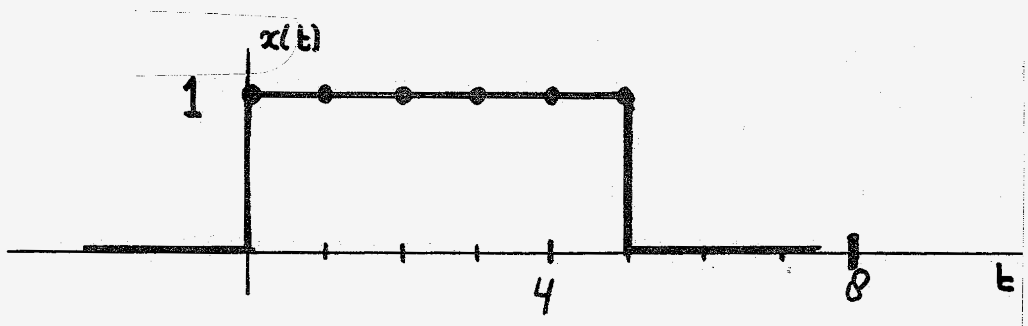
$$FN[n]=\sum_{k=0}^{k1-1} X[k] * W^{n*k} \qquad (n=0,1,2,3,...N-1)$$

waarbij:

```
X[k]     =delta(T)*x[k*delta(t)]
k1       =aantal tijdstappen.
T        =sampling time, deze bepaald het tijdvenster
           [0,T].
delta(t)=tijdstap=T/k1.
N        =aantal frequentie intervallen.
```

We zullen nu de DFT uitrekenen voor een zeer eenvoudige blokfunctie x(t), namelijk:

$$x(t)=\begin{cases} 1 & 0<=t<=5 \\ 0 & t<0 \text{ en } t>5. \end{cases}$$



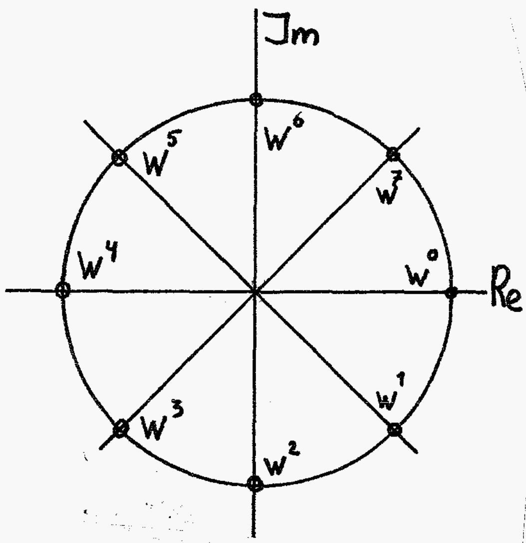
Figuur A1. De blokfunctie.

Verder nemen we aan:

```
k1=8  (=2**3 !!)
N =8
T =8 [s]
```

We zien dus dat: Maximale frequentie =1/delta(t)=1 [Hz]
Folding frequency = 0.5 [Hz]
delta(f)=fmax/8=0.125 [Hz]

Het W-vlak levert dan: (N=8)



$W^0 = (1) + j\ (0)$

$W^1 = (1/\sqrt{2}) + j\ (-1/\sqrt{2})$

$W^2 = (0) + j\ (-1)$

$W^3 = (-1/\sqrt{2}) + j\ (-1/\sqrt{2})$

$W^4 = (-1) + j\ (0)$

$W^5 = (-1/\sqrt{2}) + j\ (1/\sqrt{2})$

$W^6 = (0) + j\ (1)$

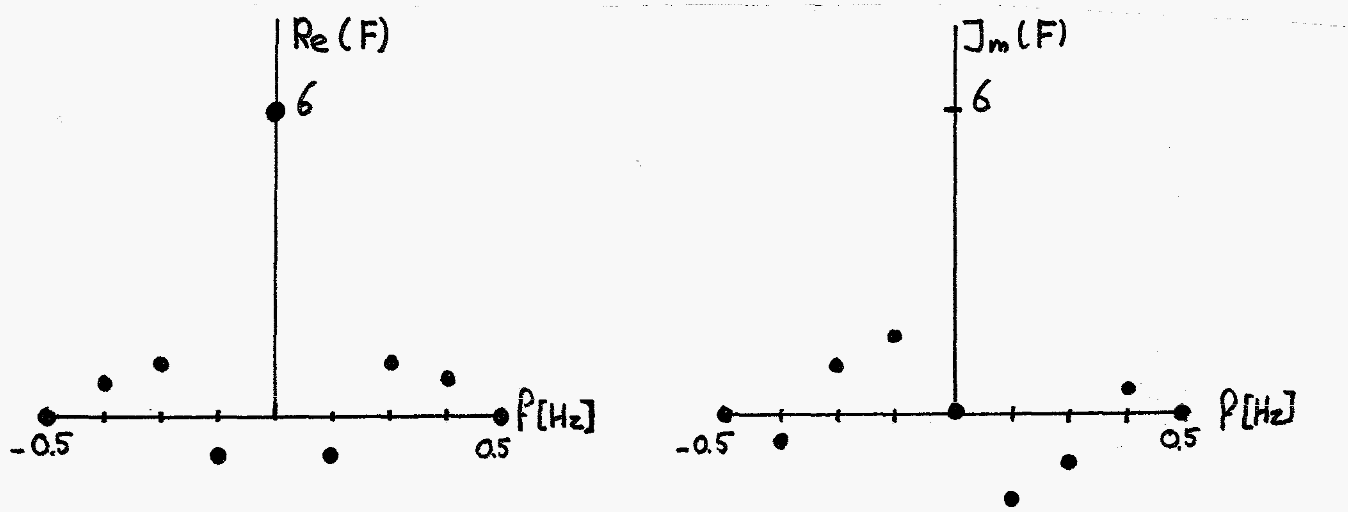
$W^7 = (1/\sqrt{2}) + j\ (1/\sqrt{2})$

$W^8 = W^0.$

Daarmee krijgen we:

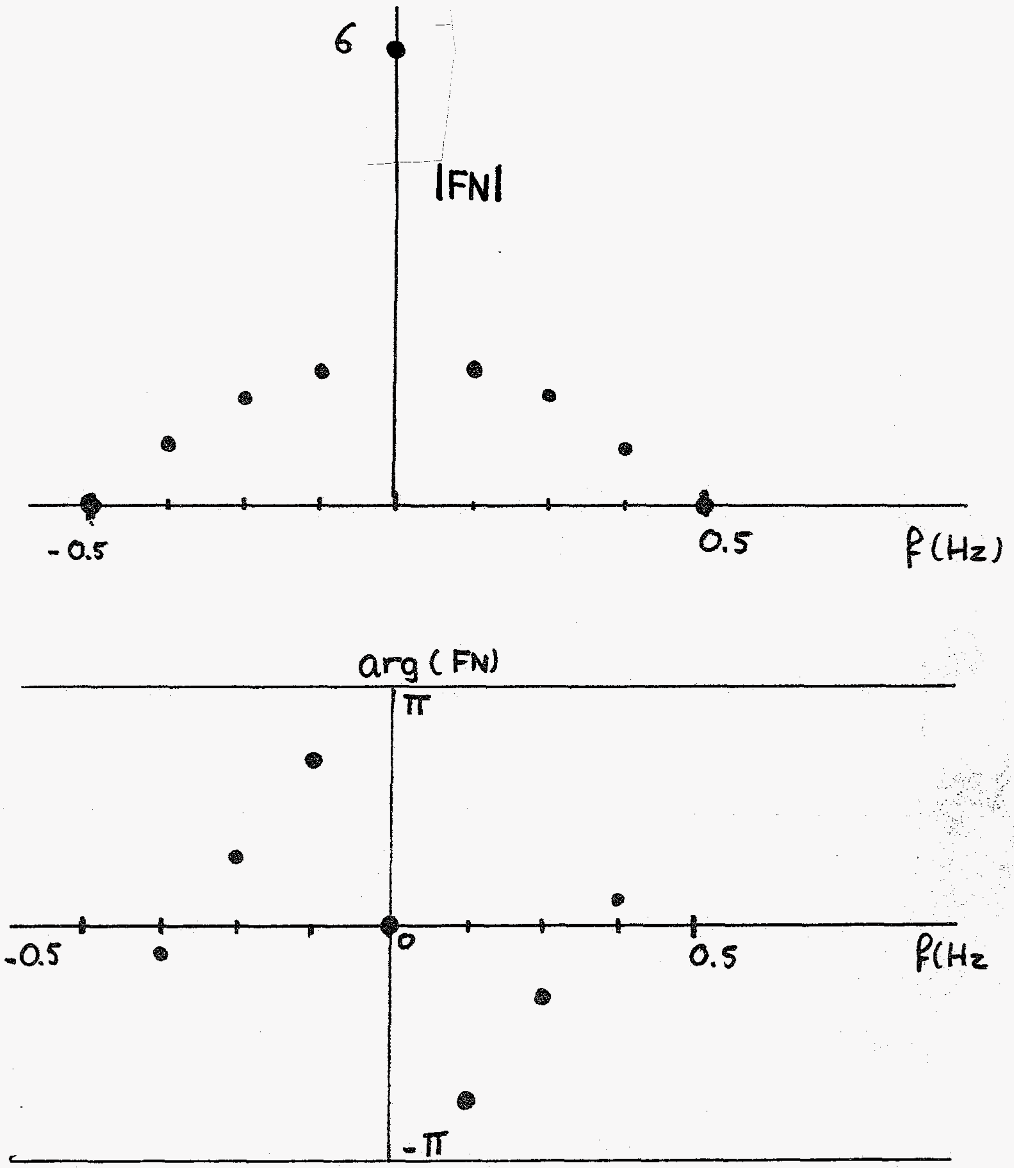
$FN[0]=1*W^0+1*W^0+1*W^0+1*W^0+1*W^0+1*W^0=6 + j\ (0)$
$FN[1]=1*W^0+1*W^1+1*W^2+1*W^3+1*W^4+1*W^5=-1/\sqrt{2} + j\ (-1-1/\sqrt{2})$
$FN[2]=1*W^0+1*W^2+1*W^4+1*W^6+1*(W^8=W^0)+1*(W^{10}=W^2)=1 + j\ (-1)$
$FN[3]=1/\sqrt{2} + j\ (1-1/\sqrt{2})$
$FN[4]=0 + j\ (0)$
$FN[5]=W^0+W^5+(W^{10}=W^2)+(W^{15}=W^7)+(W^{20}=W^4)+(W^{25}=W^1)=1/\sqrt{2} + j\ (-1+1/\sqrt{2})$
$FN[6]=1 + j\ (1)$
$FN[7]=-1/\sqrt{2} + j\ (1+1/\sqrt{2})$
$FN[8]=FN[0]$

Het reele respectievelijk imaginaire deel van de komplexe grootheid FN[j] is weergegeven in figuur A2 voor het interval [-fn<=f<=fn], fn="folding frequency".



