101028/OKJ, rev. 101031/OKJ

Erfaringer, mm4:

- Målinger

Emner, mm5:

- Principper for forvrængningsmåling
- Egenskaber for NI-PCI-4461-kortet
- Introduktion til
    - ”Swept Sine FRF VI”
    - ”Amplitude Swept THD VI”
- Måling på ”universalforstærker”, CE-Re
    - Frekvensafhængig forstærkning og forvrængning
    - Spændingsafhæng forvrængning
    - Indgangsimpedans
- Måling på den hemmelige impedans

Erfaringer, mm4:

- Målinger plaget af støj (50 Hz brum + højfrekvensstøj fra switch-mode forsyninger)

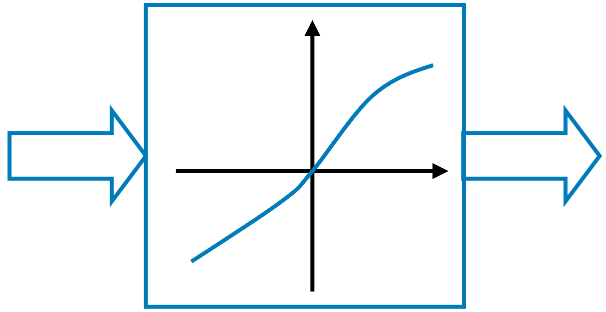
Løsninger:

- Skærmet kredsløb
- Signaler i coax
- Frekvensselektivt måleudstyr
    - Oscilloskop: DC – xx MHz
    - Voltmeter: xx Hz – xx kHz
    - NI-4461: Frekvensselektiv

Forvrængningsmåling

Harmonisk forvrængning:

$$x(t) = A_i \cos(\omega t)$$



$$
\begin{aligned}
y(t) &= \\
&(A_0 +) \\
&A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) + \\
&A_2 \cos(2\omega t + \varphi_2) + \\
&A_3 \cos(3\omega t + \varphi_3) + \\
&.....
\end{aligned}
$$

Mål for forvrængning

- THD
- Klirfaktor

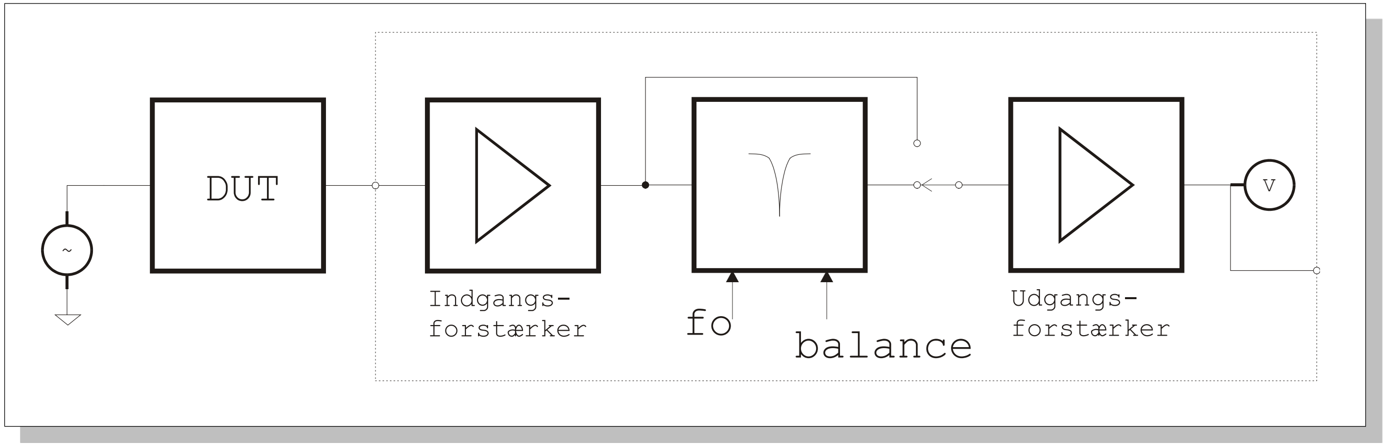
$$THD = \sqrt{\frac{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \cdots}{A_1^2}}$$

$$K = \sqrt{\frac{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \cdots}{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \cdots}}$$

De enkelte forvrængningsprodukter adderes på ”effektbasis”

Forvrængningsmåling

Måleprincipper:



Princip:

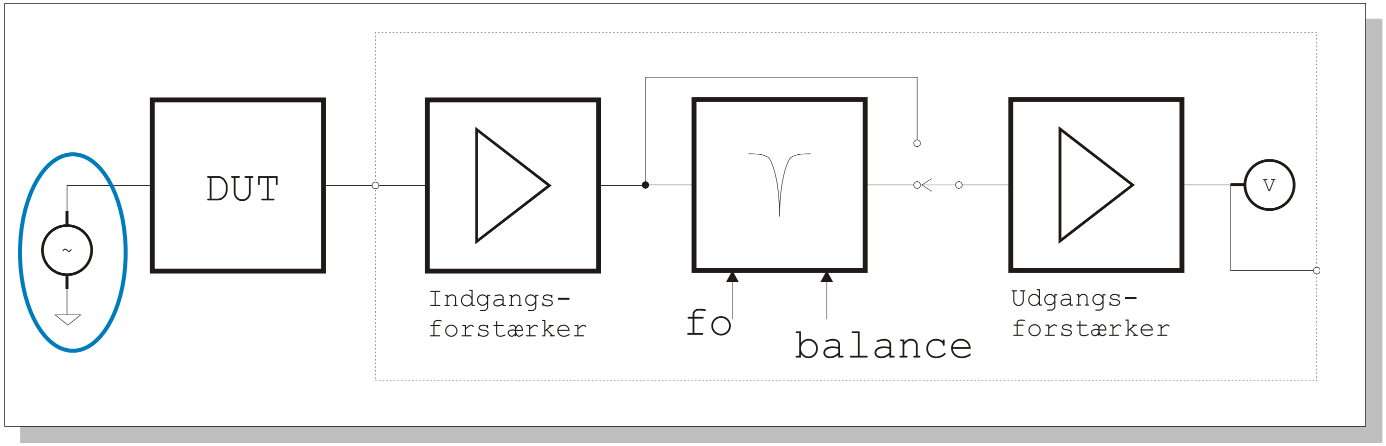
- Måling af det samlede signal fra DUT'en
- Frafiltrering af grundtonen
- Måling af resten
- Beregning af forhold
- Nogle instrumenter måler THD, andre klirfaktor
- Følsom for støj (brum)

$$THD = \sqrt{\frac{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \cdots}{A_1^2}} \qquad K = \sqrt{\frac{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \cdots}{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \cdots}}$$

Forvrængningsmåling

Måleprincipper:

© JHM

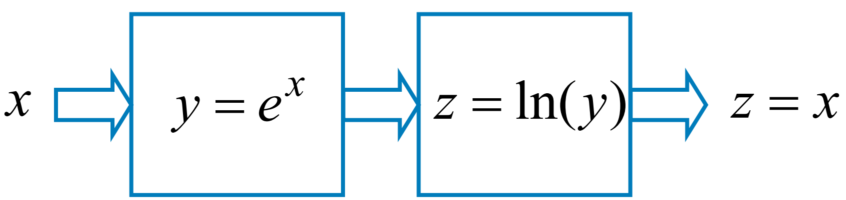


Husk:

- Kvaliteten af generatoren er meget vigtig (B&o TG7 ☺, Philips PM5131 ☹)
- Generatorens forvrængning kan måles for sig og medtages som fejlkilde
- Man må **ikke** trække generatorens forvrængning fra resultatet

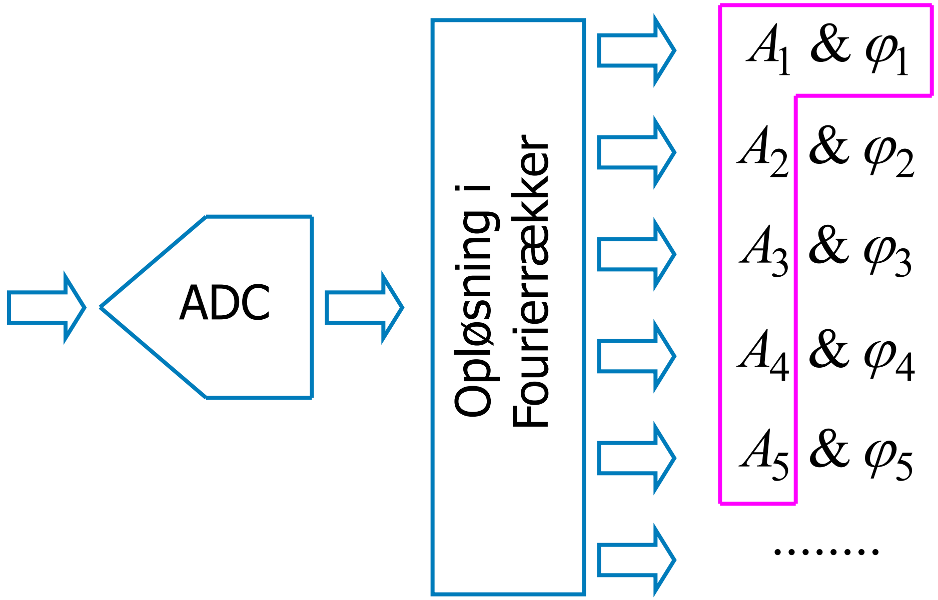
PS:

- 2 typer forvrængning kan (teoretisk) ophæve hinanden:



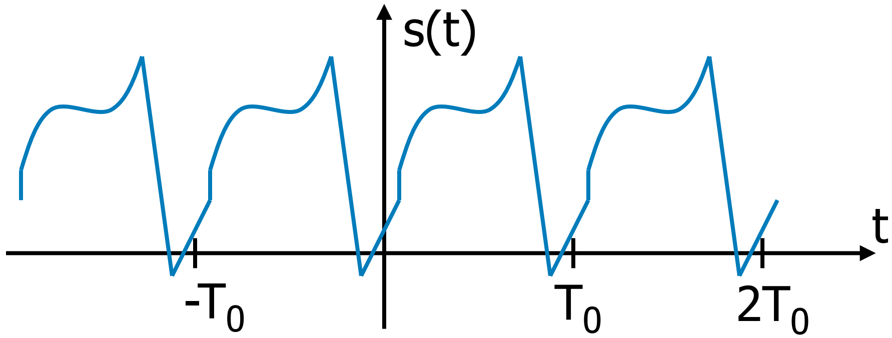
Måleprincipper:

$$
\begin{aligned}
&y(t) = \\
&(A_0 +) \\
&A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) + \\
&A_2 \cos(2\omega t + \varphi_2) + \\
&A_3 \cos(3\omega t + \varphi_3) + \\
&\ldots\ldots
\end{aligned}
$$



- Anvendes i NI-4461 systemet
- Mindre følsom for støj
- Kræver en god ADC

Fourierrækker (BIE mm.?)



$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

$$y(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t) \right\}$$

$$y(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_0 t + \varphi_n)$$

Bestemmelse af Fourier-koefficienter:

$$a_n = \frac{2}{T_0} \int_{t_1}^{t_1+T_0} s(t) \cos(n\omega_0 t) dt \qquad b_n = \frac{2}{T_0} \int_{t_1}^{t_1+T_0} s(t) \sin(n\omega_0 t) dt$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \qquad \varphi_n = -arctg \frac{b_n}{a_n}$$

Forvrængningsmåling

BKF6 Distortion Meter – Radiometer

Manuel indstilling af notch-filteret (kræver oscilloskop tilslutning!!)

