



Meetrapport/analyse van de flatplank cambersweep faciliteit

Ruud van den Bogaert

maart 2010
ver. 1.0d

**Dept. of Mechanical Engineering,
DCT/CST**
Eindhoven University of Technology, WL 0.53
P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven, NL
T: +31 40 247 3178
F: +31 40 246 1418
M: r.v.d.bogaert@tue.nl

Inhoud

- **Gestelde eisen TU/e.**
- **Berekeningen theoretische grenswaarden.**
- **Metingen/analyse theoretische grenswaarden.**
 - Statische nauwkeurigheid.
 - Dynamisch gedrag.
- **Conclusies en aanbevelingen.**

-Gewenste eisen TU/e:

(Gegevens van Igo Besselink, uit mail 13-01-2010)

Een eerste inschatting. Een en ander hangt ook af van de respons van de band (en die willen we juist willen onderzoeken...).

De genoemde frequenties van 0.25 Hz en een amplitude van 15 deg. zijn de meest extreme gevallen. (Is in combinatie zelfs niet mogelijk i.v.m. limitaties van de actuatorsnelheid, het is ook nooit de bedoeling geweest om die combinatie te kunnen gebruiken).

Ik verwacht dat we normaliter met een amplitude van 5 deg. (bereik top/dal 10 deg.) gaan meten. Eventueel kleiner met 2.5 deg. (bereik top/dal 5 deg.)
Offsets vanuit de middenstand: -10 /-5/0/5/ 10 deg.

Wat betreft te realiseren golflengte is het een combinatie van camberfrequentie en voorwaartse snelheid van de plank.

Misschien als schot voor de boeg:

- amplitude 5 deg., frequentie 0.25 Hz, voorwaartse snelheid 0.025 m/s: golflengte 0.10 m
- amplitude 5 deg., frequentie 0.20 Hz, voorwaartse snelheid 0.025 m/s: golflengte 0.125 m
- amplitude 5 deg., frequentie 0.15 Hz, voorwaartse snelheid 0.025 m/s: golflengte 0.166 m
- amplitude 5 deg., frequentie 0.10 Hz, voorwaartse snelheid 0.025 m/s: golflengte 0.25 m
- amplitude 5 deg., frequentie 0.075 Hz, voorwaartse snelheid 0.025 m/s: golflengte 0.33 m
- amplitude 5 deg., frequentie 0.05 Hz, voorwaartse snelheid 0.025 m/s: golflengte 0.50 m
- amplitude 5 deg., frequentie 0.025 Hz, voorwaartse snelheid 0.025 m/s: golflengte 1.0 m

De maximale voorwaartse snelheid is mij mijn weten 0.048 m/s, bij 0.025 Hz krijg je dan een golflengte van bijna 2 m en begin je tegen de beperkte lengte van de plank aan te lopen. Probleem is hier dat we niet precies weten bij welke golflengte we interessante dingen gaan meten. Voor sinusexcitatie de frequenties dus zeer waarschijnlijk tussen de 0.025 Hz en 0.25 Hz, amplitude 5 en 2.5 deg. en offset van -10/-5/0/5/10 deg.

Wat is de ondergrens voor de voorwaartse snelheid van de plank en hoe precies kunnen we die instellen? (dat heeft ook invloed op het aantal “vaste” camberfrequenties)

Voor een cambersweep waarbij we het volledige bereik van +/- 15 graden pakken zit ik te denken aan een zaagtand signaal, waarbij de hysteresis in de krachten en momenten minimaal moeten zijn. Dat moeten we wellicht proefondervindelijk uitproberen.

-Berekeningen theoretische grenswaarden.