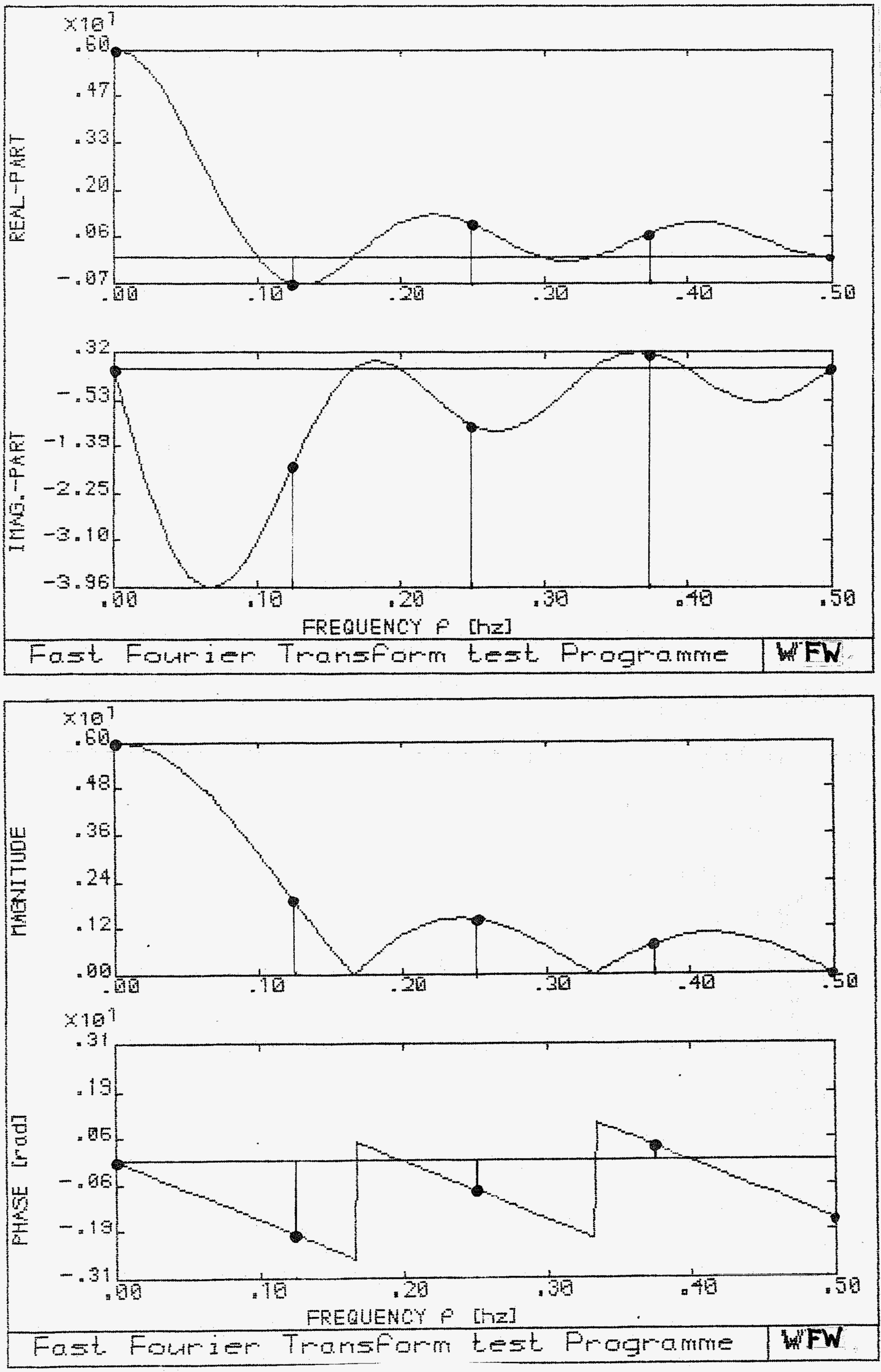
Figuur A2. Re(F) en IM(f).

Een tweede wijze van weergave van de DFT (FN[j]) is het afbeelden van de Modulus Mod(F) en het argument Arg(F). Dit is geschiedt in Figuur A3.



Figuur A3.

Opmerkingen:
* Het argument van FN[4]=0+j(0) is onbepaald.
* Uit de resultaten kan de bevestiging gezien worden van F(fn+f)=F(-fn+f), Het "vouwen".
* Gebruik is gemaakt van $F(f)=\overline{F(-f)}$.
* Ter verificatie van de resultaten is in figuur A4 de DFT weergegeven, gebaseerd op een veel groter aantal tijdstappen,n.l. k1=N=512, T=512[s].(Overeenkomstige punten aangegeven).


X10[1]
.60
.47
.33
.20
.06
-.07
REAL-PART
.00
.10
.20
.30
.40
.50
.32
-.53
-1.39
-2.25
-3.10
-3.96
IMAG.-PART
.00
.10
.20
.30
.40
.50
FREQUENCY f [hz]
Fast Fourier Transform test Programme
WFW
X10[1]
.60
.48
.36
.24
.12
.00
MAGNITUDE
.00
.10
.20
.30
.40
.50
X10[1]
.31
.19
.06
-.06
-.19
-.31
PHASE [rad]
.00
.10
.20
.30
.40
.50
FREQUENCY f [hz]
Fast Fourier Transform test Programme
WFW

Figuur A4.

Enige opmerkingen over de Fast Fourier transform.
****

Kijkend naar de basisrelatie voor de DFT kan eenvoudig worden ingezien dat bij gelijk aantal tijds- en frequentiestappen k1=N voor het bepalen van de DFT globaal N*N Komplexe rekenoperaties dienen te worden uitgevoerd, dus 4*N*N standaard rekenoperaties. Voor grote N (N=bijv. 2048) leidt dit tot lange rekentijden.

Indien echter N geschreven kan worden als:

$$N = \prod_{i=1}^{p} r = r_1 * r_2 * r_3 \ldots * r_p$$

waarbij de r_i's allemaal integers zijn >1 kan dit rekenproces op een uiterst slimme manier sterk gereduceerd worden. Indien we n.l. aannemen dat N=2 (dus een macht van 2) geldt dus:

$$N = \prod_{i=1}^{p} 2 \qquad \text{(alle } r_i \text{ 's zijn 2)}$$

kan aangetoond worden dat het aantal rekenoperaties reduceerd tot : 4Np, dus een reductieverhouding van:

$$\text{Reductie} = \frac{4*N*N}{4*4*N*p} = \frac{N}{4*p}$$

Indien bijvoorbeeld N=1024 (p=10), betekent dit een reductie van 1024/40=25. !!

De FFT is het vernuftig algorithme dat op deze eigenschap is gebaseerd. De resultaten zijn echter (afgezien van numerirke verschillen) identiek aan die verkregen via het directe DFT algorithme.

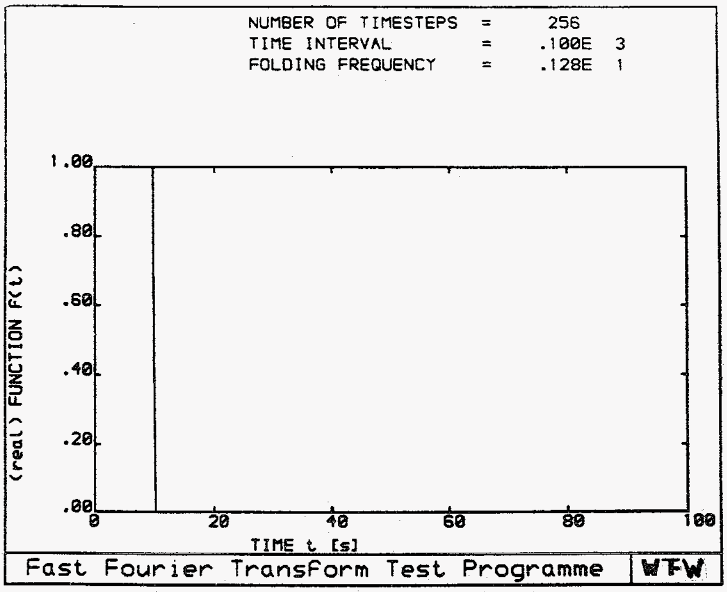
****
* APPENDIX B *
****

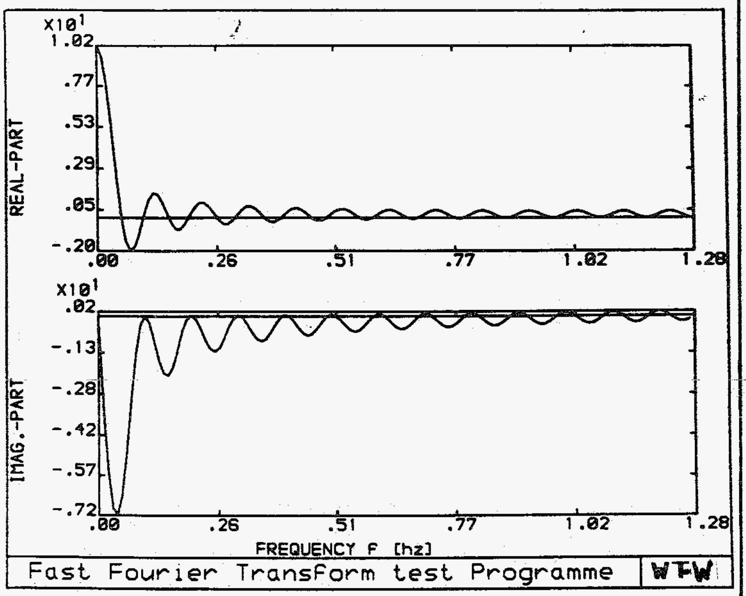
Window functies.