Angiver resultatet som en KLIR-faktor

$$K = \sqrt{\frac{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \cdots}{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \cdots}}$$

- Fremstillet da jeg gik i 5. klasse
- 4 stk E80CF (triode & pentode)
- Brug høreværn når I bruger trykknapperne
- Men det kan faktisk lave brugbare målinger

Forvrængningsmåling

Tektronix AA501A Distortion Analyzer

- Automatisk indstilling af notch-filteret
- Har egen signal generator
- Angiver resultatet som en THD-værdi
- Kun én frekvens ad gangen

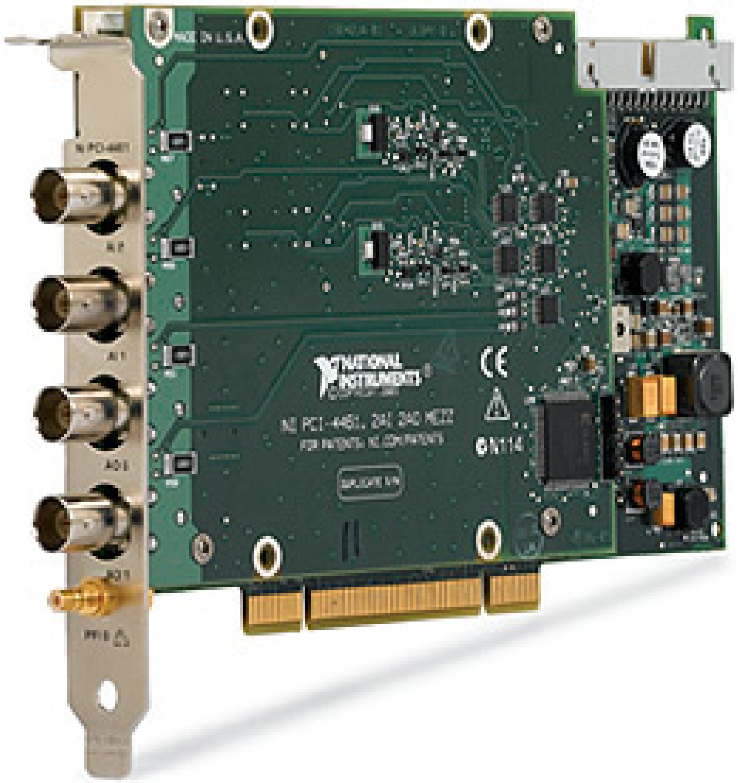
$$THD = \sqrt{\frac{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \cdots}{A_1^2}}$$

NI-PCI-4461

Hardware:
- Generator
- Analysator

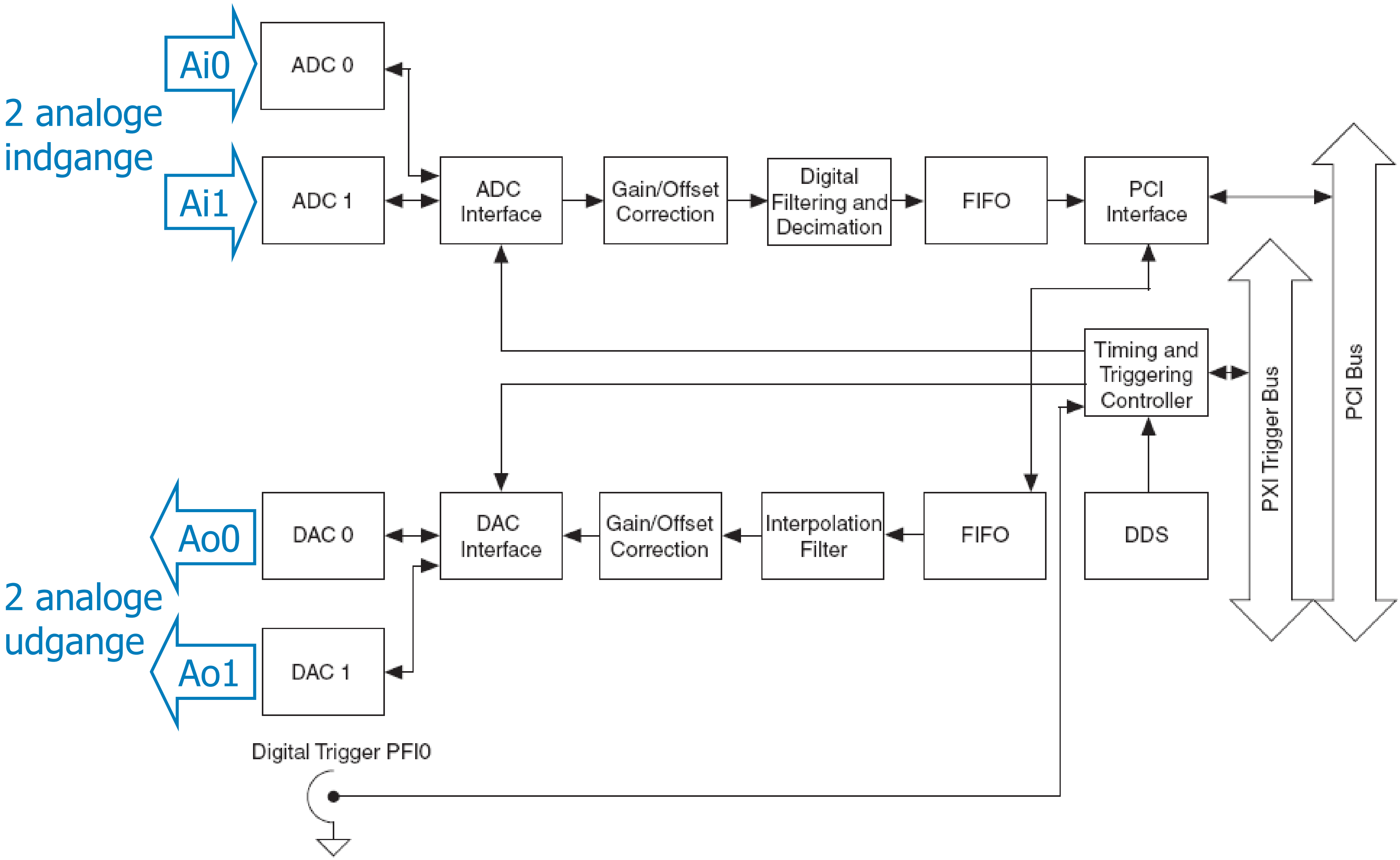
"Swept Sine FRF VI"
- Tilslutning
- "Swept Sine" princip
- Indstillinger

"Amplitude Swept THD VI"
- Tilslutning
- Indstillinger

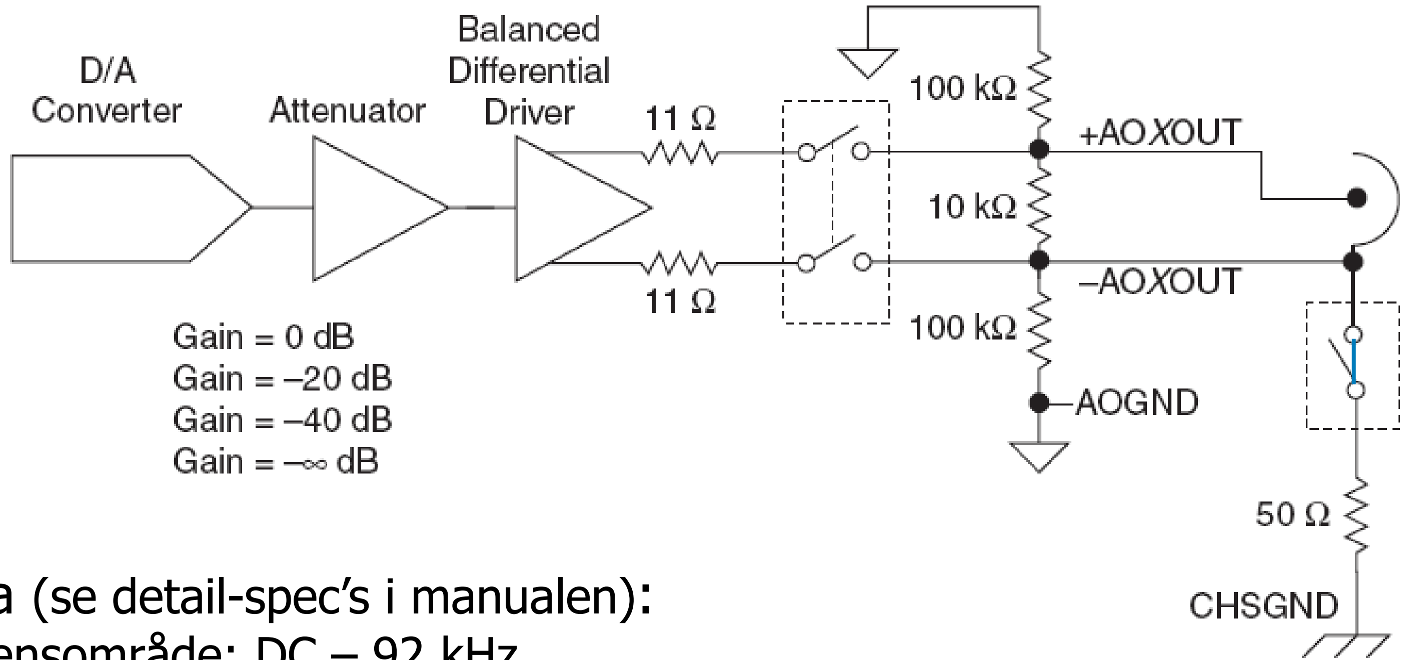


Måling af indgangsimpedans med "Swept Sine FRF VI"

NI-4461 hardware



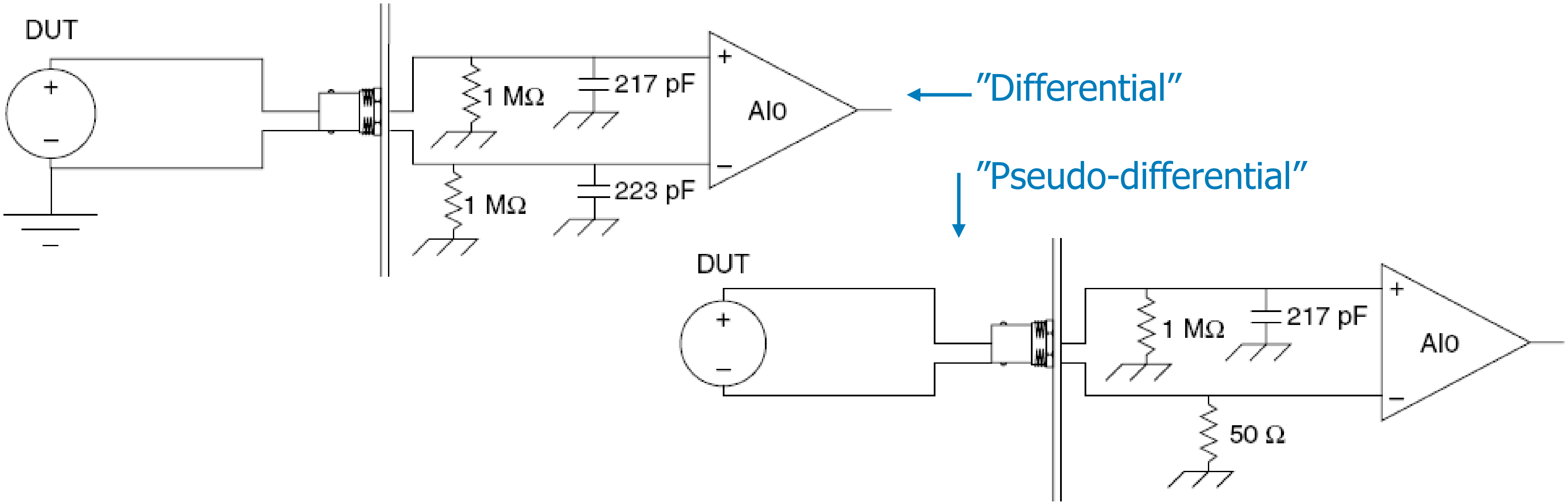
NI-4461 generator



Nøgledata (se detail-spec's i manualen):