(Gegevens via Tom Verschuren uit mail d.d. 23-02-2010)

Maximale snelheid wat de actuator moet halen is 25 [mm/s], dit komt neer op 320000 [counts/s] voor de motorencoder (8000 pulsen/omw en vertraging $i = 8$)

$$\begin{aligned} \text{Verder: } x(t) &= A \sin(2\pi f t), \\ v(t) &= A \cdot 2\pi f \cos(2\pi f t). \end{aligned}$$

$$|v(t)|_{\max} = 320000 \text{ [counts/s]} = 2400 \text{ rpm}$$

In geval maximale amplitude gewenst:

$$\begin{aligned} |A|_{\max} &= 610000 \text{ counts (nu als position limietwaarde ingesteld in Elmo drive):} \\ f_{\max} &= 320000 / (610000 \cdot 2\pi) = \mathbf{0.084 \text{ [Hz]}} \end{aligned}$$

In geval maximale frequentie gewenst:

$$\begin{aligned} f_{\max} &= 0.25 \text{ [Hz]} \\ A_{\max} &= 320000 / (2\pi \cdot 0.25) = 203718 \text{ [counts]} \end{aligned}$$

Tot nu toe is alles in motor encoder counts. Als we dit omrekenen naar 'plank' encoder counts moeten we een factor 1770 in rekening nemen.

1 'plank' count = 1770 motor counts. Verder geldt volgens mijn aantekeningen ca. 22 plank counts = 1 deg. (Dit kwam helaas niet mooi op een rond getal uit door beperkte resolutie)

Zo geldt uiteindelijk dus dat de maximale uitwijking bij maximale frequentie:

$$A_{\max, \text{deg}} = 203718 / 1770 / 22 = \mathbf{5.23 \text{ deg.}}$$

In de praktijk is de snelheidslimiet voor de motor niet op 2400 rpm ingesteld, maar veel hoger: 4500 rpm. (Dit komt dan neer op $\mathbf{46,8 \text{ mm/s}}$). Rijst de vraag of deze hoge limiet wel nodig is, aangezien Igo niet sneller hoeft volgens z'n specs

Metingen/analyse theoretische grenswaarden.

(Ruud van den Bogaert)

Statische positie

De plank-encoder geeft 2000 pulsen per omwenteling. Na quadrature decoding komt dit neer op 8000 counts per omwenteling. Dit zijn vervolgens **22,222 counts/deg.**

Controle met een Mitutoyo digital protractor PRO 360 (950-315).
Nauwkeurigheid Mitutoyo: 0,1deg, resolutie 0,1deg.

Counts	Hoek in theorie (deg.)	Mitutoyo (deg.)
100	4,500	4,5
200	9,000	9,0
300	13,500	13,5
323	14,535	14,6.
334	15,030	15,1
-100	4,500	-4,4
-200	9,000	-9,0
-300	13,500.	-13,5
-323	14,535	-14,5
-334	15,030	-15,0

Dynamisch gedrag:

Ter controle van de theorie is een cambersweep testapplicatie gemaakt (Ruud) waarmee zowel driehoek als sinus, met vooraf ingestelde amplitude (hoek), frequentie en offset binnen de gestelde grenzen in te stellen, visualiseren en loggen is. Met de applicatie kunnen we verder de cambering onmiddellijk onderbreken (Kill) en terugzetten in de horizontale beginstand (Homing).