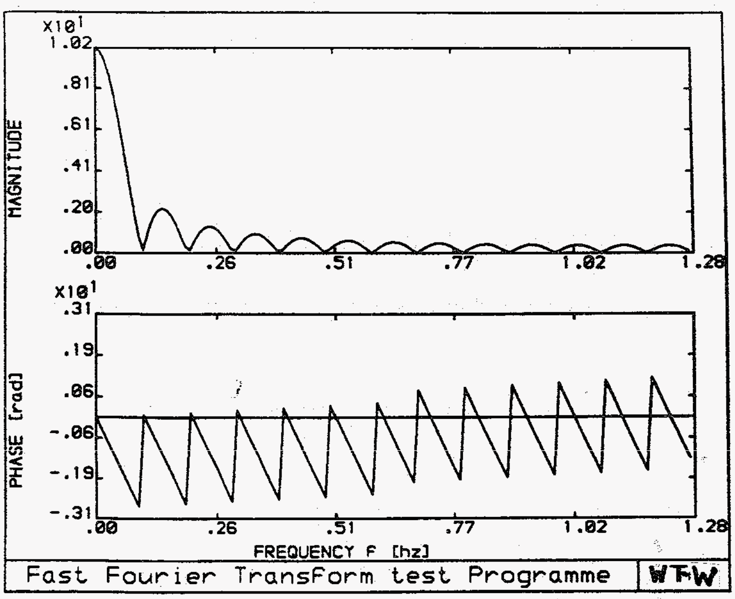
* Rechthoekig window.
* Hanning window.
* Exponentieel window w=0.1
* Exponentieel window w=1
* Exponentieel window w=3