- Frekvensområde: DC – 92 kHz
- 204,8 ks/s & udglatningsfiltre (anti-aliasing, analog/digital))
- 24 bit opløsning
- Fuld-skala områder: ±10 V, ±1 V, ±0,1 V NB: Det er peak-værdier
- "Pseudo-differentiel" eller "single-ended"
- THD <-97 dB ~ 0,0014% @ f < 20 kHz, (betingelser = ?)
- Frekvensgang: ±0,008 dB @ 20 Hz-20 kHz
- Frekvensgang: ±0,1 dB @ 20 Hz-92 kHz
- Eks: Amplitude = 1,01 V => ±10 V "full-scale" ~ 20 bits

NI-4461 analysator



Nøgledata (se detail-spec's i manualen):

- Frekvensområde: DC – 92 kHz
- 204,8 ks/s & "anti-aliasing"-filtre (analog/digital)
- 24 bit opløsning
- Fuld-skala områder: ±42,4 V, ±31,6 V, ±10 V, ±3,16 V, ±1 V, ±0,316 V
- DC/AC-kobling; AC: 3 dB @ 3,4 Hz
- THD <-107 dB ~ 0,0004% @ f < 20 kHz, (-91 dB - -109 dB)
- Frekvensgang: ±0,08 dB @ 20 Hz-92 kHz (typ. ±42,4 V, ±31,6 V, ±10 V, ±3,16 V)
- Kanalforskel: ±0,003 dB - ±0,04 dB @ 20 Hz-20 kHz
- Eks: Amplitude = 1,01 V => ±3,16 V "full-scale" ~ 22 bits

LabVIEW Sound and Vibration Toolbox inkluderer bl.a. de 2 VI's:

- SVXMPL_Swept Sine FRF (DAQmx).vi
- SVXMPL_Amplitude Swept THD (DAQmx).vi

De dækker vores behov ☺, men kan ikke gemme måledata i en fil ☹??

Knud Larsen, I21/SMI har rettet et par fejl og har udvidet de 2 VI's, så de kan gemme data ☺☺☺

"Swept sine analysis"

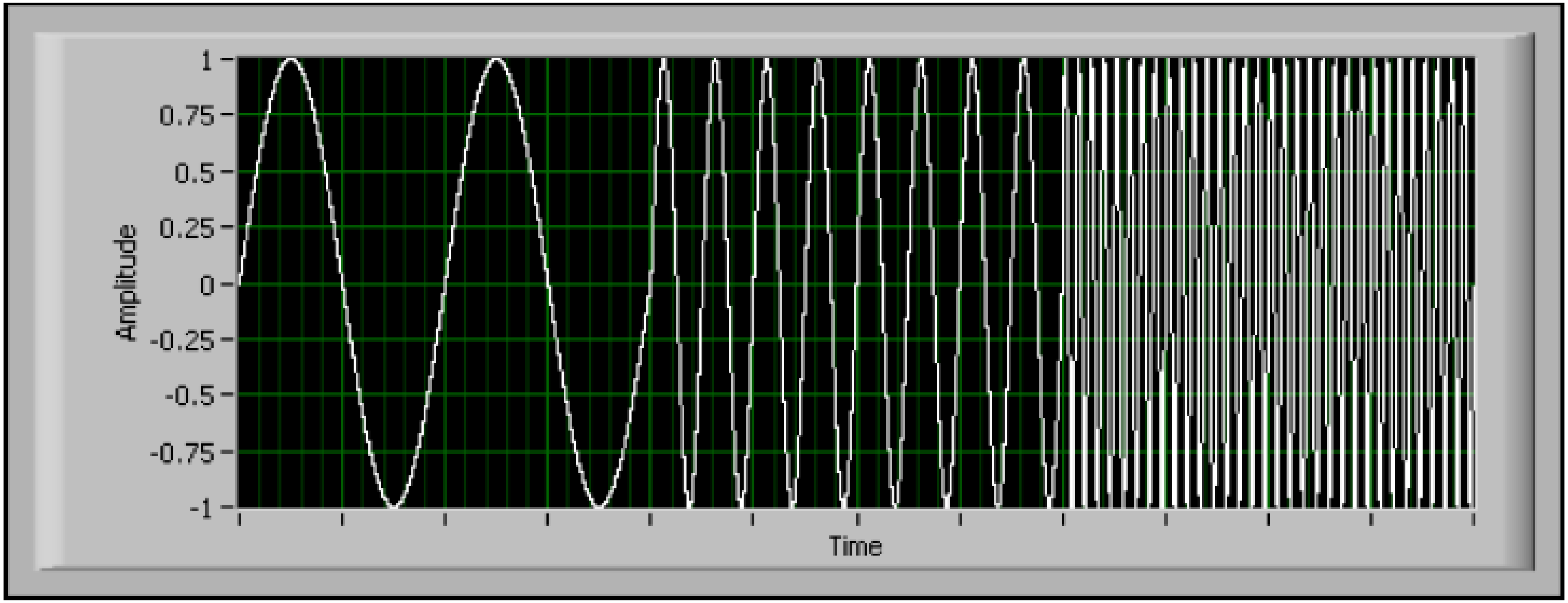
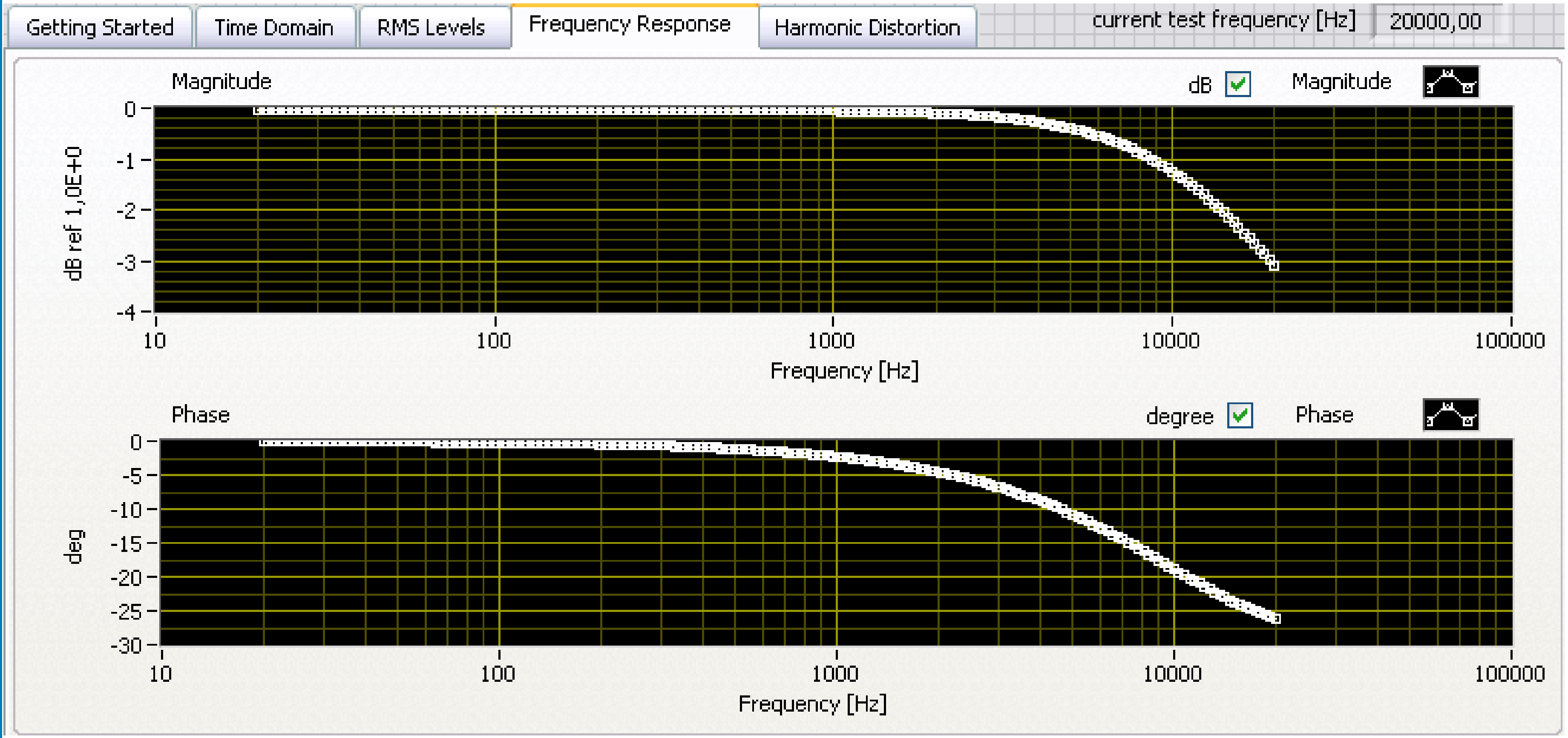