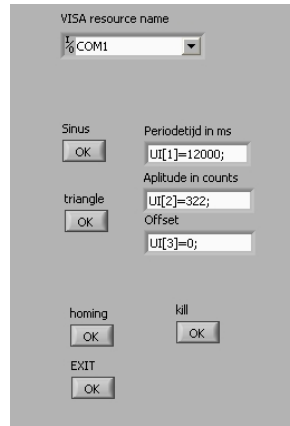


fig. 1

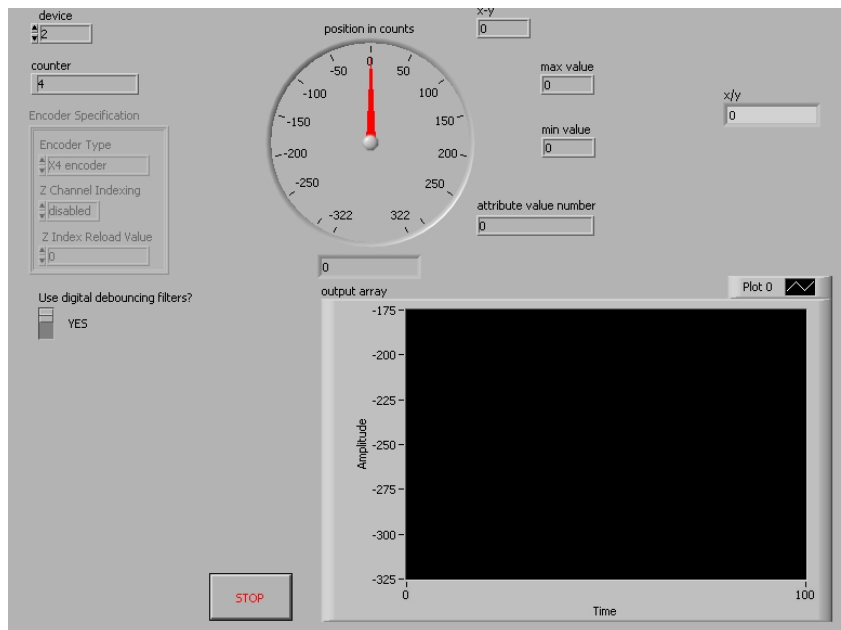


fig. 2

Visualisatie van het dynamisch bereik op basis van de theorie.

Fig. 3 . Grenswaarden positieve uitslag sinus en triangle.

Van 0,025 tot 0,084 Hz: Max amplitude 334 counts = **+15,03 deg.**

Van 0,084 tot 0,25Hz: Lin aflopend van 334 naar 115 counts = **15.03 naar 5,18 deg.**

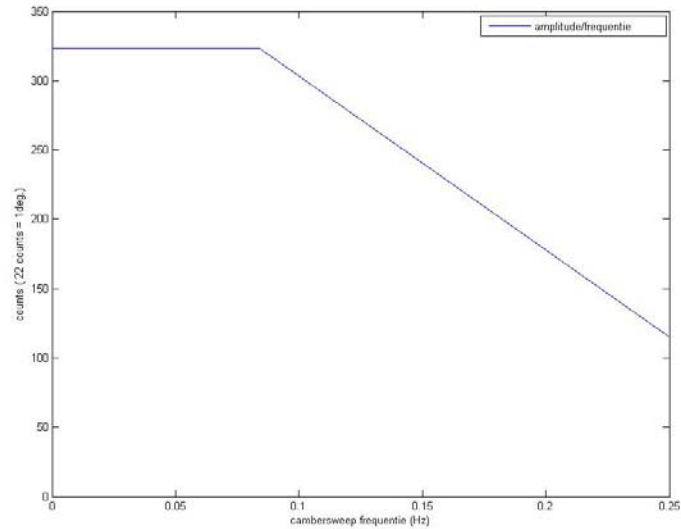


fig.3

Fig 4. grenswaarden negatieve uitslag sinus en traingle.

Van 0,025 tot 0,084 Hz: Max amplitude -334 counts = **-15,03 deg.**

Van 0,084 tot 0,25Hz: Lin oplopend van -334 naar -115 counts = **-15.03 naar -5,18 deg.**

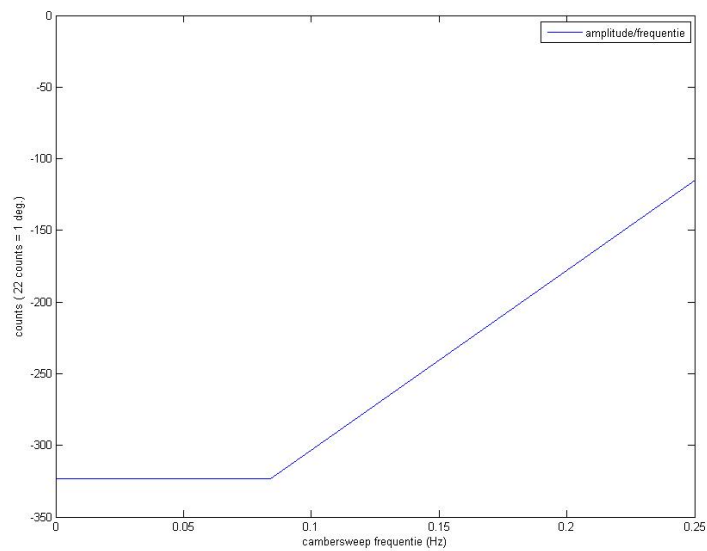


fig.4

Metingen grenswaarden.