- Window functies op interval [0,10]
- N=256
- T=100

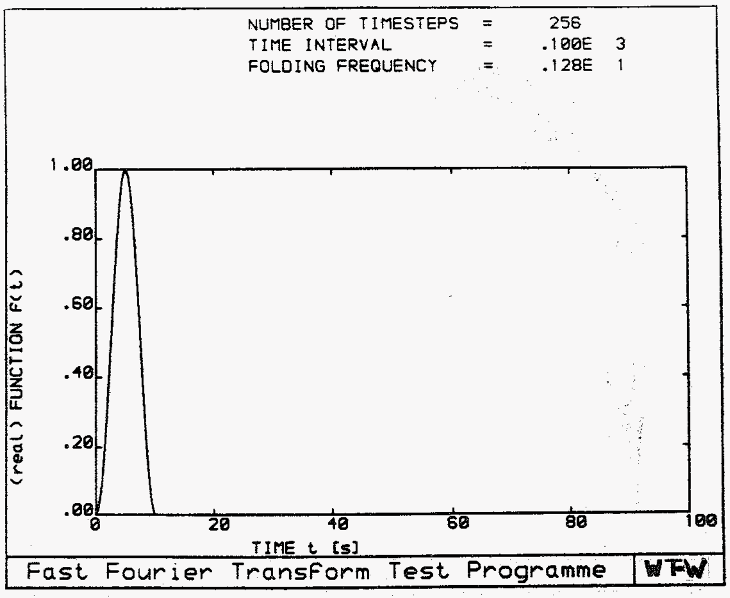
rechthoekig window

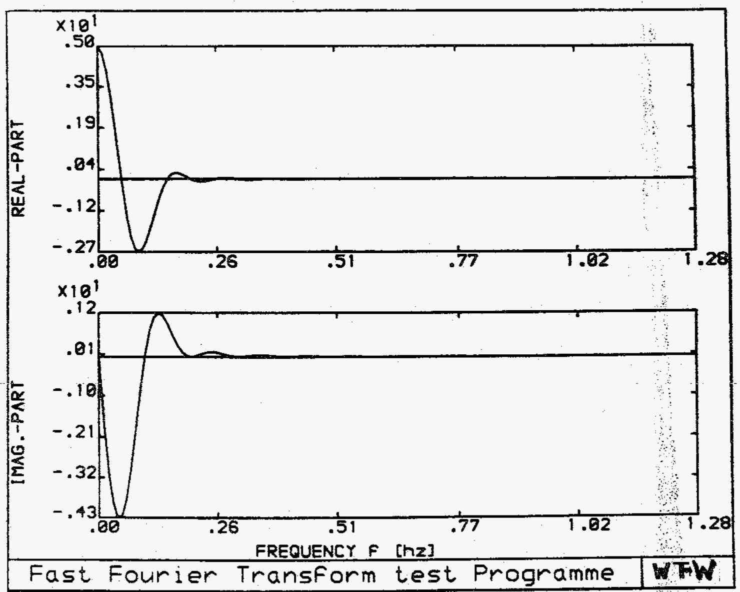


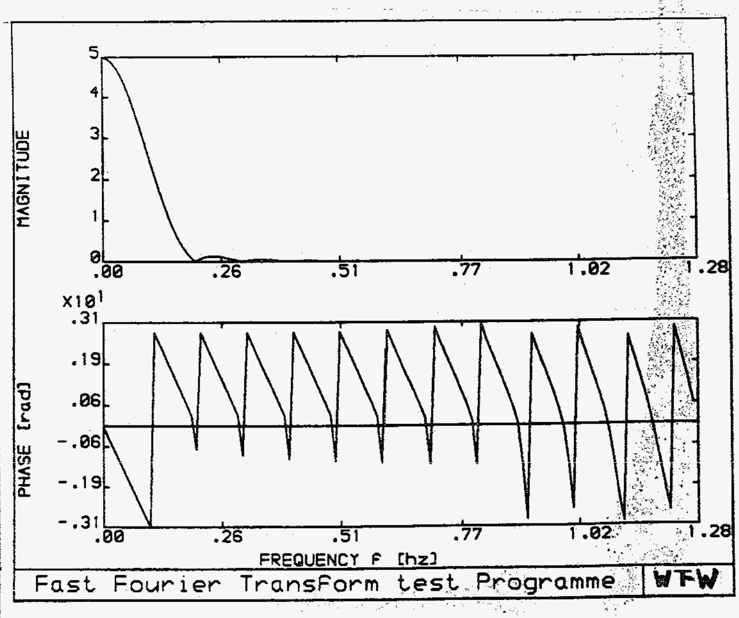




Hanning window

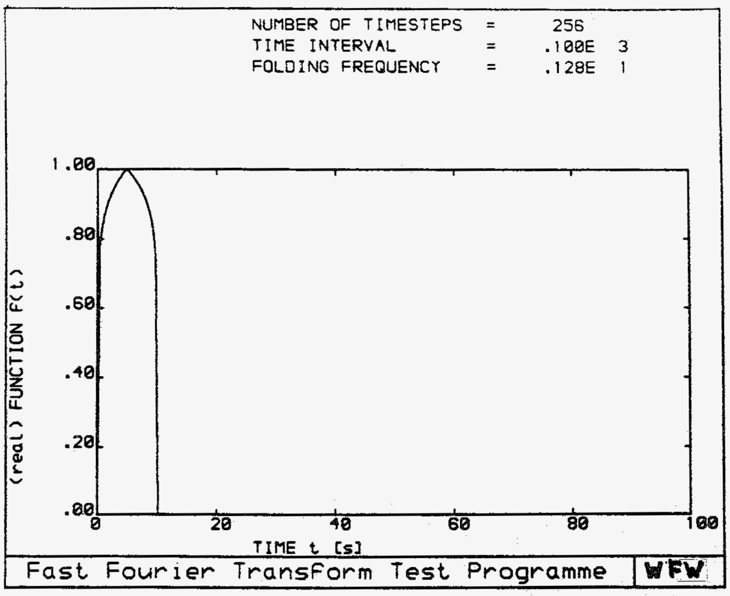




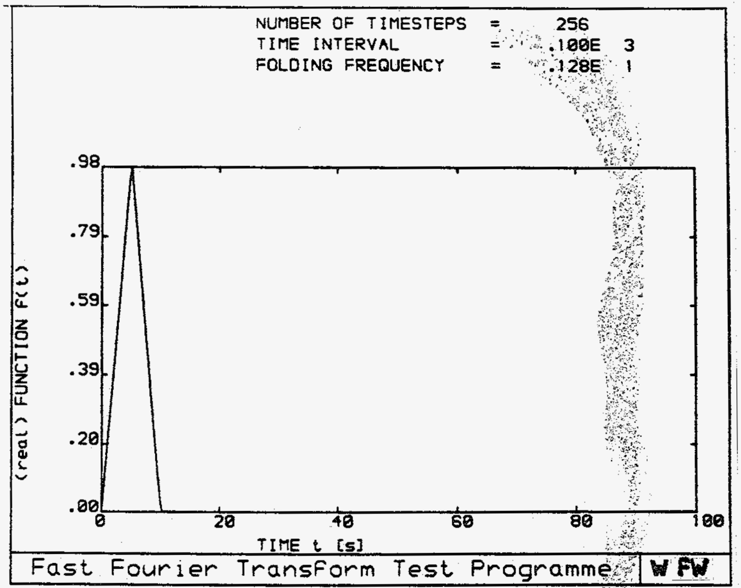


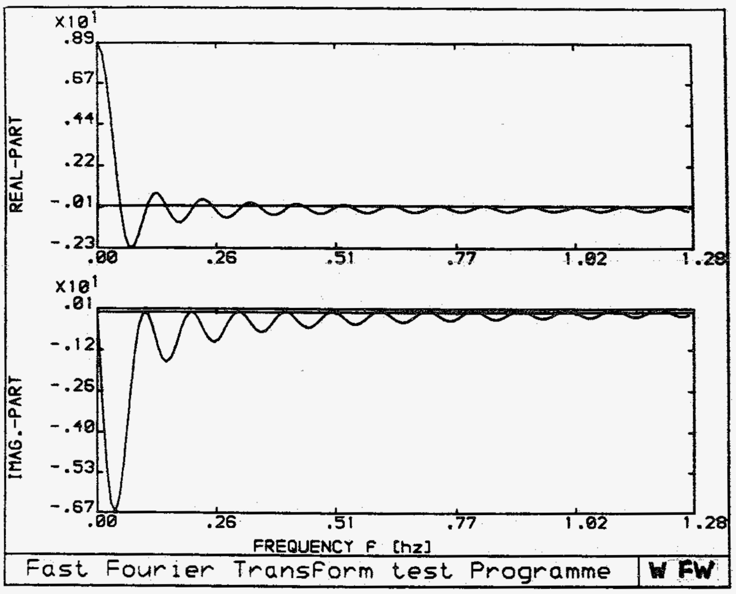
Exponentiëele windows

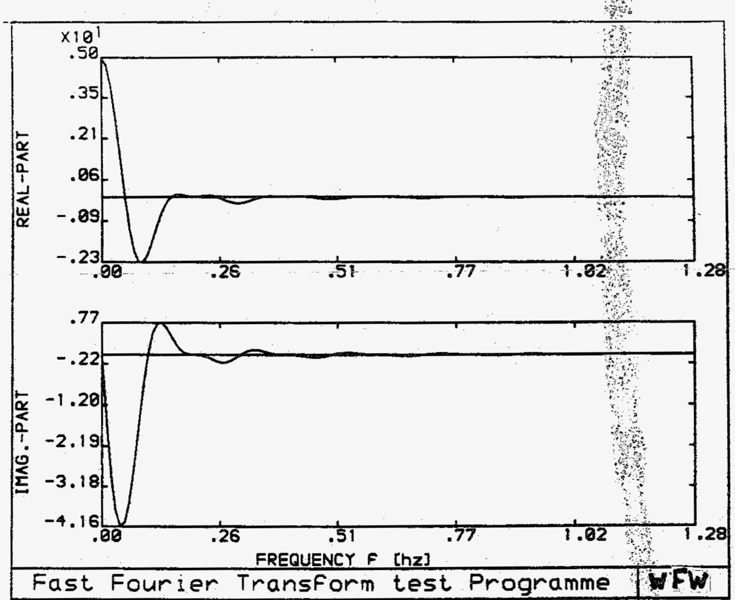
W= 0.1

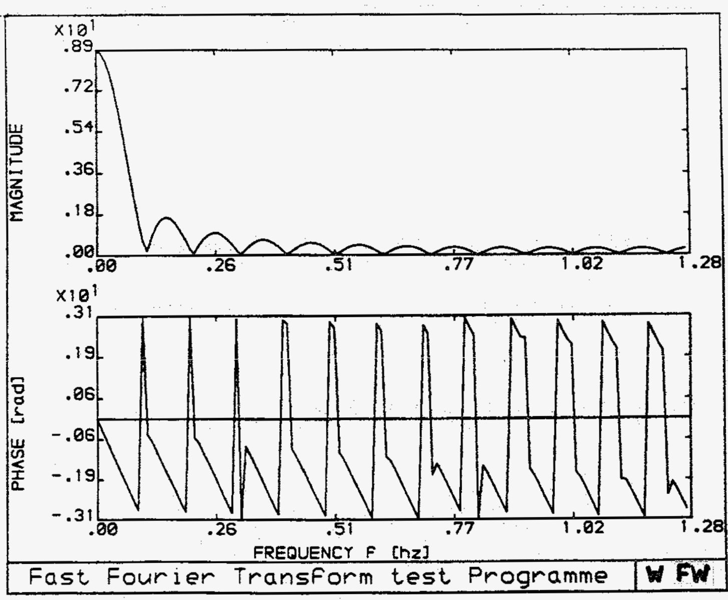


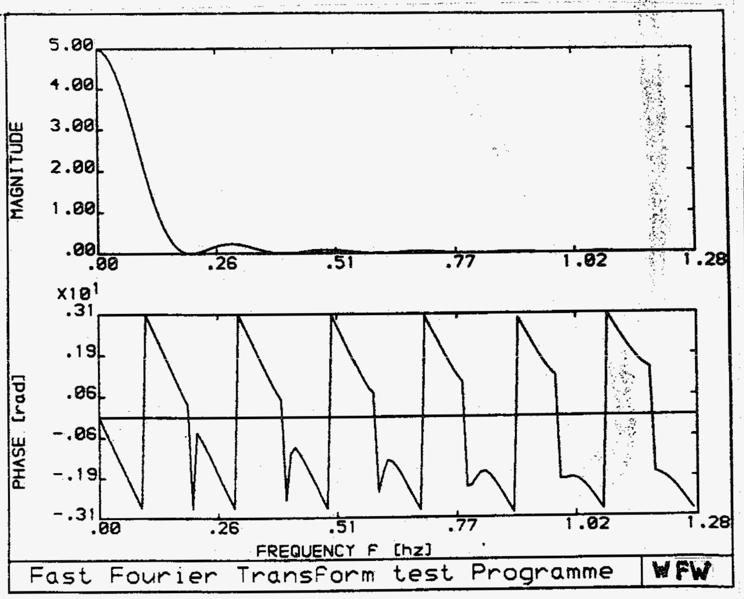
W=1.