Figure 13-3. Stepping Swept Sine Example

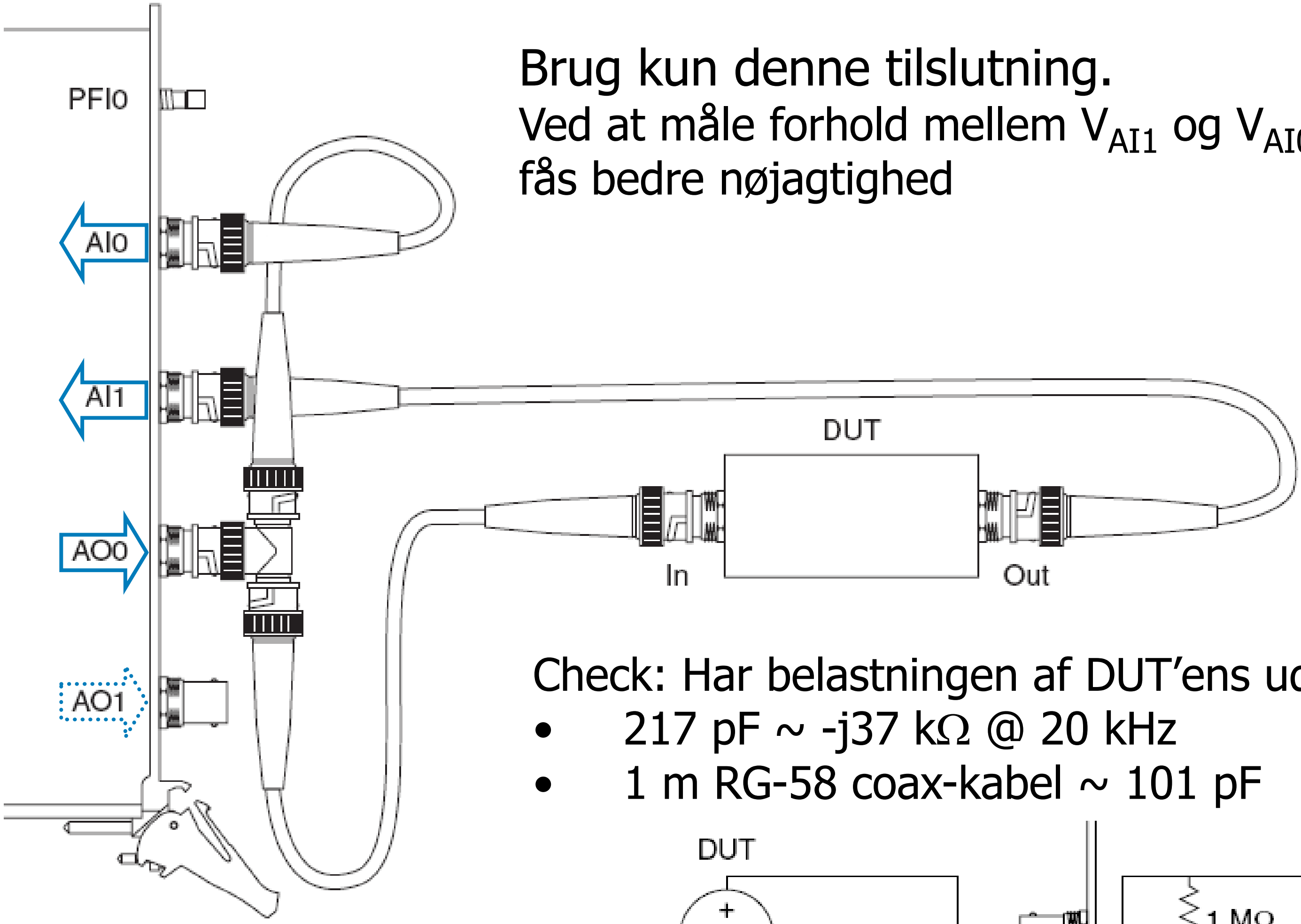
"Stepped swept sine analysis"

- Frekvens-"sweep" med analyse ved at antal frekvenser
- Ved at måle over et helt antal perioder og lave en Fourier-opløsning kan man måle størrelse og fase af grundtonen og harmoniske i samme sweep
- Husk: Indsvingningstid af testobjektet, hvis det er "en stemmegaffel"

"Swept Sine FRF VI" – forstærkning & fase



Forbindelse ved “Swept Sine” måling:

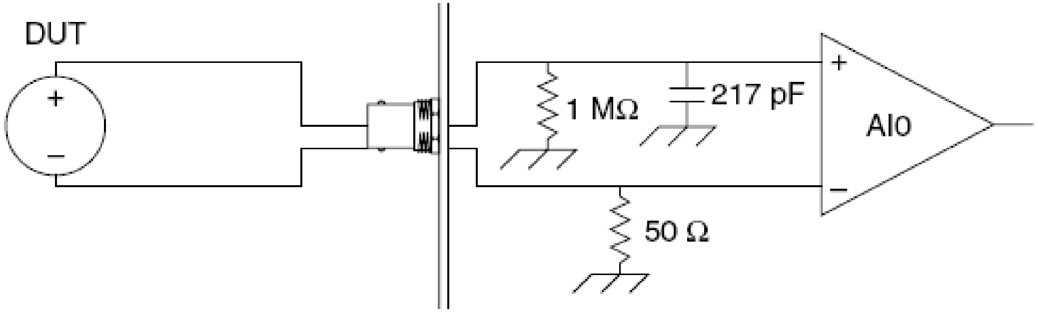


Brug kun denne tilslutning.

Ved at måle forhold mellem V_{AI1} og V_{AI0} fås bedre nøjagtighed

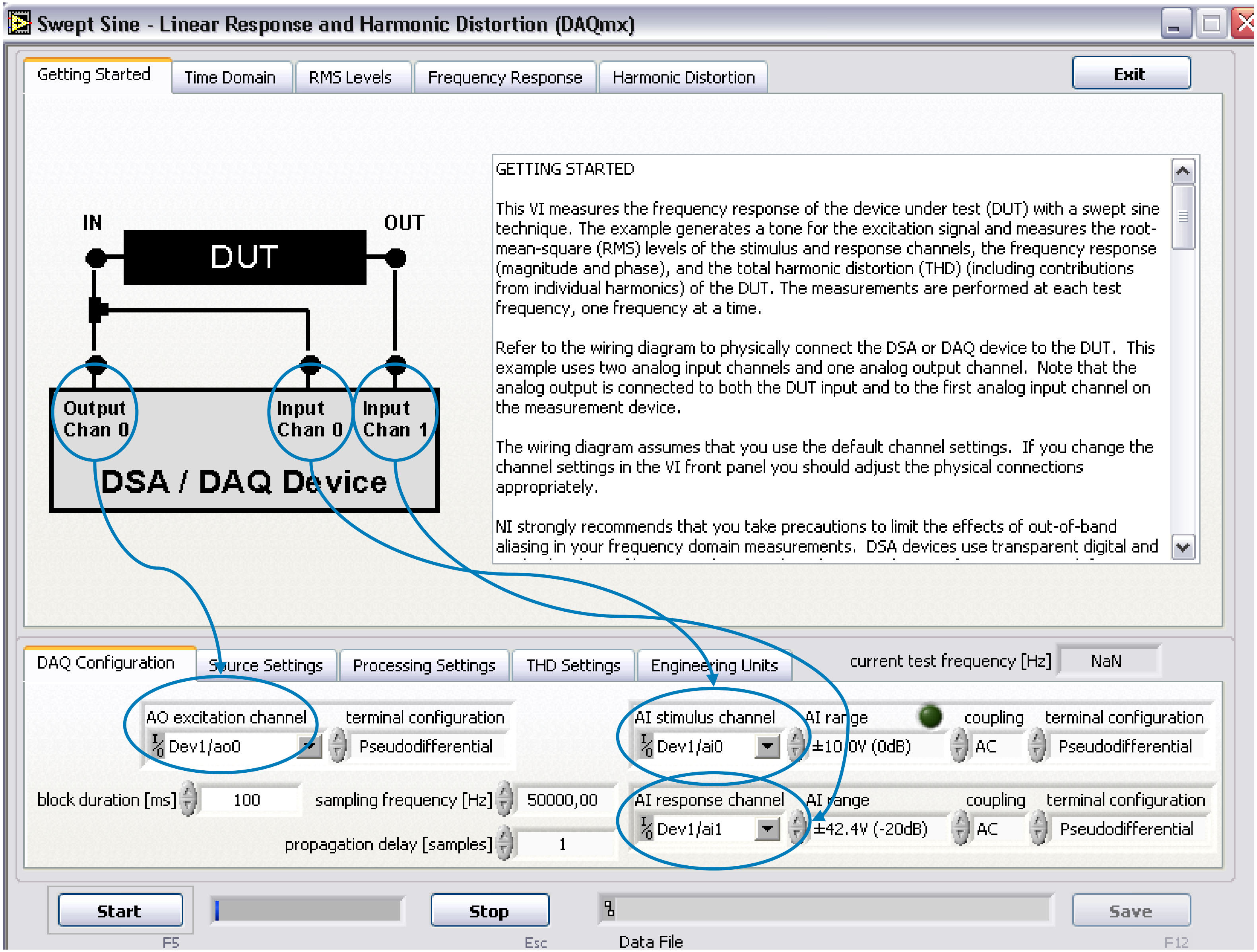
Check: Har belastningen af DUT’ens udgang betydning?

- 217 pF ~ -j37 kΩ @ 20 kHz
- 1 m RG-58 coax-kabel ~ 101 pF

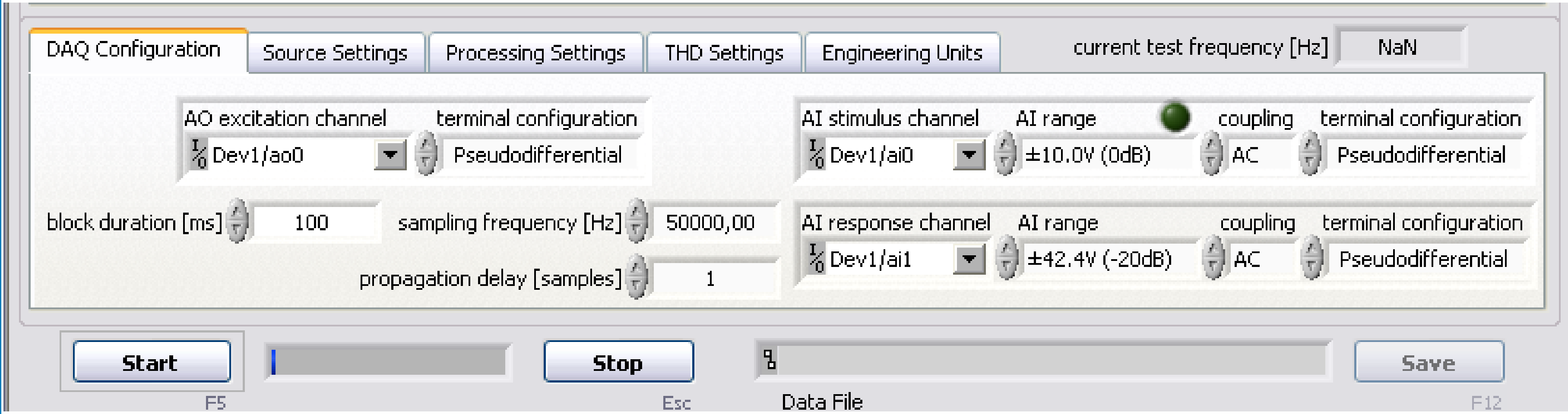


“Swept Sine FRF VI” – Opsætning

Dobbeltklik på Swept Sine FRF -genvejen



"Swept Sine FRF VI" – Opsætning



Generator:

- Port: Ao0
- Max. value indstilles via Source Settings
- Samplingsfrekvens >> max. målefrekvens (gerne høj ved THD-måling)