- Theoretisch maximaal haalbare frequentie bij maximale uitwijking triangle.
- Theoretisch maximaal haalbare frequentie bij maximale uitwijking sinus.
- Theoretisch maximaal haalbare amplitude bij maximale gewenste freq. triangle
- Theoretisch maximaal haalbare amplitude bij maximale gewenste freq sinus

Fig. 5. **Maximaal haalbare frequentie bij maximale uitwijking triangle:**

0,084Hz, max 323 counts, min -324 counts. Sample rate: 100mS

MEETFILE: MAXAMPL, 11904, 323, 0, triangle, 100ms.txt

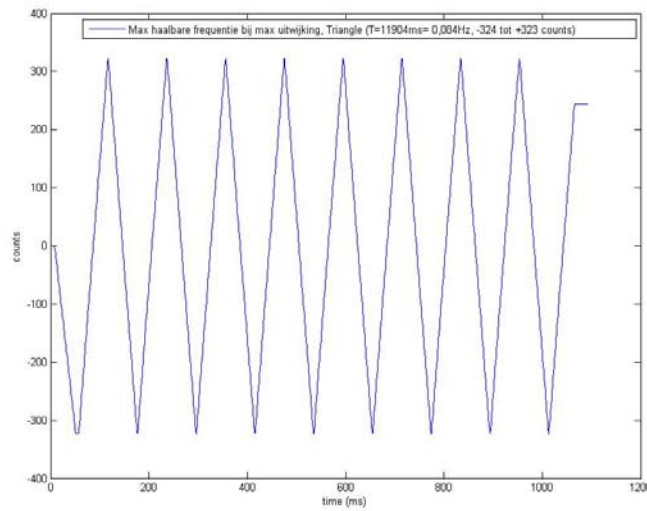


fig. 5

Fig. 6. **Maximaal haalbare frequentie bij maximale uitwijking sinus:**

0,084Hz, max 323 counts, min -324 counts. Sample rate: 100mS

MEETFILE: MAXAMPL, 11904, 323, 0, sinus, 100ms.txt

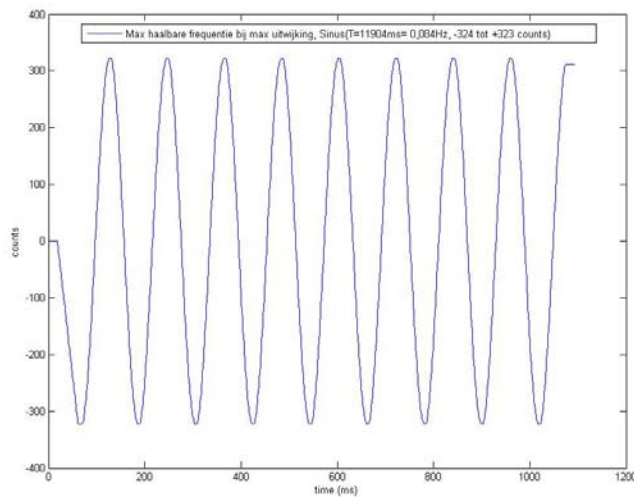


fig. 6

Fig. 7. **Maximaal haalbare amplitude bij maximale gewenste freq triangle:**
0,25 Hz, max 115 counts, min -115 counts. Sample rate: 100mS
MEETFILE: MAXFREQ,4000,115,0,triangle,100ms.txt