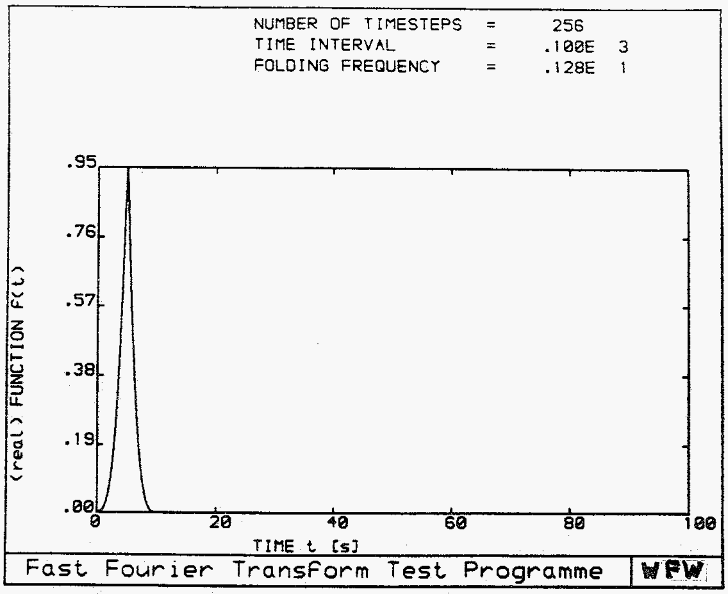


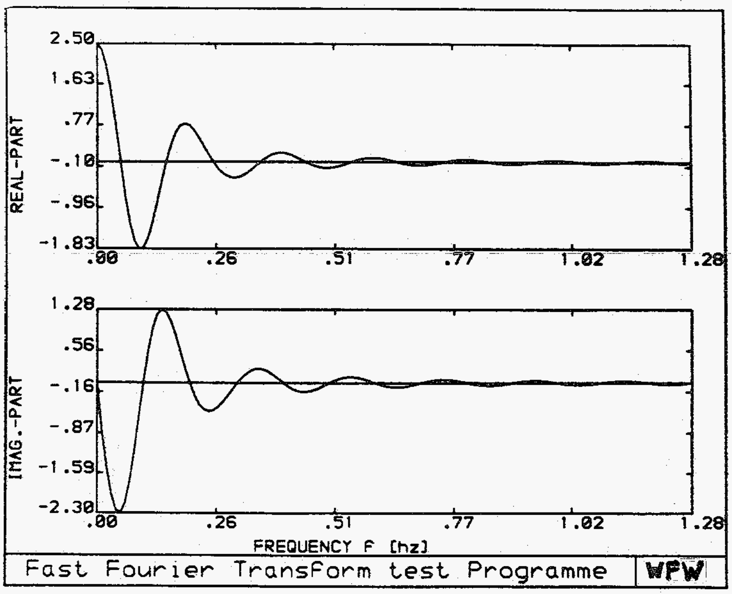


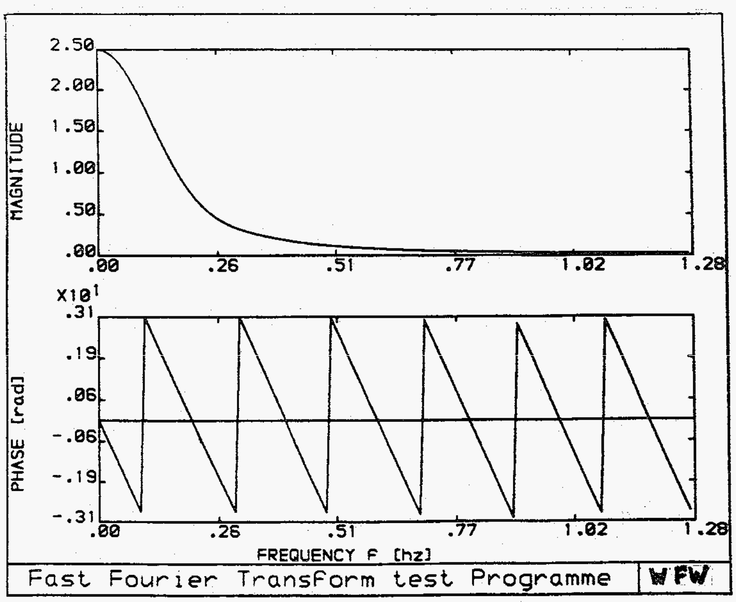


Exponentieel window

W= 3.0







****
* APPENDIX C *
****

Het Rekenprogramma

```
C ********************FFT - PRIME TEST PROGRAMMA ***********
C
C                     DATE JUNI 1982
C                     INF. BY A. DE KRAKER
C                     WHOOG 0.134
C
C ***********************************************************
      REAL*8 TD,FTOT,AR,AI,FR,FI
      INTEGER*4 NPOWER,ND
      DIMENSION AR(2048),AI(2048),XVAL(2048),YVAL(2048)
      DIMENSION FR(2048),FI(2048)
  100 FORMAT(' WILT U:',/,
     *       ' 1:   DOORGAAN',/,
     *       ' 0:   STOPPEN')
  110 FORMAT(' WILT U DE TERUGTRANSFORMATIE:',/,
     *       ' 1:    JA',/,
     *       ' 0:    NEEN')
C 120 FORMAT(' AAN WELKE TERMINAL WERKT U:',/,
C    *       ' 1:   Tektronix T4014',/,
C    *       ' 2:   HP2647A')

C
   13 FORMAT(' *****************************************************'/
     2       ' ***                                               ***'/
     3       ' ***          F.F.T. TEST PROGRAMMA                ***'/
     4       ' ***          WFM, juni 1982                       ***'/
     5       ' ***                                               ***'/
     6       ' ***          INF. A. de Kraker                    ***'/
     7       ' ***          WHOOG 0.134                          ***'/
     8       ' ***                                               ***'/
     9       ' *****************************************************'//)
   30 FORMAT(' IN HET PROGRAMMA ZIJN PAUZES INGELAST, AANGEGEVEN DOOR',/,
     1       ' [PAUZE], U GAAT VERDER DOOR HET INDRUKKEN VAN DE ',/,
     2       ' [RETURN] TOETS',////)
      CALL T4014
      WRITE(1,30)
C     WRITE(1,120)
C     READ(1,*) ITERM
C     GO TO (200,300), ITERM
C 200 CALL T4014
C     GO TO 250
C 300 CALL T4010
C     CALL SCALE(0.1)
C 250 CONTINUE
      WRITE(1,13)
C     CALL PLOTF ('FFT.PLOT',8,1,1,4,1)
 2000 CALL INPUT(ND,TD,NS,TS,NPOWER)
      DO 2001 I=1,ND
      FR(I)=0.0D0
      FI(I)=0.0D0
 2001 CONTINUE
      CALL FVANT(ND,FR,FI,XVAL,YVAL,TD,ICOMPL,NPOWER)
      CALL BASISF(FR,FI,NS,TS,XVAL,YVAL,ICOMPL)
      DO 10 I=1,NS
      AR(I)=FR(I)
      AI(I)=FI(I)
   10 CONTINUE
      FTOT=ND/TD
      CALL FFT(AR,AI,NPOWER,ND,TD)
      CALL PLOTRI(AR,AI,NS,TS,XVAL,YVAL)
      CALL RUST
      CALL MAGFA(AR,AI,NS,TS,XVAL,YVAL)
      CALL RUST
      CALL NYQUIS(AR,AI,NS,XVAL,YVAL)
      CALL RUST
      CALL PICCLE
      CALL SLEEP$(2000)
      WRITE(1,110)
      READ(1,*) IBACK
      IF (IBACK-1) 50,20,50
   20 CALL FFTINV(AR,AI,NPOWER,ND,FTOT)
      CALL REEIMA(AR,AI,NS,TS,XVAL,YVAL)
      CALL RUST
      CALL PICCLE
      CALL SLEEP$(2000)
   50 WRITE(1,100)
      READ(1,*) ICONTI
      IF (ICONTI-1) 1000,2000,1000
```

```
 1000 CALL DEVEND
      CALL EXIT
      END
C
C     ************************************************************
C
      SUBROUTINE PLTFT(AR,N,T,XVAL,YVAL,ITYPE)
      REAL*8 AR
      DIMENSION AR(N),XVAL(1),YVAL(1)
      FN=FLOAT(N)
      FN=FN/(2.0*T)
      DO 10 I=1,N
      J=I-1
      XVAL(I)=J*T/N
      YVAL(I)=SNGL(AR(I))
   10 CONTINUE
      CALL MAX(N,YVAL,YMAX)
      CALL MIN(N,YVAL,YMIN)
      CALL SCALEN(YMAX,YMIN)
      IF (ITYPE-1) 20,30,30
   20 CALL PRPLOT(0.,T,YMIN,YMAX,N,XVAL,YVAL,'TIME t [s]  ',12,
     *            '(real) FUNCTION f(t)',20)
      GO TO 25
   30 CALL PRPLOT(0.,T,YMIN,YMAX,N,XVAL,YVAL,'TIME t [s]  ',12,
     *            '(imag.) FUNCTION f(t)    ',24)
   25 CONTINUE
      CALL CHAANG(0.)
      CALL CHASIZ(5.,5.)
      CALL MOVTO2(150.,260.)
      CALL CHAHOL(24HNUMBER OF TIMESTEPS  =*.)
      CALL MOVTO2(275.,260.)
      CALL CHAINT(N,5)
      CALL MOVTO2(150.,250.)
      CALL CHAHOL(24HTIME INTERVAL        =*.)
      CALL MOVTO2(275.,250.)
      CALL CHAFLO(T,9)
      CALL MOVTO2(150.,240.)
      CALL CHAHOL(24HFOLDING FREQUENCY    =*.)
      CALL MOVTO2(275.,240.)
      CALL CHAFLO(FN,9)
      CALL MOVTO2(150.,220.)
      CALL CHASIZ(7.,7.)
      CALL CHAHOL(16HTIME-DOMAIN   *.)
      CALL MOVTO2(0.,0.)
      CALL CHAMOD
      RETURN
      END
C
C     **************************************************************
C
      SUBROUTINE FFT(AR,AI,N,NB,SCALE)
C     THIS SUBROUTINE CALCULATES THE D.F.T  OF A SEQUENCE
C     A(1),A(2),.....A(NB), WHERE NB=2**N,BY THE FFT METHOD.
C     SEE ALSO : RANDOM VIBRATIONS AND SPECTRAL ANALYSIS,
C     D.E. NEWLAND, APPENDIX 2.
C     LONGMAN, LONDON,1975.
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
      DIMENSION AR(NB),AI(NB)
C
C     DIVIDE ALL ELEMENTS BY NB
C     AND ACCOUNT FOR SCALE FACTOR.
      DO 1 J=1,NB
      AR(J)=AR(J)*SCALE/NB
    1 AI(J)=AI(J)*SCALE/NB
C     REORDER SEQUENCE ACCORDING TO FIG 12.8
      NBD2=NB/2
      NBM1=NB-1
      J=1
      DO 4 L=1,NBM1
      IF (L.GE.J) GO TO 2
      TR=AR(J)
      TI=AI(J)
      AR(J)=AR(L)
      AI(J)=AI(L)
      AR(L)=TR
      AI(L)=TI
```

```
    2 K=NBD2
    3 IF (K.GE.J) GO TO 4
      J=J-K
      K=K/2
      GO TO 3
    4 J=J+K
C     CALCULATE FFT ACCORDING TO FIG 12.5
      PI=4.0D0*DATAN(1.0D0)
      DO 6 M=1,N
      UR=1.0D0
      UI=0.0D0
      ME=2**M
      K=ME/2
      F=PI/K
      CO=DCOS(F)
      SI=DSIN(F)
      WR=CO
      WI=-SI
      DO 6 J=1,K
      DO 5 L=J,NB,ME
      LPK=L+K
      TR=AR(LPK)*UR-AI(LPK)*UI
      TI=AI(LPK)*UR+AR(LPK)*UI
      AR(LPK)=AR(L)-TR
      AI(LPK)=AI(L)-TI
      AR(L)=AR(L)+TR
    5 AI(L)=AI(L)+TI
      VR=UR*WR-UI*WI
      VI=UI*WR+UR*WI
      UR=VR
    6 UI=VI
      RETURN
      END
C
C     *****************************************************************
C
      SUBROUTINE MAX(N,X,XMAX)
C     THIS SUBROUTINE CALCULATES THE MAX.  OF THE ARRAY VALUES
C     X(I), I=1,2,3,......N. THE MAX IS STORED IN XMAX.
      DIMENSION X(N)
      XMAX=-1.0E25
      DO 20 I=1,N
      IF (X(I)-XMAX) 20,20,30
   30 XMAX=X(I)
   20 CONTINUE
      RETURN
      END
C
C     ****************************************************************
C
      SUBROUTINE MIN(N,X,XMIN)
C     THIS SUBROUTINE CALCULATES THE MIN. OF THE ARRAY VALUES
C     X(I), I=1,2,3.....,N. THE MIN IS STORED IN XMIN.
      DIMENSION X(N)
      XMIN=1.0E25
      DO 20 I=1,N
      IF (X(I)-XMIN) 30,20,20
   30 XMIN=X(I)
   20 CONTINUE
      RETURN
      END
C
C     *******************************************************************
C
      SUBROUTINE PRPLOT(XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,N,X,Y,ITX,LTX,ITY,LTY)
C     THIS SUBROUTINE PLOTS THE PAIRS [X(I),Y(I)], I=1,2,...N.
C     THE AXES ARE DETERMINED BY THE MAX. VALUES XMAX,YMAX, AND
C     THE MIN VALUES XMIN,YMIN.
C     ITX=TEKST AT X-AXIS
C     LTX=NUMBER OF CHARACTERS FROM ITX
C     ITY=TEKST AT Y-AXIS
C     LTY=NUMBER OF CHARACTERS FROM ITY
      DIMENSION X(N),Y(N),ITX(1),ITY(1)
      CALL PICCLE
      CALL SLEEP$(2000)
      CALL AXIPOS(1,80.,35.,265.,1)
      CALL AXIPOS(1,80.,35.,160.,2)
      CALL AXISCA(3,5,XMIN,XMAX,1)
```

```
      CALL AXISCA(3,5,YMIN,YMAX,2)
      CALL CHASIZ(5.,5.)
C     CALL AXIDRA(2,1,1)
C     CALL AXIDRA(-2,-1,2)