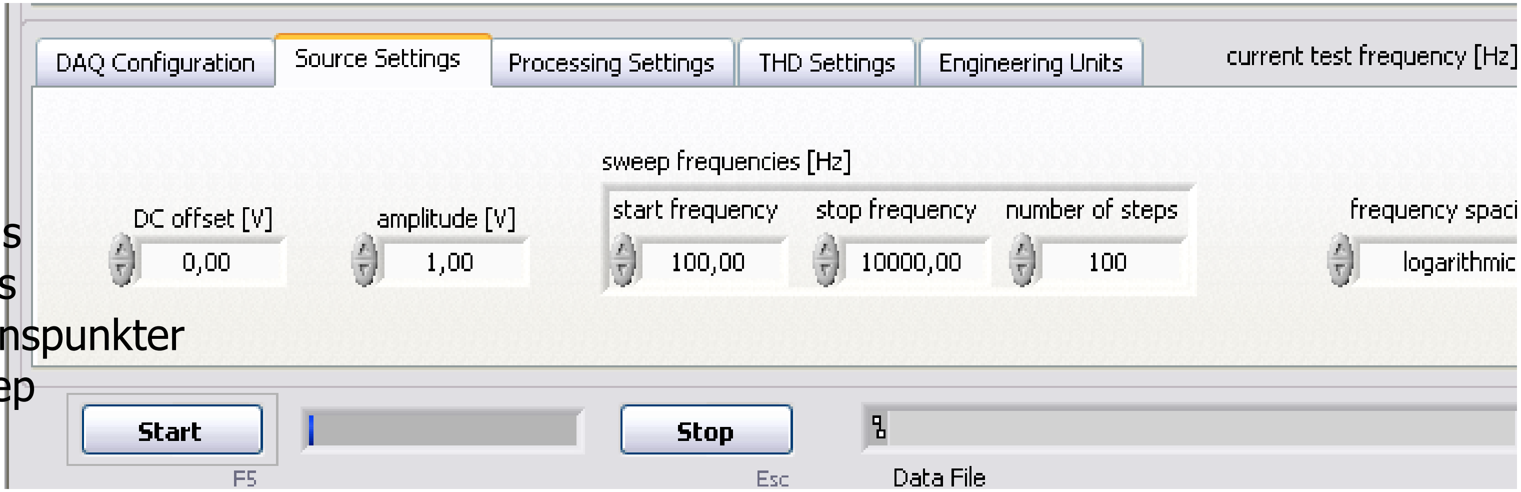
Indgange:

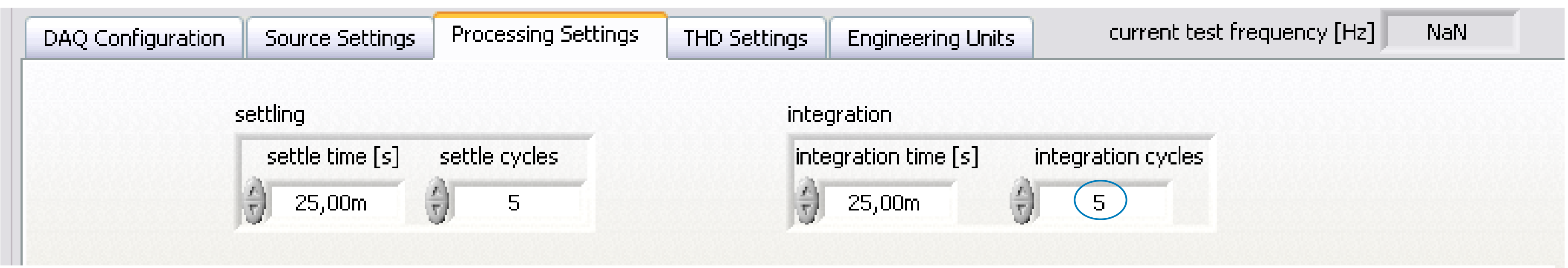
- Porte: Ai0 (stimulus) og Ai1 (response = udgang af DUT)
- Max. value (Range: ±42,4 V, ±31,6 V, ±10 V, ±3,16 V, ±1 V, ±0,316 V)
- Vælg DC eller AC kobling

"Swept Sine FRF VI" – Opsætning

Generator:

- Amplitude
- (DC-offset)
- Startfrekvens
- Stopfrekvens
- Antal frekvenspunkter
- Log/lin-sweep



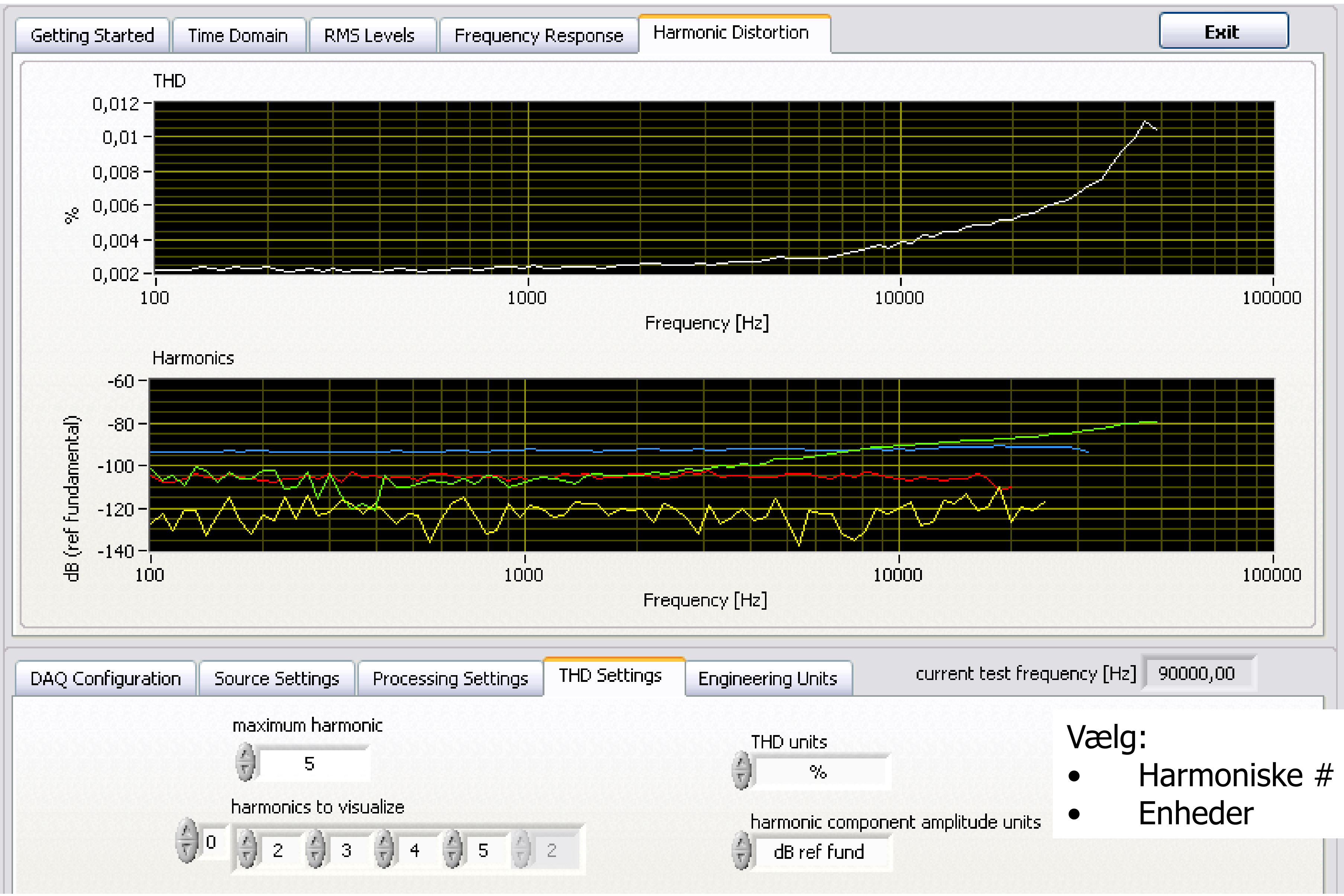


Processing Settings:

- Høj værdi af "settle-" og "integration-cycles", m, ved lav THD
- Settle time = ?

$$a_n = \frac{2}{mT_0}\int_{t_1}^{t_1+mT_0} s(t)\cos(n\omega_0 t)dt \qquad b_n = \frac{2}{mT_0}\int_{t_1}^{t_1+mT_0} s(t)\sin(n\omega_0 t)dt$$

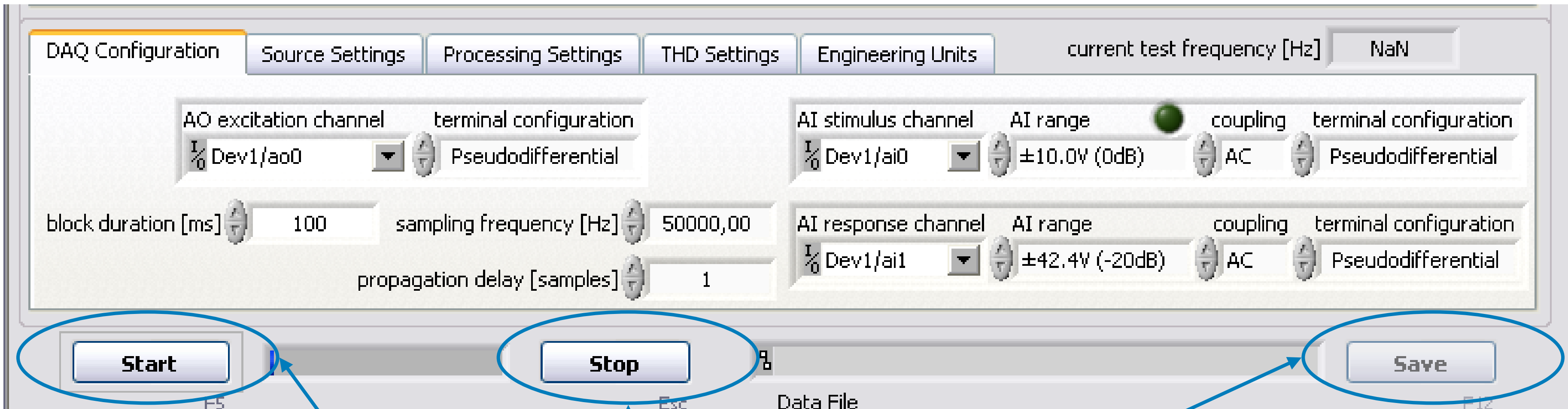
"Swept Sine FRF VI" – Opsætning



Vælg:

- Harmoniske #
- Enheder

“Swept Sine FRF VI” – Knuds knap



- Start (single)
- Stop
- Save

"Swept Sine FRF VI" – Datafil

```
%     Date: 2007-11-30         Time:     10:37:46
%     Sampling frequency       [Hz]:     50000
%     Generator amplitude      [V]:      2.0000
%     Settle time              [s]:      0.025000
%     Settle cycles:                     5
%     Integration time         [s]:      0.025000
%     Integration cycles:                5
% Freq.      Amplitude   Phase       THD         HD 2            HD 3            HD 4            HD 5
% [Hz]       [dB]        [deg]       [dB]        [dB ref fund]   [dB ref fund]   [dB ref fund]   [dB ref fund]
2.0000E+1    -8.5395E-2  -2.5950E-1  -1.0128E+2  -1.0428E+2      -1.0514E+2      -1.1568E+2      -1.1418E+2
2.0706E+1    -8.5411E-2  -2.6871E-1  -9.9864E+1  -1.0302E+2      -1.0380E+2      -1.1287E+2      -1.1188E+2
2.1438E+1    -8.5415E-2  -2.7816E-1  -1.0132E+2  -1.0470E+2      -1.0480E+2      -1.1436E+2      -1.1512E+2.
.
1.8022E+4    -7.3666E+0  -2.1150E+1  NaN         NaN             NaN             NaN             NaN
1.8659E+4    -7.4047E+0  -2.1154E+1  NaN         NaN             NaN             NaN             NaN
1.9318E+4    -7.4419E+0  -2.1175E+1  NaN         NaN             NaN             NaN             NaN
2.0000E+4    -7.4781E+0  -2.1214E+1  NaN         NaN             NaN             NaN             NaN
```

NB:

- **Hold øje med enheder - de afhænger af indstillingerne på skærmen**

NB2: Hvis grundtonen sweepes op til f_{max} vises:

- HD2 for grundtonefrekvenser op til $f_{max}/2$
- HD3 for grundtonefrekvenser op til $f_{max}/3$
- HD4 for grundtonefrekvenser op til $f_{max}/4$
- HD5 for grundtonefrekvenser op til $f_{max}/5$
- Herover står der NaN i filen

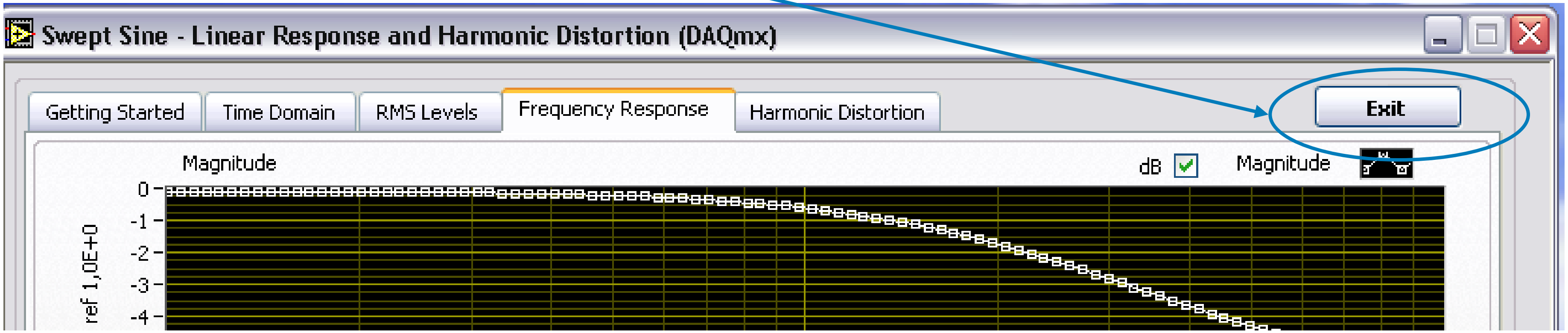
"Swept Sine FRF VI" – Datafil - indlæsning i Matlab

```
% SweptSine.m                     071130/OKJ;
% NI-4461 & Swept Sine FRF VI
clear;

% READ MEASURED DATA
% txt-file with 9 header lines and 8 columns:
% Freq[Hz], Ampl[dB], Phase[deg], THD[%], HD2[dBc], HD3[dBc], HD4[dBc], HD5[dBc]
[FileA,PathA]=uigetfile('*.txt','Select measured frequency response file');
FullFileA = fullfile(PathA,FileA);
[Freq dBfund degFund THDpct HD2dB HD3dB HD4dB
      HD5dB]=textread(FullFileA,'%f%f%f%f%f%f%f%f','headerlines',9);

% Data format conversions:
Vfund = 10.^(dBfund/20).*exp(j*degFund/180*pi);   % Complex voltage of
      fundamental Vai1/Vai0
HD2pct = 100*10.^(HD2dB/20);                   % HD2 in %
HD3pct = 100*10.^(HD3dB/20); HD4pct = 100*10.^(HD4dB/20); HD5pct = 100*10.^(HD4dB/20);

figure(1)
loglog(Freq,THDpct,Freq,HD2pct,Freq,HD3pct,Freq,HD4pct,Freq,HD4pct);
xlabel('Frequency [Hz]');  ylabel('Distortion [%]');
grid;

figure(2);
subplot(2,1,1);
semilogx(Freq,dBfund);
xlabel('Frequency [Hz]'); ylabel('Gain [dB]');
grid;
title('Frequency response');
subplot(2,1,2);
semilogx(Freq,degFund);
xlabel('Frequency [Hz]'); ylabel('Phase [deg]');
grid;
```

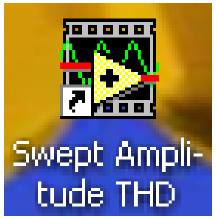
Hold øje med enheder

"Swept Sine FRF VI" –> "Amplitude Swept THD VI"

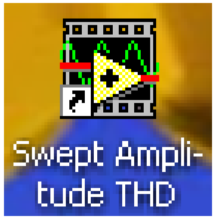
Luk "Swept Sine FRF VI":

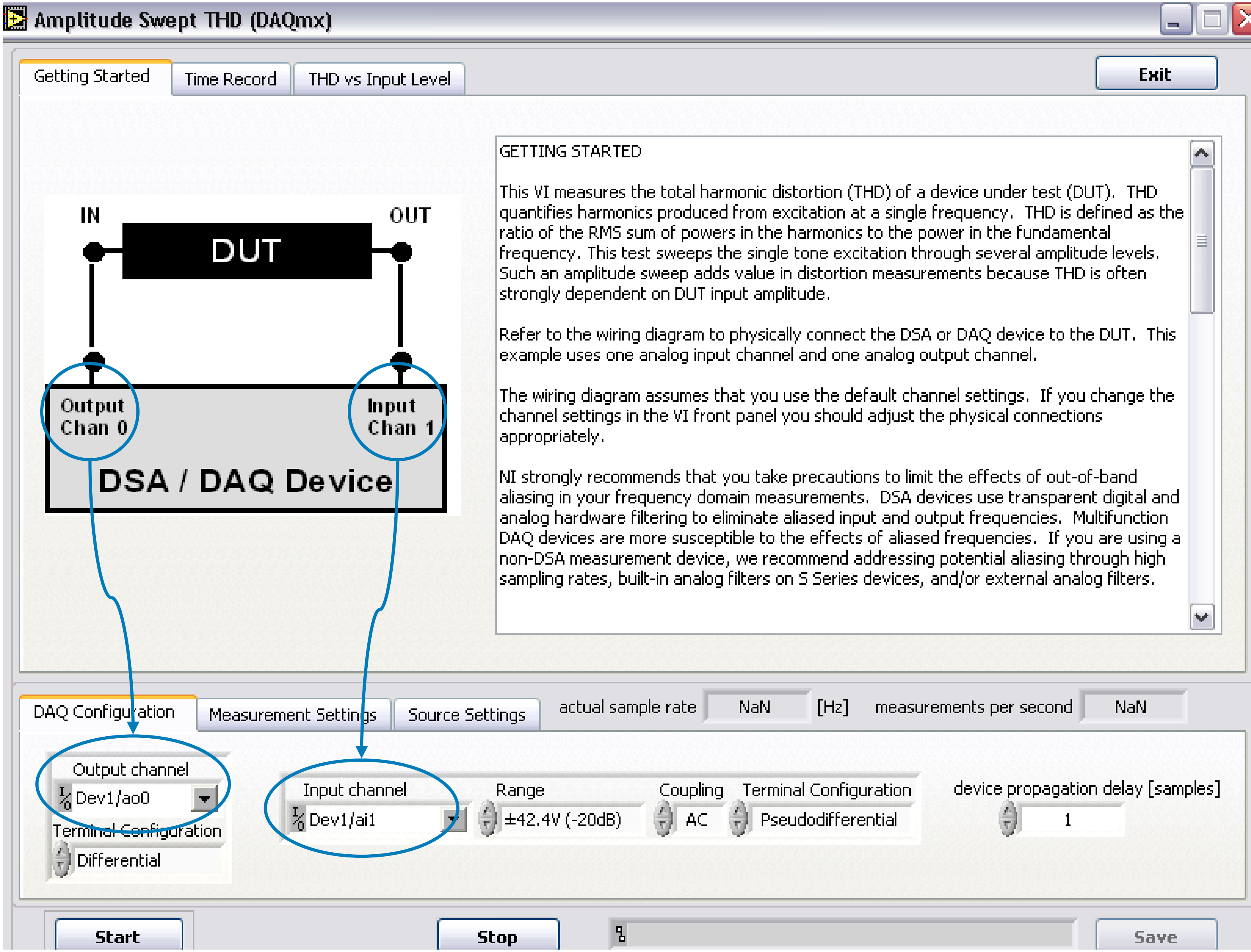


Dobbeltklik på "Swept Amplitude THD":

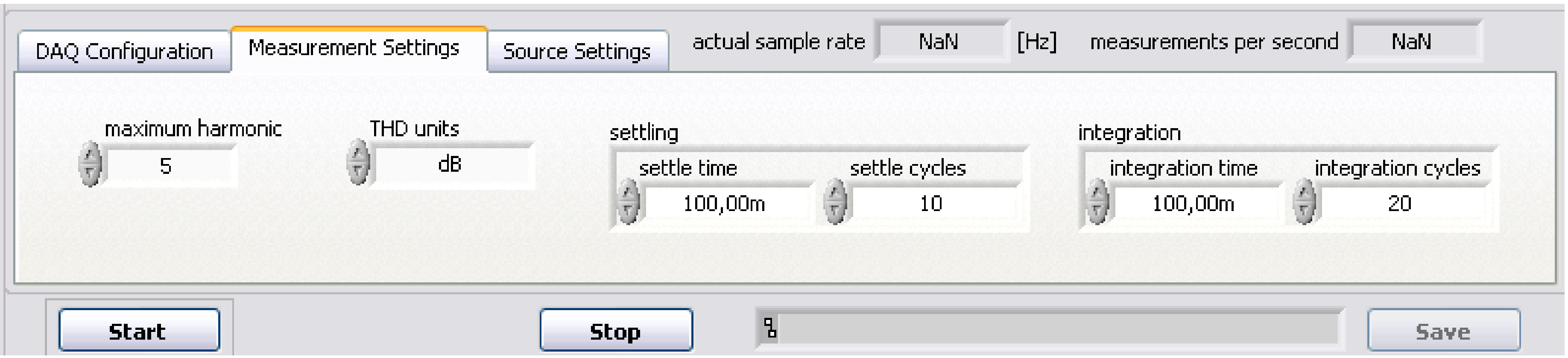


Swept Amplitude THD VI



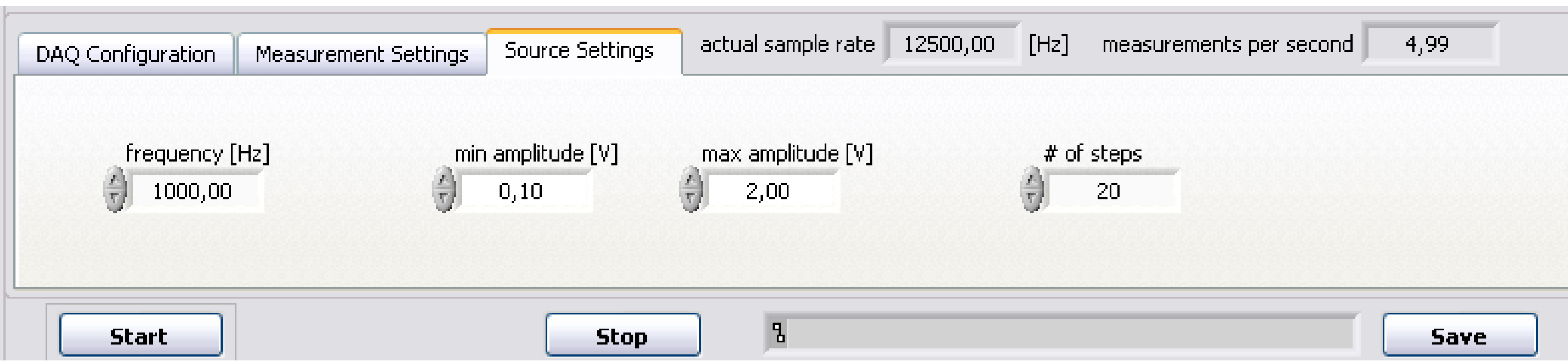


Swept Amplitude THD VI



Measurement Settings:

- Høj værdi af “settle-” og “integration-cycles” ved lav THD

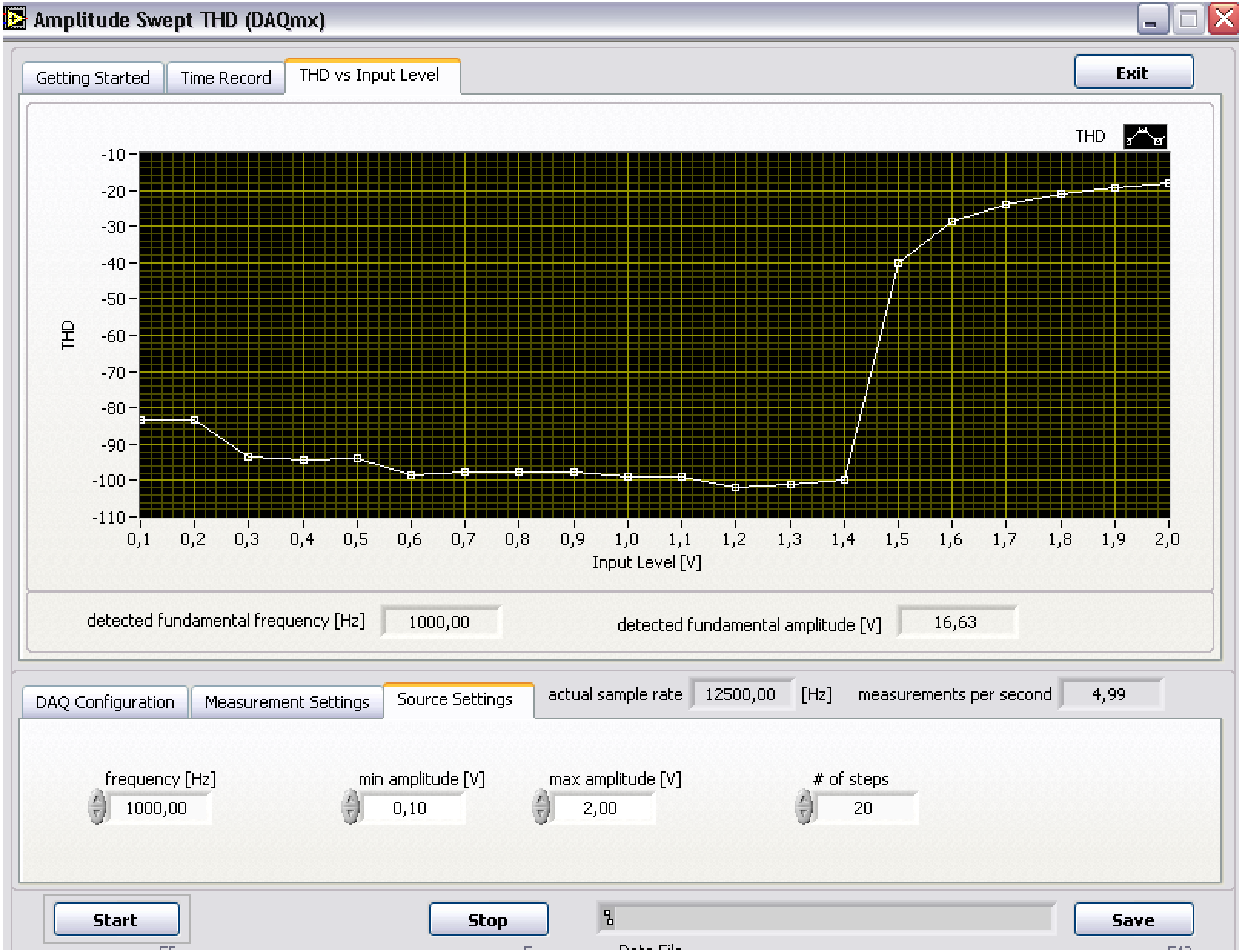


Source Settings: Frekvens, min-/max-amplitude, antal steps
(Sample rate vælges af programmet)

Swept Amplitude THD VI

Vælg optimal "Range Setting" for at få lavest mulig forvrængning fra instrumentet.

-80 dB ~ 0,01 %



Swept Amplitude THD VI - datafil

%	Date:	2007-11-30	Time:	10:46:17
%	Generator frequency	[Hz]:	5000.0	
%	Actual sample rate	[Hz]:	62500	
%	Max. number of harmonics:			5
%	Settle time	[s]:	0.10000	
%	Settle cycles:		10	
%	Integration time		[s]:	0.10000
%	Integration cycles:		20	
% S. ampl.		Fund. ampl.	THD	
% [V]		[V]	[dB]	
1.0000E-1		6.0805E-2	-8.2038E+1	
1.1005E-1		6.6913E-2	-8.0681E+1	
1.2011E-1		7.3027E-2	-8.3610E+1	
1.3016E-1		7.9139E-2	-8.7510E+1.	
.				
1.9799E+0		1.1795E+0	-2.3316E+1	
1.9899E+0		1.1854E+0	-2.3275E+1	
2.0000E+0		1.1913E+0	-2.3235E+1	

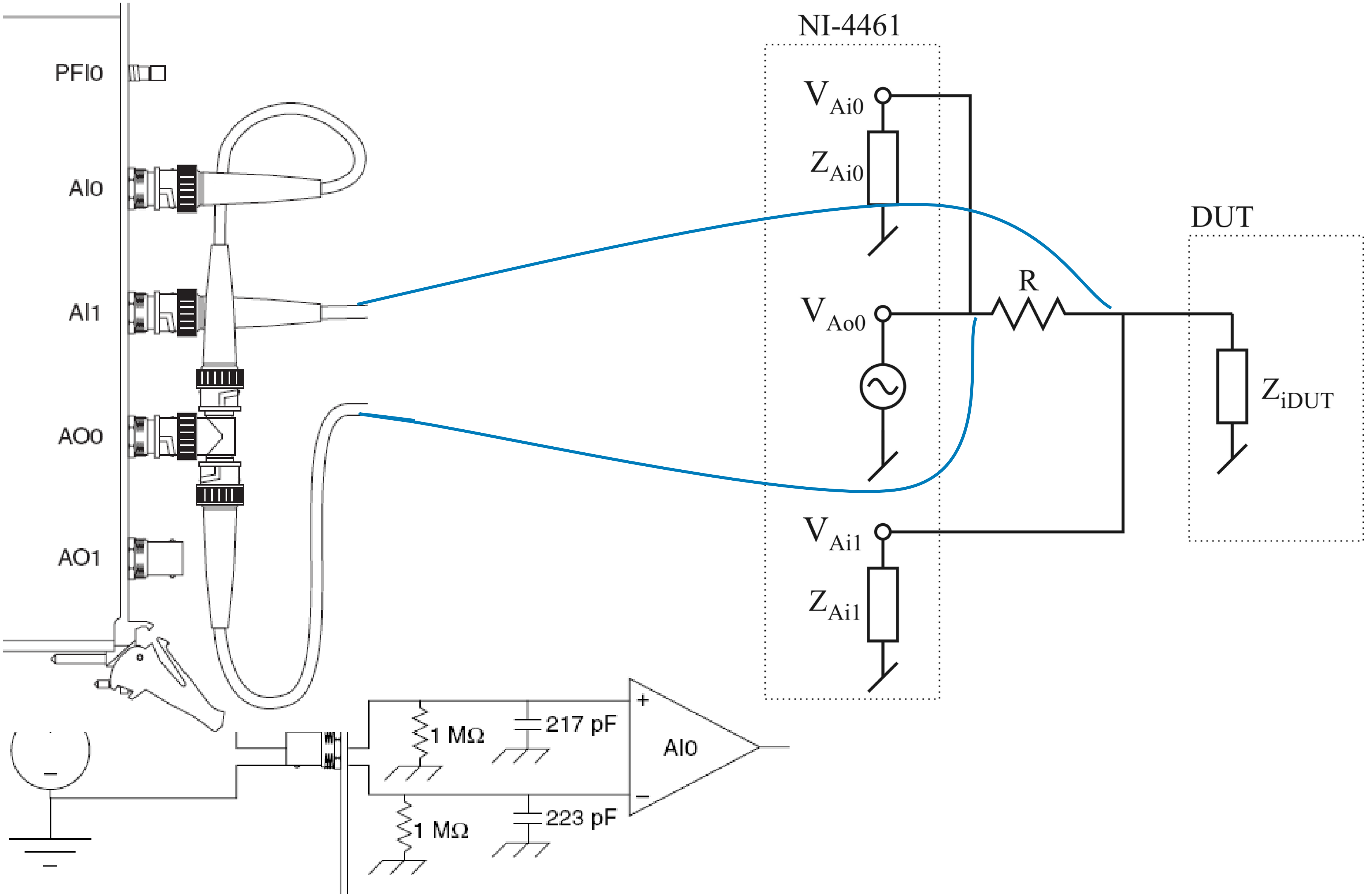
NB:

- Enhederne i filen (THD) kan afhænge af indstillingerne på skærmen

```
% AmplSweptTHD.m                    071130/OKJ;
% NI-4461 & Amplitude Swept THD VI
clear;

% READ MEASURED DATA
% txt-file with 10 header lines and 3 columns:
% Source amplitude[V], Fundamental amplitude[V] & THD[dB]
[FileA,PathA]=uigetfile('*.txt','Select measured amplitude sweep file');
FullFileA = fullfile(PathA,FileA);
[Vsource Vfund THDdB]=textread(FullFileA,'%f%f%f','headerlines',10);

THDpct = 100*10.^(THDdB/20);

figure(1)
loglog(Vsource,Vfund./Vsource,Vsource,THDpct);
xlabel('Source amplitude [V]');
ylabel('Fundamental gain[-]  &  Distortion [%]');
grid;
```

Hold øje med enheder

Måling af indgangsimpedans med "Swept Sine FRF VI"