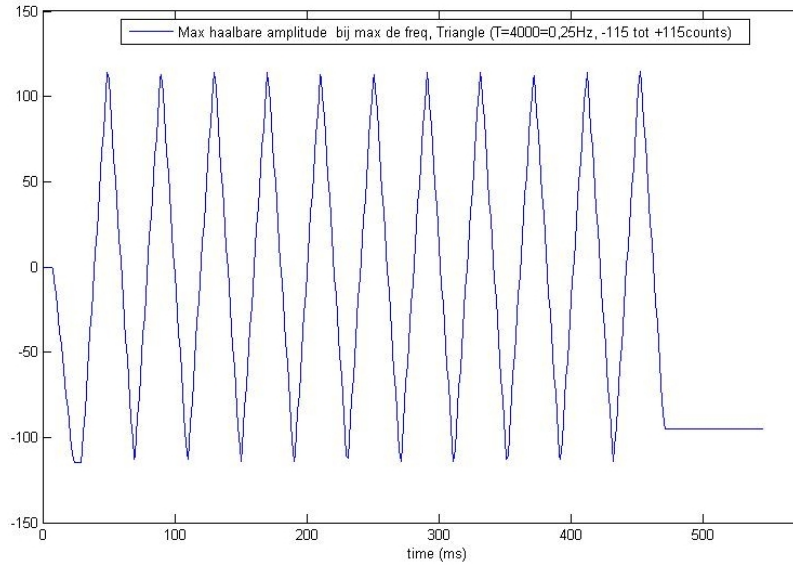


fig. 7

Fig. 8. **Maximaal haalbare amplitude bij maximale gewenste freq sinus:**
0,25Hz, max 114 counts, min -115 counts. Sample rate: 100mS.
MEETFILE: MAXFREQ,4000,115,0,sinus,100ms.txt

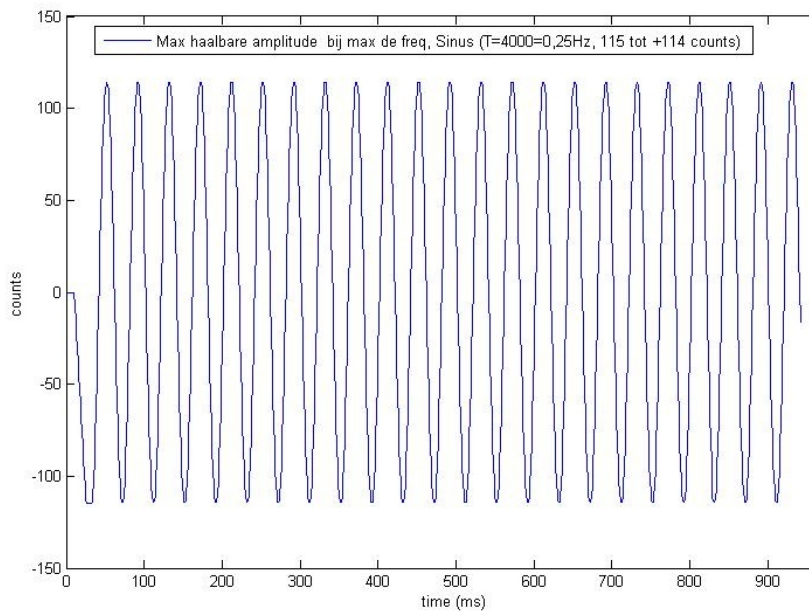


fig. 8

De max metingen zijn gedaan op 323 counts =14,5deg. (323/22,22)

Fig. 9. Omdat we niet tot 14,5 maar tot 15 deg moeten kunnen gaan is een extra controlemeting uitgevoerd bij 15 deg. op de **maximaal haalbare frequentie bij maximale uitwijking**, **triangle**. (22,222 * 15= 333.33 counts. Omhoog afgerond naar 334 counts =15,03deg.)
MEETFILE:MAXAMPL,11904,323,0,sinus,100ms.txt