      CALL GRID(2,1,1)
      CALL CHASIZ(7.,7.)
      CALL MOVTO2(50.,5.)
      CALL CHAHOL(39HFast Fourier Transform Test Programme*.)
      CALL MOVTO2(40.,0.5)
      CALL LINTO2(360.,0.5)
      CALL LINTO2(360.,270.)
      CALL LINTO2(40.,270.)
      CALL LINTO2(40.,0.5)
      CALL MOVTO2(40.,15.)
      CALL LINTO2(360.,15.)
      CALL MOVTO2(320.,0.5)
      CALL LINTO2(320.,15.)
      CALL MOVTO2(325.,5.)
      CALL CHASIZ(9.,7.)
      CALL CHAHOL(5HWFM*.)
      CALL MOVTO2(326.,5.)
      CALL CHAHOL(5HWFM*.)
      CALL CHASIZ(5.,5.)
      CALL MOVTO2(150.,17.)
      CALL CHAARR(ITX,(LTX+3)/4,4)
      CALL CHAANG(90.)
      CALL MOVTO2(47.,50.)
      CALL CHAARR(ITY,(LTY+3)/4,4)
      CALL CHAANG(0.)
C     DO 10 I=1,N
C     CALL GRAMOV(X(I),Y(I))
C     CALL GRALIN(X(I),0.)
C  10 CONTINUE
C     CALL GRASYM(X,Y,N,8,0)
      CALL GRAPOL(X,Y,N)
      RETURN
      END
C
C     ****************************************************
C
      SUBROUTINE PLOTRI(AR,AI,N,T,XVAL,YVAL)
      REAL*8 AR,AI
      DIMENSION AR(N),AI(N),XVAL(1),YVAL(1)
      CALL PICCLE
      CALL SLEEP$(2000)
      DFREQ=1.0/T
      FOLD=N/(2.0*T)
      ND2=N/2
      DO 10 I=1,ND2
      YVAL(I)=SNGL(AI(I))
      XVAL(I)=(I-1)*DFREQ
   10 CONTINUE
      CALL MAX(ND2,YVAL,YMAX)
      CALL MIN(ND2,YVAL,YMIN)
      CALL SCALEN(YMAX,YMIN)
      CALL PLOT2(1,0.,FOLD,YMIN,YMAX,ND2,XVAL,YVAL,
     *           'FREQUENCY f [hz]',16,'IMAG.-PART  ',12)
      DO 20 I=1,ND2
      YVAL(I)=SNGL(AR(I))
   20 CONTINUE
      CALL MAX(ND2,YVAL,YMAX)
      CALL MIN(ND2,YVAL,YMIN)
      CALL SCALEN(YMAX,YMIN)
      CALL PLOT2(2,0.,FOLD,YMIN,YMAX,ND2,XVAL,YVAL,
     *          'FREQUENCY f [hz]',16,'REAL-PART   ',12)
      CALL MOVTO2(150.,260.)
      CALL CHASIZ(7.,7.)
      CALL CHAHOL(20HFREQUENCY-DOMAIN  *.)
      CALL CHAMOD
      RETURN
      END
C
C     *****************************************************
C
      SUBROUTINE PLOT2(ITYPE,XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,N,X,Y,ITX,LTX,ITY,LTY)
C     THIS SUBROUTINE PLOTS THE REAL AND IMAGINAIRE PART OF THE
C     COMPLEX FOURIER TRANSFORM F(OMEGA) AS A FUNCTION OF THE
C     FREQUENCY
```

```
C     THE X-AXIS GOES FROM XMIN-XMAX.
C     THE Y-AXIS GOES FROM YMIN-YMAX
C     ITX=TEKST AT X-AXIS
C     LTX=NUMVER OF CHARACTERS FROM ITX
C     ITY=TEKST AT Y-AXIS
C     LTX=NUMBER OF CHARACTERS FROM ITY
C     ITYPE=1: LOWER HALF OF SCREEN
C     ITYPE=2: UPPER HALF OF SCREEN
      DIMENSION X(N),Y(N),ITX(1),ITY(1)
      GO TO (100,200),ITYPE
  100 CALL AXIPOS(1,80.,35.,265.,1)
      CALL AXIPOS(1,80.,35.,95.,2)
      CALL CHASIZ(5.,5.)
      CALL MOVTO2(150.,17.)
      CALL CHAARR(ITX,(LTX+3)/4,4)
      CALL CHAANG(90.)
      CALL MOVTO2(47.,50.)
      CALL CHAARR(ITY,(LTY+3)/4,4)
      CALL CHAANG(0.)
      GO TO 300
  200 CALL AXIPOS(1,80.,158.,265.,1)
      CALL AXIPOS(1,80.,158.,95.,2)
      CALL CHASIZ(5.,5.)
      CALL CHAANG(90.)
      CALL MOVTO2(47.,175.)
      CALL CHAARR(ITY,(LTY+3)/4,4)
      CALL CHAANG(0.)
  300 CONTINUE
      CALL AXISCA(3,5,XMIN,XMAX,1)
      CALL AXISCA(3,5,YMIN,YMAX,2)
      CALL CHASIZ(5.,5.)
      CALL GRID(2,1,1)
      IF (ITYPE-1) 400,400,500
  400 CALL CHASIZ(7.,7.)
      CALL MOVTO2(50.,5.)
      CALL CHAHOL(39HFast Fourier Transform test Programme*.)
      CALL MOVTO2(40.,0.5)
      CALL LINTO2(360.,0.5)
      CALL LINTO2(360.,270.)
      CALL LINTO2(40.,270.)
      CALL LINTO2(40.,0.5)
      CALL MOVTO2(40.,15.)
      CALL LINTO2(360.,15.)
      CALL MOVTO2(320.,0.5)
      CALL LINTO2(320.,15.)
      CALL MOVTO2(325.,5.)
      CALL CHASIZ(9.,7.)
      CALL CHAHOL(5HWFM*.)
      CALL MOVTO2(326.,5.)
      CALL CHAHOL(5HWFM*.)
  500 CALL GRAPOL(X,Y,N)
      RETURN
      END
C
C     **********************************************************
C
      SUBROUTINE MAGFA(AR,AI,N,T,XVAL,YVAL)
      REAL*8 AR,AI
      DIMENSION XVAL(1),YVAL(1),AR(N),AI(N)
      CALL PICCLE
      CALL SLEEP$(2000)
      PI=4.0*ATAN(1.0)
      DFREQ=1.0/T
      FOLD=N/(2.0*T)
      ND2=N/2
      DO 10 I=1,ND2
      R1=SNGL(AR(I))
      R2=SNGL(AI(I))
      RMAG=R1*R1+R2*R2
      RMAG=SQRT(RMAG)
      YVAL(I)=RMAG
      XVAL(I)=(I-1)*DFREQ
   10 CONTINUE
      CALL MAX(ND2,YVAL,YMAX)
      YMIN=0.0
      CALL SCALEN(YMAX,YMIN)
      CALL PLOT2(2,0.,FOLD,YMIN,YMAX,ND2,XVAL,YVAL,
     *           'FREQUENCY f [hz]',16,'MAGNITUDE   ',12)
```

```
      DO 20 I=1,ND2
      R1=SNGL(AR(I))
      R2=SNGL(AI(I))
      FIPLUS=0.
      IF (R1-0.) 100,110,120
  100 IF (R2-0.) 140,140,150
  140 FIPLUS=-PI
      GO TO 120
  150 FIPLUS=PI
      GO TO 120
  110 YVAL(I)=SIGN(PI/2.0,R2)
      GO TO 130
  120 YVAL(I)=ATAN(R2/R1)+FIPLUS
  130 CONTINUE
      XVAL(I)=(I-1)*DFREQ
   20 CONTINUE
      CALL PLOT2(1,0.,FOLD,-PI,PI,ND2,XVAL,YVAL,
     *           'FREQUENCY f [hz]',16,'PHASE [rad] ',12)
      CALL MOVTO2(150.,260.)
      CALL CHASIZ(7.,7.)
      CALL CHAHOL(20HFREQUENCY-DOMAIN  *.)
      CALL CHAMOD
      RETURN
      END
C
C     *************************************************************
C
      SUBROUTINE FFTINV(AR,AI,N,NB,SCALE)
C     THIS SUBROUTINE CALCULATES THE INVERSE D.F.T  OF A SEQUENCE
C     A(1),A(2),.....A(NB), WHERE NB=2**N,BY THE FFT METHOD.
C     SEE ALSO : RANDOM VIBRATIONS AND SPECTRAL ANALYSIS,
C     D.E. NEWLAND, APPENDIX 2.
C     LONGMAN, LONDON,1975.
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      IMPLICIT INTEGER*4 (I-N)
      DIMENSION AR(NB),AI(NB)
C
C     DIVIDE ALL ELEMENTS BY NB
C     AND ACCOUNT FOR SCALE FACTOR.
      DO 1 J=1,NB
      AR(J)=AR(J)*SCALE/NB
    1 AI(J)=AI(J)*SCALE/NB
C     REORDER SEQUENCE ACCORDING TO FIG 12.8
      NBD2=NB/2
      NBM1=NB-1
      J=1
      DO 4 L=1,NBM1
      IF (L.GE.J) GO TO 2
      TR=AR(J)
      TI=AI(J)
      AR(J)=AR(L)
      AI(J)=AI(L)
      AR(L)=TR
      AI(L)=TI
    2 K=NBD2
    3 IF (K.GE.J) GO TO 4
      J=J-K
      K=K/2
      GO TO 3
    4 J=J+K
C     CALCULATE FFT ACCORDING TO FIG 12.5
      PI=4.0D0*DATAN(1.0D0)
      DO 6 M=1,N
      UR=1.0D0
      UI=0.0D0
      ME=2**M
      K=ME/2
      F=PI/K
      CO=DCOS(F)
      SI=DSIN(F)
      WR=CO
      WI=SI
      DO 6 J=1,K
      DO 5 L=J,NB,ME
      LPK=L+K
      TR=AR(LPK)*UR-AI(LPK)*UI
      TI=AI(LPK)*UR+AR(LPK)*UI
```

```
      AR(LPK)=AR(L)-TR
      AI(LPK)=AI(L)-TI
      AR(L)=AR(L)+TR
    5 AI(L)=AI(L)+TI
      VR=UR*WR-UI*WI
      VI=UI*WR+UR*WI
      UR=VR
    6 UI=VI
      RETURN
      END
C
C
C    ***************************************************************
C
C
      SUBROUTINE FVANT(N,FR,FI,XVAL,YVAL,T,ICOMPL,NPOWER)
      INTEGER*4 N,NPOWER
      REAL*8 FR,FI,T,FR2,FI2
      DIMENSION FR(N),FI(N),XVAL(1),YVAL(1)
      DIMENSION FR2(2048),FI2(2048)
   30 FORMAT('      BASISFUNKTIES:',//,
     1       '    1:      f(t)=Konstante                  ',/,
     2       '    2:      f(t)=Stapfunktie                ',/,
     3       '    3:      f(t)=Blokfunktie                ',/,
     4       '    4:      f(t)=Harmonische funktie        ',/,
     5       '    5:      f(t)=Exponentieele funktie      ',/,
     6       '    6:      f(t)=Exponentieele window funktie',/,