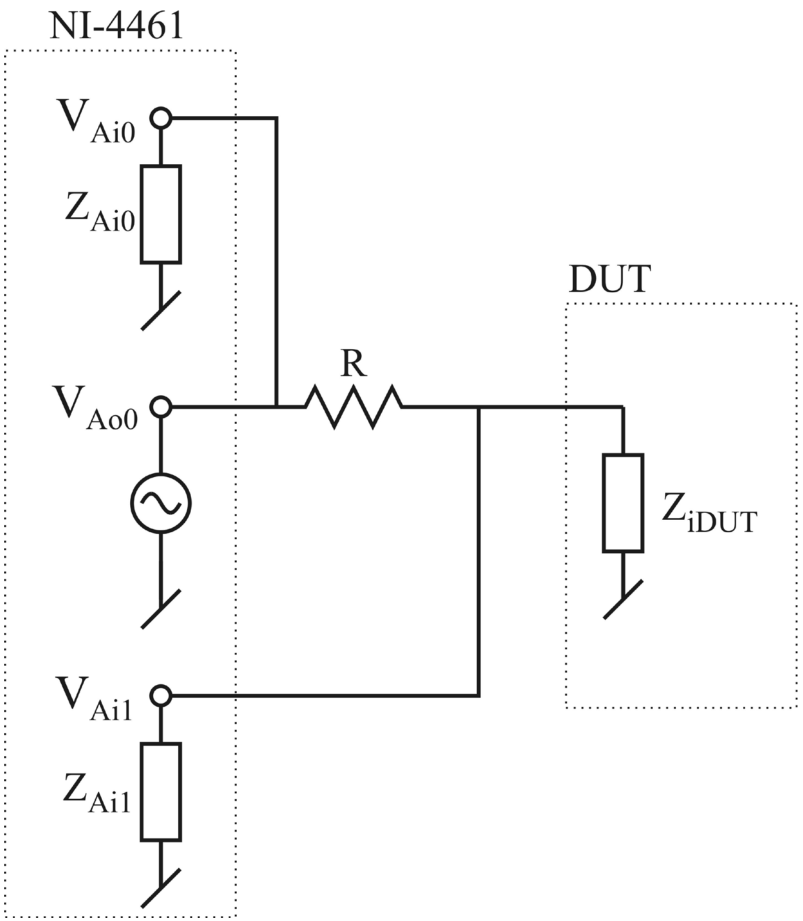
Måling med DUT:

$$\frac{V_{Ai1}}{V_{Ai0}} = \frac{Z_{iDUT} \,||\, Z_{Ai1}}{R + Z_{iDUT} \,||\, Z_{Ai1}}$$

$$R\frac{V_{Ai1}}{V_{Ai0}} = Z_{iDUT} \,||\, Z_{Ai1}\left(1 - \frac{V_{Ai1}}{V_{Ai0}}\right)$$

$$Z_{iDUT} \,||\, Z_{Ai1} = R\frac{\frac{V_{Ai1}}{V_{Ai0}}}{1 - \frac{V_{Ai1}}{V_{Ai0}}}$$

Måles som et
komplekst forhold
v.h.a.
"Swept Sine FRF VI"

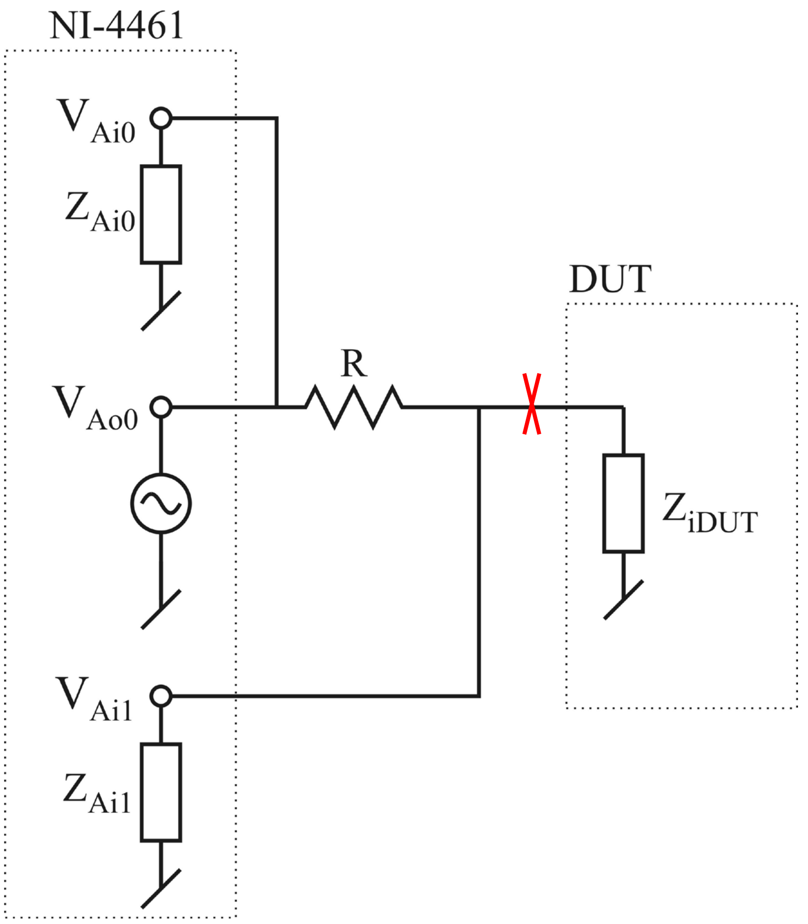


Måling af indgangsimpedans med "Swept Sine FRF VI"

Måling uden DUT:

$$Z_{Ai1} = R\frac{\frac{V'_{Ai1}}{V'_{Ai0}}}{1-\frac{V'_{Ai1}}{V'_{Ai0}}}$$

Måles som et komplekst forhold v.h.a. "Swept Sine FRF VI"



Opdeling af parallelforbindelsen:

$$Z_{iDUT} = \left(\left(Z_{iDUT} \parallel Z_{Ai1}\right)^{-1} - Z_{Ai1}^{-1}\right)^{-1}$$

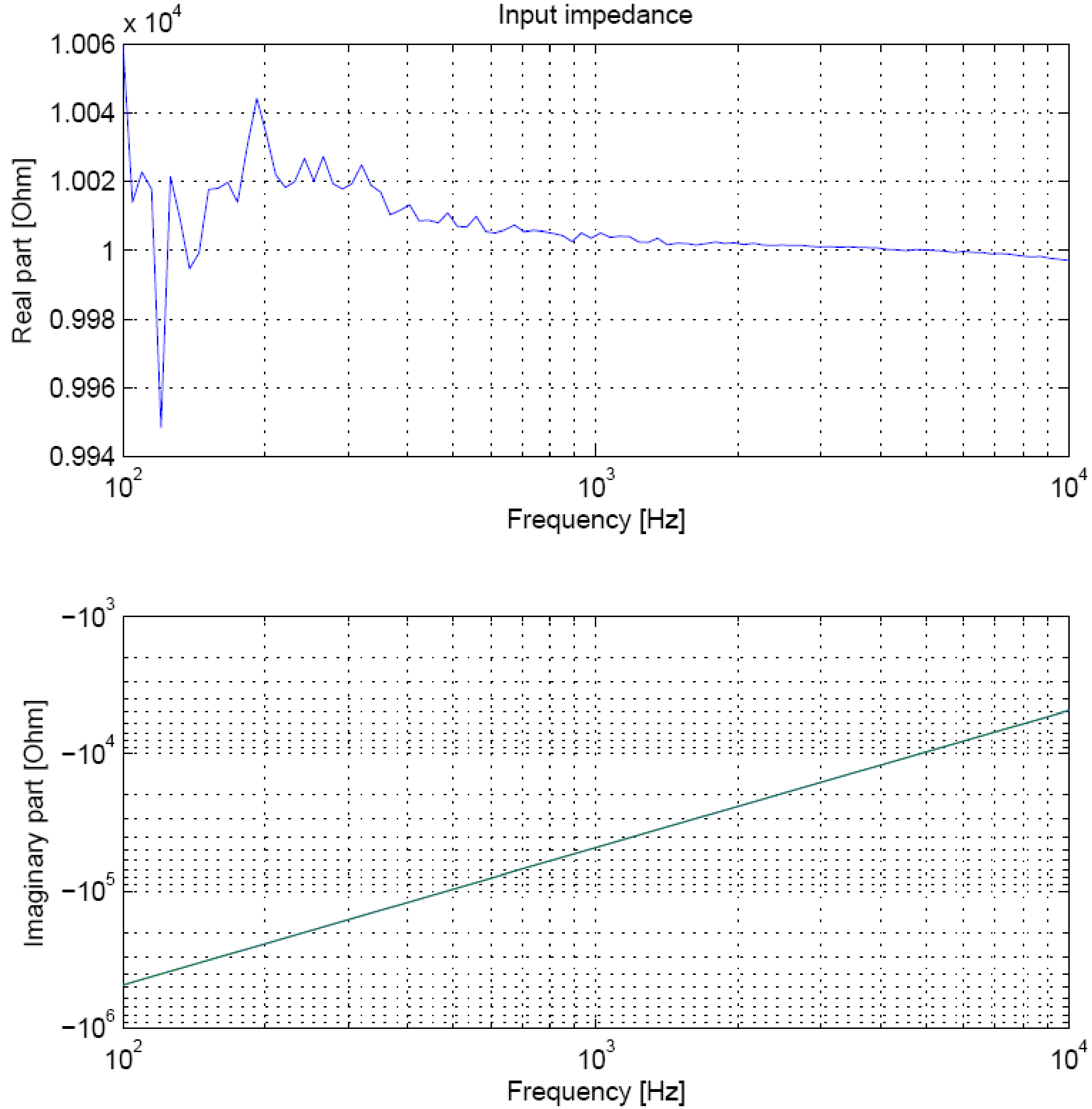
Måling af indgangsimpedans med “Swept Sine FRF VI”

```
% SweptSineImp.m                    071130/OKJ;
% NI-4461 & Swept Sine FRF VI
% Measurement of input impedance
clear;

R = 10e3;      % Series resistor – insert correct value

% READ MEASURED DATA with DUT connected
% txt-file with 9 header lines and 8 columns:
% Freq[Hz], Ampl[dB], Phase[deg], THD[%], HD2[dBc], HD3[dBc], HD4[dBc], HD5[dBc]
[FileA,PathA]=uigetfile('*.txt','Select measured frequency response file with DUT connected');
FullFileA = fullfile(PathA,FileA);
[Freq dBfund degFund dummy1 dummy2 dummy3 dummy4 dummy5]=textread(FullFileA,'%f%f%f%f%f%f%f%f','headerlines',9);

Vratio = 10.^(dBfund/20).*exp(j*degFund/180*pi);% Complex voltage ratio of Vai1/Vai0
Zboth = R*Vratio./(1-Vratio);

% READ MEASURED DATA without DUT connected
% txt-file with 9 header lines and 8 columns:
% Freq[Hz], Ampl[dB], Phase[deg], THD[%], HD2[dBc], HD3[dBc], HD4[dBc], HD5[dBc]
[FileA,PathA]=uigetfile('*.txt','Select measured frequency response file without DUT connected');
FullFileA = fullfile(PathA,FileA);
[Freq dBfund degFund dummy1 dummy2 dummy3 dummy4 dummy5]=textread(FullFileA,'%f%f%f%f%f%f%f%f','headerlines',9);

Vratio = 10.^(dBfund/20).*exp(j*degFund/180*pi);   % Complex voltage ratio of Vai1/Vai0
Zai1 = R*Vratio./(1-Vratio);

ZiDUT = 1./(1./Zboth - 1./Zai1);
```

Måling af indgangsimpedans med "Swept Sine FRF VI"

Eksempel på impedans-måling:

10 kΩ i serie med
3,3 nF



Og det virker ☺

Links til manualer m.v.

NI-4461 datablad

- ht^{2}p:/^{2}v^{6}.ni.com/pdf/products/us/pxi4461.pdf

NI-4461 Detailled specifications

- http://www.ni.com/pdf/manuals/373770g.pdf
- http://www.ni.com/pdf/manuals/373770j.pdf

LabVIEW Sound and Vibration Toolkit User Manual

- http://www.ni.com/pdf/manuals/322194c.pdf

Øvelser:

- 310 & 311: Mandag 10:00-11:00
- 312 & 313: Mandag 11:00-12:00
- 314 & 315: Onsdag 15:00-16:00 (eller evt. fredag 12:30-13:30)

Plan B:

- 310 & 311: Mandag 9:30 – 10:30
- 312 & 313: Mandag 10:30 – 11:30
- 314 & 315: Mandag 11:30 – 12:30

I "mellemtiden"

- Målinger fra mm4. (f_H, f_L CE_{Re})

Læs øvelsesvejledningen inden I går i lab (nej, det har I vel allerede gjort?)