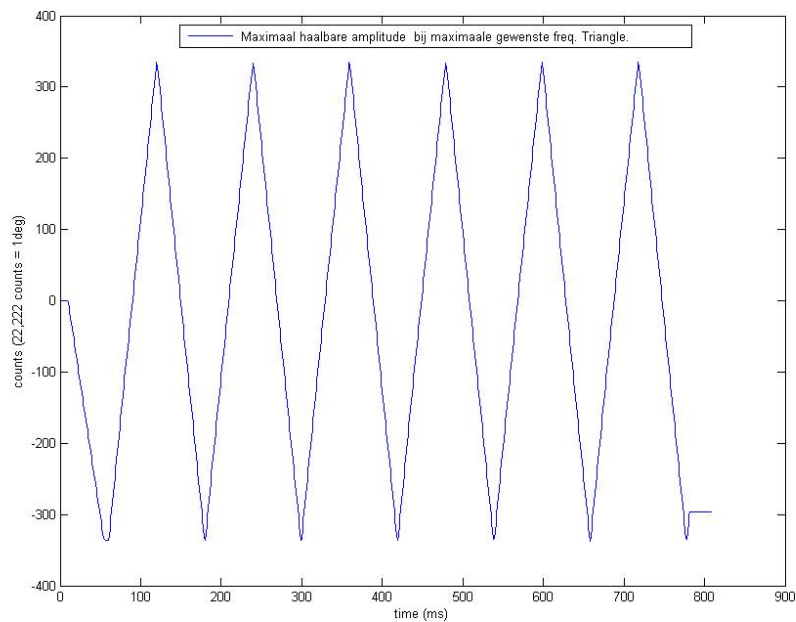


fig. 9

Absolute maximum

Het absolute maximum ligt op 610.000 motorcounts. De factor tussen motor en plankcounts is 1770 dit komt neer op 344 plank counts =15,5 deg

Maximale belasting

Fig. 10 en fig. 11. Er is gemeten met een hoge basisbelasting van c.a. 8500N oplopend tot ongeveer 9500N bij cambering van 15 deg. De maximale uitslag van 15 deg. bij deze hoge belasting is alleen haalbaar op de laagste frequenties (0,025Hz). Er was een extra brede band ingespannen om de optimale 'worst case' situatie te bereiken.