     7       '    7:      f(t)=HANNING window             ',/,
     8       '    8:      f(t)=DIRAC funktie              ',/,
     9       '    9:      f(t)=Bandwith limited random noise',/)
   31 FORMAT(' WELKE FUNKTIE KIEST U :')
   32 FORMAT(' WILT U DE FUNKTIE MET NOG EEN FUNKTIE KOMBINEREN,',/,
     1       ' ZO,JA (1), ZO NIET (0):')
   33 FORMAT(' WILT U DE FUNKTIE T.O.V. DE VORIGE FUNKTIE:',/,
     1       '      1: OPTELLEN',/,
     2       '      2: AFTREKKEN',/,
     3       '      3: VERMENIGVULDIGEN',/,
     4       '      4: DELEN',)
   34 FORMAT('      REEELE DEEL      ',/,
     1       ' *******************',/)
   35 FORMAT('      IMAGINAIRE DEEL      ',/,
     1       ' **********************',/)
   10 FORMAT(' IS UW UITGANGSFUNKTIE:',/,
     1       '    1: ZUIVER REEEL',/,
     2       '    2: ZUIVER IMAGINAIR',/,
     3       '    3: ALGEMEEN KOMPLEX',/)
C
C
C
      WRITE(1,10)
      READ(1,*)ICOMPL
      CALL PICCLE
      CALL SLEEP$(2000)
      GO TO (110,200,110), ICOMPL
  110 WRITE(1,34)
      WRITE(1,30)
      WRITE(1,31)
      READ(1,*) ITYPE
      IF (ITYPE-9) 500,600,500
  600 CALL NOISE(N,FR,FI,XVAL,YVAL,T,NPOWER)
      GO TO 105
  500 CALL FUNCTI(N,ITYPE,FR,T)
  105 WRITE(1,32)
      READ(1,*) MULTIP
      IF (MULTIP-1) 190,120,190
  120 CALL PICCLE
      CALL SLEEP$(2000)
      WRITE(1,30)
      WRITE(1,31)
      READ(1,*) ITYPE
      CALL FUNCTI(N,ITYPE,FR2,T)
      WRITE(1,33)
      READ(1,*) MULTIP
      DO 125 I=1,N
      GO TO (130,131,132,133),MULTIP
  130 FR(I)=FR(I)+FR2(I)
      GO TO 125
  131 FR(I)=FR(I)-FR2(I)
```

```
      GO TO 125
  132 FR(I)=FR(I)*FR2(I)
      GO TO 125
  133 FR(I)=FR(I)/FR2(I)
  125 CONTINUE
      GO TO 105
  190 IF (ICOMPL-3) 300,200,300
  200 WRITE(1,35)
      WRITE(1,30)
      WRITE(1,31)
      READ(1,*) ITYPE
      CALL FUNCTI(N,ITYPE,FI,T)
  205 WRITE(1,32)
      READ(1,*) MULTIP
      IF (MULTIP-1) 300,220,300
  220 CALL PICCLE
      CALL SLEEP$(2000)
      WRITE(1,30)
      WRITE(1,31)
      READ(1,*) ITYPE
      CALL FUNCTI(N,ITYPE,FI2,T)
      WRITE(1,33)
      READ(1,*) MULTIP
      DO 225 I=1,N
      GO TO (230,231,232,233), MULTIP
  230 FI(I)=FI(I)+FI2(I)
      GO TO 225
  231 FI(I)=FI(I)-FI2(I)
      GO TO 225
  232 FI(I)=FI(I)*FI2(I)
      GO TO 225
  233 FI(I)=FI(I)/FI2(I)
  225 CONTINUE
      GO TO 205
  300 CONTINUE
      RETURN
      END
C
C
C
C    ************************************************************
C
C
      SUBROUTINE FUNCTI(N,ITYPE,F,T)
      REAL*8 T,F,TIME,TSTEP,T0,T1,T2,FREQ,PHI,A,B,W,TWD2,PI,TW
      INTEGER*4 N
      DIMENSION F(N)
C
C ITYPE=1: KONSTANTE FUNCTIE F(t)=A voor alle t
C       2: STAPfunctie f(t)=A t<t0; f(t)=B t>=T0
C       3: BLOKfunctie f(t)=A t<t1,t>t2; f(t)=B T1<=t<=T2
C       4: HARMONISCHE functie f(t)=A*cos(2*pi*f*t+phi)
C       5: Exponentieele functie f(t)=A*exp(-B*t)
C       6: Window functie f(t)=(2*t/T)**w
C       7: HANNING window
C       8: DIRAC functie f(t)=delta(t-t0)
C
C
  100 FORMAT(' FUNCTIE f(t)=A voor alle t',/)
  200 FORMAT(' FUNCTIE f(t)=A t<T0; f(t)=B t>=T0',/)
  300 FORMAT(' FUNCTIE f(t)=B T1<=t<=T2; else A',/)
  400 FORMAT(' FUNCTIE f(t)=A*cos(2*pi*FREQ*t+PHI)',/)
  500 FORMAT(' FUNCTIE f(t)=A*exp(-B*t)',/)
  600 FORMAT(' FUNCTIE f(t)=(2*t/T)**W',/)
  700 FORMAT(' FUNCTIE f(t)=HANNING FUNCTION',/)
  800 FORMAT(' FUNCTIE f(t)=delta(t-T0)',/)
C
  201 FORMAT('      A=')
  202 FORMAT('      B=')
  203 FORMAT('      T0=')
  204 FORMAT('      T1=')
  205 FORMAT('      T2=')
  206 FORMAT('      PHI=')
  207 FORMAT('      FREQ=')
  208 FORMAT('      WINDOW PARAMETER W=')
  209 FORMAT('      WINDOW TIME TW=')
C
C
```

```
      TIME=0.0D0
      PI=4.0D0*DATAN(1.0D0)
      TSTEP=T/N
      GO TO (10,20,30,40,50,60,70,80), ITYPE
   10 WRITE(1,100)
      WRITE(1,201)
      READ(1,*) A
      DO 19 I=1,N
      F(I)=A
   19 CONTINUE
      GO TO 1000
C
   20 WRITE(1,200)
      WRITE(1,201)
      READ(1,*) A
      WRITE(1,202)
      READ(1,*) B
      WRITE(1,203)
      READ(1,*) TO
      DO 29 I=1,N
      IF (TIME-TO) 21,22,22
   21 F(I)=A
      GO TO 29
   22 F(I)=B
   29 TIME=TIME+TSTEP
      GO TO 1000
C
   30 WRITE(1,300)
      WRITE(1,201)
      READ(1,*) A
      WRITE(1,202)
      READ(1,*) B
      WRITE(1,204)
      READ(1,*)T1
      WRITE(1,205)
      READ(1,*) T2
      DO 39 I=1,N
      IF (TIME-T1) 31,32,32
   31 F(I)=A
      GO TO 39
   32 IF (TIME-T2) 33,33,34
   34 F(I)=A
      GO TO 39
   33 F(I)=B
   39 TIME=TIME+TSTEP
      GO TO 1000
C
   40 WRITE(1,400)
      WRITE(1,201)
      READ(1,*) A
      WRITE(1,207)
      READ(1,*) FREQ
      WRITE(1,206)
      READ(1,*) PHI
      DO 49 I=1,N
      F(I)=A*DCOS(2.0D0*PI*FREQ*TIME+PHI)
   49 TIME=TIME+TSTEP
      GO TO 1000
C
   50 WRITE(1,500)
      WRITE(1,201)
      READ(1,*) A
      WRITE(1,202)
      READ(1,*) B
      DO 59 I=1,N
      F(I)=A*DEXP(-B*TIME)
   59 TIME=TIME+TSTEP
      GO TO 1000
C
   60 WRITE(1,600)
      WRITE(1,208)
      READ(1,*) W
      WRITE(1,209)
      READ(1,*) TW
      TWD2=TW/2.0D0
      DO 69 I=1,N
      IF (TIME-TWD2) 61,61,62
```

```
   61 F(I)=(TIME/TWD2)**W
      GO TO 69
   62 IF (TIME-TW) 63,64,64
   63 F(I)=((TW-TIME)/TWD2)**W
      GO TO 69
   64 F(I)=0.0D0
   69 TIME=TIME+TSTEP
      GO TO 1000
C
   70 WRITE(1,700)
      WRITE(1,209)
      READ(1,*) TW
      DO 71 I=1,N
      IF (TIME-TW) 72,72,73
   73 F(I)=0.0D0
      GO TO 71
   72 F(I)=0.5D0-0.5D0*DCOS(2.0D0*PI*TIME/TW)
   71 TIME=TIME+TSTEP
      GO TO 1000
C
   80 WRITE(1,800)
      WRITE(1,203)
      READ(1,*) T0
      I=IDINT(N*T0/T)
      F(I)=1.0D0/TSTEP
C
 1000 CONTINUE
      RETURN
      END
C
C
C     ****************************************************************
C
C
C
      SUBROUTINE INPUT(ND,TD,NS,TS,NPOWER)
      INTEGER*4 ND,NPOWER
      REAL*8 RN,TD
C
   20 FORMAT(' AANTAL TIJDSSTAPPEN=')
   25 FORMAT(' TOTALE TIJD  T=')
      WRITE(1,20)
      READ(1,*) RN
      WRITE(1,25)
      READ(1,*)TD
      NPOWER=1
   40 RN=RN/2.0D0
      IF (RN-1.0D0) 50,50,60
   60 NPOWER=NPOWER+1
      GO TO 40
   50 ND=2**NPOWER
      IF (ND-2048) 65,65,70
   70 ND=2048
   65 CONTINUE
      NS=INTS(ND)
      TS=SNGL(TD)
      RETURN
      END
C
C
C     ************************************************************
C
C
      SUBROUTINE BASISF(FR,FI,N,T,XVAL,YVAL,ICOMPL)
      REAL*8 FR,FI
      DIMENSION FR(N),FI(N),XVAL(1),YVAL(1)
      GO TO (10,20,30), ICOMPL
   10 CALL PLTFT(FR,N,T,XVAL,YVAL,0)
      GO TO 40
   20 CALL PLTFT(FI,N,T,XVAL,YVAL,1)
      GO TO 40
   30 CALL PLTFT(FR,N,T,XVAL,YVAL,0)
      CALL RUST
      CALL PLTFT(FI,N,T,XVAL,YVAL,1)
   40 CALL RUST
      RETURN
      END
C
```

```
C
C     ***************************************************************
C
C
      SUBROUTINE RUST
   10 FORMAT(' [PAUZE]')
   20 FORMAT(A1)
      CALL MOVTO2(18.,270.)
      CALL CHAMOD
      WRITE(1,10)
      READ(1,20) DUMMY
      RETURN
      END
C
C
C     *************************************************************
C
C
      SUBROUTINE REEIMA(AR,AI,N,T,XVAL,YVAL)
      REAL*8 AR,AI
      DIMENSION AR(N),AI(N),XVAL(1),YVAL(1)