MEETFILES: MAXBEL,40000,334,0,triangle.txt

MAXBEL,40000,334,0,sinus.txt

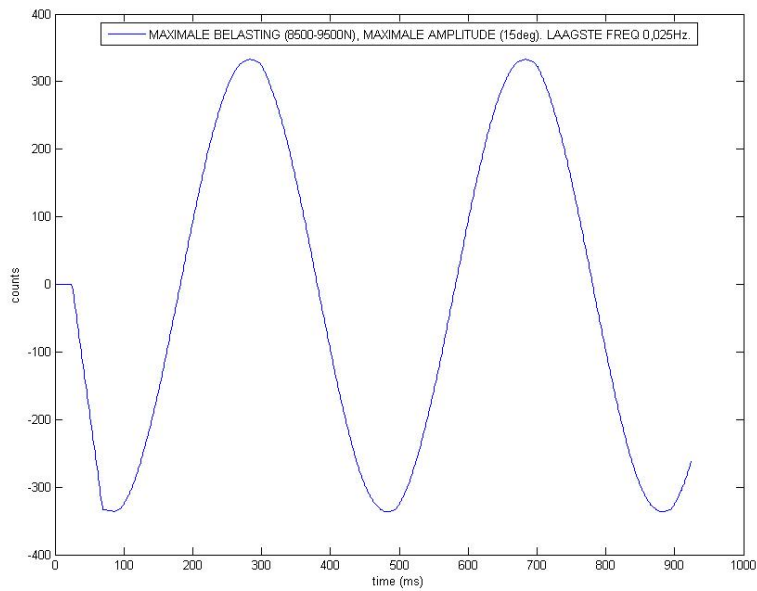


fig. 10

Sinus en triangle beginnen altijd vanuit het dal

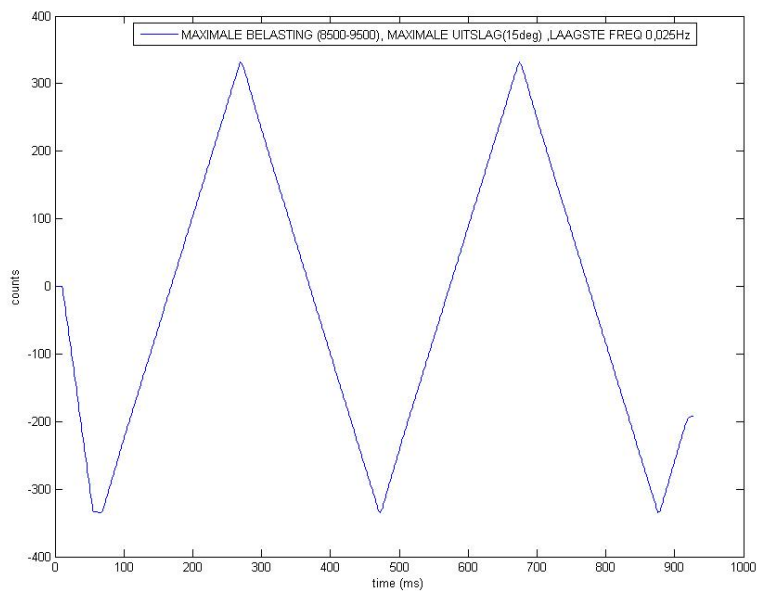


fig.11

Nauwkeurigheid

Analyse van de date files:

1 tot 2 counts afwijking : **0,093 deg.**
Een enkele keer 3 counts: **0,139 deg.**

Conclusies en aanbevelingen

Alle maxima zijn haalbaar maar niet altijd in combinatie met elkaar.

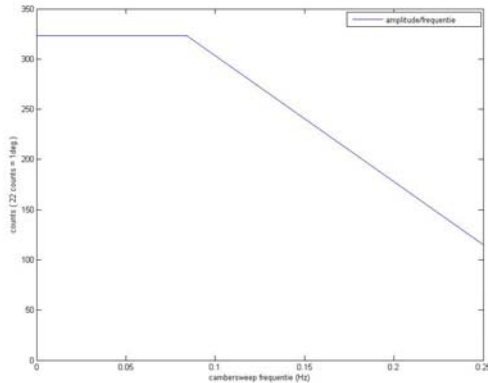


fig. 12 (ook fig. 3)

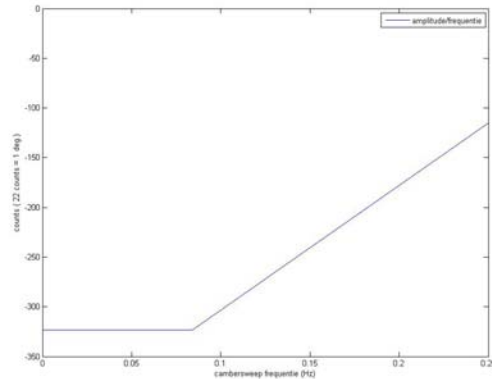


fig. 13 (ook fig. 4)

Fig. 12. Van 0,025 tot 0,084 Hz: Max. amplitude 334 counts = 15,03 deg.
Van 0,084 tot 0,25Hz: Lin aflopend van 334 naar 115 counts = 15,03 naar 5,18 deg.

Fig. 13. Van 0,025 tot 0,084 Hz: Max. amplitude -334 counts = -15,03 deg.
Van 0,084 tot 0,25Hz: Lin oplopend van -334 naar -115 counts = -15,03 naar -5,18 deg.

Het is duidelijk dat het gebied boven de lijn in fig. 12 en onder de lijn in fig. 13 **altijd** onbereikbaar is. In het geval van en offset schuiven beide lijnen omhoog of omlaag

In belaste toestand is de freq. en amplitude grens afhankelijk van de vertikaal aangebrachte kracht, de breedte van de band, de bandenspanning en respons van de band.

Per band zal vooraf, met de testapplicatie, bekeken moeten worden of de combinatie frequentie en amplitude met de ingespannen band bij een bepaalde verticale belasting haalbaar is. Voor de meeste door Igo gestelde eisen zal het geen probleem zijn.

Voor aanvang van camberen wordt altijd gestart vanuit de dalpositie. De eerste kwart periode doet niet mee.

Tenslotte moet opgemerkt worden dat de ogenschijnlijk zeer zuivere sinus en triangle nooit een 100% sinus- of driehoek vorm kan hebben omdat deze worden aangestuurd vanuit een translerende beweging.