      CALL PICCLE
      CALL SLEEP$(2000)
      TSTEP=T/N
      DO 10 I=1,N
      YVAL(I)=SNGL(AI(I))
      XVAL(I)=(I-1)*TSTEP
   10 CONTINUE
      CALL MAX(N,YVAL,YMAX)
      CALL MIN(N,YVAL,YMIN)
      CALL SCALEN(YMAX,YMIN)
      CALL PLOT2(1,0.,T,YMIN,YMAX,N,XVAL,YVAL,
     *           'TIME t [s]  ',12,'IMAG. PART  ',12)
      DO 20 I=1,N
      YVAL(I)=SNGL(AR(I))
   20 CONTINUE
      CALL MAX(N,YVAL,YMAX)
      CALL MIN(N,YVAL,YMIN)
      CALL SCALEN(YMAX,YMIN)
      CALL PLOT2(2,0.,T,YMIN,YMAX,N,XVAL,YVAL,
     *      'TIME t [s]  ',12,'REAL PART   ',12)
      CALL MOVTO2(150.,260.)
      CALL CHASIZ(7.,7.)
      CALL CHAHOL(16HTIME-DOMAIN   *.)
      CALL CHAMOD
      RETURN
      END
C
C
C     **********************************
C
      SUBROUTINE SCALEN(XMAX,XMIN)
      DELTX=XMAX-XMIN
      RELMAX=(1.0E-2)*ABS(XMAX)
      IF (DELTX-RELMAX) 10,10,20
   10 XMAX=XMAX+0.1
      XMIN=XMIN-0.1
   20 CONTINUE
      RETURN
      END
C
C
C
C     **************************************************************
C
C
      SUBROUTINE NYQUIS(AR,AI,N,XVAL,YVAL)
      REAL*8 AR,AI
      DIMENSION AR(N),AI(N),XVAL(1),YVAL(1)
      ND2=N/2
      DO 10 I=1,ND2
      XVAL(I)=SNGL(AR(I))
      YVAL(I)=SNGL(AI(I))
   10 CONTINUE
      CALL MAX(ND2,XVAL,XMAX)
      CALL MIN(ND2,XVAL,XMIN)
      CALL MAX(ND2,YVAL,YMAX)
      CALL MIN(ND2,YVAL,YMIN)
```

```
      YMAX=1.2*AMAX1(ABS(YMAX),ABS(YMIN))
      XMAX=1.2*AMAX1(ABS(XMAX),ABS(XMIN))
      XMIN=-XMAX
      YMIN=-YMAX
      CALL SCALEN(XMAX,XMIN)
      CALL SCALEN(YMAX,YMIN)
      CALL PLNYQU(XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,ND2,XVAL,YVAL,
     *      '             REAL-PART    ',24,
     *      '           IMAGINARY-PART',24)
      CALL MOVTO2(150.,220.)
      CALL CHASIZ(7.,7.)
      CALL CHAHOL(20HFREQUENCY-DOMAIN  *.)
      CALL CHAMOD
      RETURN
      END
C
C
C     ************************************************
C
C
C
      REAL FUNCTION G05DDF(A, B)
      REAL A, B
      REAL STORE1
      REAL HALF, ONE, T, U, V, W
      INTEGER N
      REAL D(41)
      COMMON /RSEED/ISEED
      DATA D(1), D(2), D(3), D(4), D(5), D(6), D(7), D(8), D(9),
     * D(10), D(11), D(12), D(13), D(14) /0.0E0,0.674489750196082E0,
     * 1.150349380376008E0,1.534120544352546E0,1.862731867421652E0,
     * 2.153874694061456E0,2.417559016236505E0,2.660067468617460E0,
     * 2.885634912426757E0,3.097269078198785E0,3.297193345691964E0,
     * 3.487104104114431E0,3.668329285121323E0,3.841930685501911E0/
      DATA D(15), D(16), D(17), D(18), D(19), D(20), D(21), D(22),
     * D(23), D(24), D(25), D(26), D(27) /4.008772594168585E0,
     * 4.169569323349106E0,4.324919040826046E0,4.475328424654204E0,
     * 4.621231001499247E0,4.763001034267814E0,4.900964207963193E0,
     * 5.035405969463927E0,5.166578119728753E0,5.294704084854598E0,
     * 5.419983174916868E0,5.542594057802940E0,5.662697617459439E0/
      DATA D(28), D(29), D(30), D(31), D(32), D(33), D(34), D(35),
     * D(36), D(37), D(38), D(39), D(40) /5.780439324478935E0,
     * 5.895951216739571E0,6.009353565530745E0,6.120756285971941E0,
     * 6.230260137989044E0,6.337957754553790E0,6.443934526538564E0,
     * 6.548269367831731E0,6.651035379893011E0,6.752300431407015E0,
     * 6.852127665896068E0,6.950575947916750E0,7.047700256664409E0/
      DATA D(41) /7.143552034352190E0/
      U=RAND$A(ISEED)
      ONE=1.0E0
      HALF=0.5E0
      DO 20 N=1,39
         IF (U.GT.HALF) GO TO 40
         U = U + U
   20 CONTINUE
      N = 40
   40 T = D(N)
      U = RAND$A(ISEED)
   60 W = (D(N+1)-T)*U
      V = W*(W*HALF+T)
   80 U = RAND$A(ISEED)
      IF (V.LE.U) GO TO 100
      V=RAND$A(ISEED)
      IF (U.GT.V) GO TO 80
      U = (V-U)/(ONE-U)
      GO TO 60
  100 U = (U-V)/(ONE-V)
      IF (U.GT.HALF) GO TO 120
      STORE1 = U + U
      G05DDF = A + B*(W+T)
      RETURN
  120 STORE1 = U + U - ONE
      G05DDF = A - B*(W+T)
      RETURN
      END
C
C
C     *******************************************************
C
```

```
C
      SUBROUTINE NOISE(N,FR,FI,XVAL,YVAL,T,NPOWER)
      INTEGER*4 N,NPOWER
      REAL*8 FR,FI,T,FTOT
      DIMENSION FR(N),FI(N),XVAL(1),YVAL(1)
C
C
   38 FORMAT(' MAX. FREQUENCY=',F15.4,'Hz',/)
   39 FORMAT(' FUNCTIE f(t)=Bandwith limited random noise',//)
   40 FORMAT(' CENTER FREQUENCY IN Hz=')
   41 FORMAT(' BANDWITH IN Hz=')
   42 FORMAT(' POWER SPECTRAL DENSITY=')
C
C
      FTOT=N/T
      FOLD=SNGL(FTOT)/2.0
      WRITE(1,39)
      WRITE(1,38) FOLD
      WRITE(1,40)
      READ(1,*) FO
      WRITE(1,41)
      READ(1,*) FB
      WRITE(1,42)
      READ(1,*) PSD
C     AMPLIT=PSD/(2.0*FB)
      AMPLIT=SQRT(PSD)*SNGL(T)/2.0
      FMIN=FO-FB/2.0
      FMAX=FO+FB/2.0
      SP=RND(1)
      FSTEP=1.0/SNGL(T)
      FSTART=FSTEP
      ND2=N/2
      ND2P1=ND2+1
      DO 690 I=2,ND2P1
      IF (FSTART-FMIN) 710,720,720
  720 IF (FSTART-FMAX) 730,730,710
  730 PHASE=RND(0)*3.1415927*2.0
      FMOD=AMPLIT*(0.80+0.4*RND(0))
      FR(I)=DBLE(COS(PHASE)*FMOD)
      FI(I)=DBLE(SIN(PHASE)*FMOD)
      GO TO 700
  710 FR(I)=0.0D0
      FI(I)=0.0D0
  700 FR(N-I+2)=FR(I)
      FI(N-I+2)=-FI(I)
  690 FSTART=FSTART+FSTEP
C     NS=INTS(N)
C     TS=SNGL(T)
C     CALL PLOTRI(FR,FI,NS,TS,XVAL,YVAL)
C     CALL RUST
      CALL FFTINV(FR,FI,NPOWER,N,FTOT)
C     CALL REEIMA(FR,FI,NS,TS,XVAL,YVAL)
      DO 1000 I=1,N
      FI(I)=0.0D0
 1000 CONTINUE
      RETURN
      END
C
C     *****************************************************************
C
      SUBROUTINE PLNYQU(XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,N,X,Y,ITX,LTX,ITY,LTY)
C     THIS SUBROUTINE PLOTS THE PAIRS [X(I),Y(I)], I=1,2,...N.
C     THE AXES ARE DETERMINED BY THE MAX. VALUES XMAX,YMAX, AND
C     THE MIN VALUES XMIN,YMIN.
C     ITX=TEKST AT X-AXIS
C     LTX=NUMBER OF CHARACTERS FROM ITX
C     ITY=TEKST AT Y-AXIS
C     LTY=NUMBER OF CHARACTERS FROM ITY
      DIMENSION X(N),Y(N),ITX(1),ITY(1)
      CALL PICCLE
      CALL SLEEP$(2000)
      CALL AXIPOS(1,80.,35.,265.,1)
      CALL AXIPOS(1,80.,35.,160.,2)
      CALL AXISCA(3,5,XMIN,XMAX,1)
      CALL AXISCA(3,5,YMIN,YMAX,2)
      CALL CHASIZ(5.,5.)
C     CALL AXIDRA(2,1,1)
C     CALL AXIDRA(-2,-1,2)
```

```
      CALL GRID(2,1,1)
      CALL CHASIZ(7.,7.)
      CALL MOVTO2(50.,5.)
      CALL CHAHOL(39HFast Fourier Transform Test Programme*.)
      CALL MOVTO2(40.,0.5)
      CALL LINTO2(360.,0.5)
      CALL LINTO2(360.,270.)
      CALL LINTO2(40.,270.)
      CALL LINTO2(40.,0.5)
      CALL MOVTO2(40.,15.)
      CALL LINTO2(360.,15.)
      CALL MOVTO2(320.,0.5)
      CALL LINTO2(320.,15.)
      CALL MOVTO2(325.,5.)
      CALL CHASIZ(9.,7.)
      CALL CHAHOL(5HWFM*.)
      CALL MOVTO2(326.,5.)
      CALL CHAHOL(5HWFM*.)
      CALL CHASIZ(5.,5.)
      CALL MOVTO2(150.,17.)
      CALL CHAARR(ITX,(LTX+3)/4,4)
      CALL CHAANG(90.)
      CALL MOVTO2(47.,50.)
      CALL CHAARR(ITY,(LTY+3)/4,4)
      CALL CHAANG(0.)
C     DO 10 I=1,N
C     CALL GRAMOV(X(I),Y(I))
C     CALL GRALIN(X(I),0.)
C  10 CONTINUE
C     CALL CHASIZ(2.,2.)
C     CALL GRASYM(X,Y,N,7,0)
      CALL GRAPOL(X,Y,N)
      RETURN
      END
```