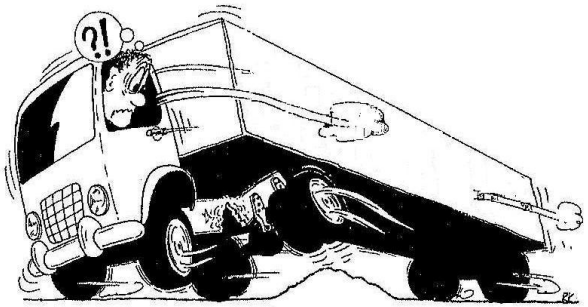
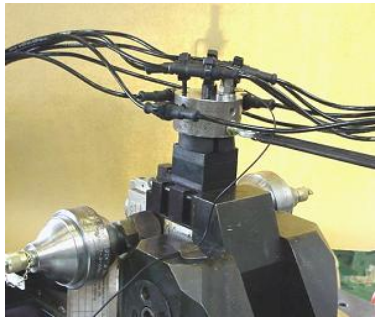
Simon de Cock
Engineering Consultancy

Eisen voor omgevingstesten vroeger en nu: het Fatigue Damage Spectrum





S. De Cock
Simon de Cock Engineering Consultancy

Inhoud

Simon de Cock
Engineering Consultancy

1. Standaards
2. Tailoring: Mil std 810.
3. Het ontstaan van schade
4. Een schade-equivalent testsignaal
5. Het Shock response Spectrum
6. Berekening van de schade: FDS
7. FDS: procedure, de acceleratiefactor
8. FDS: conclusie

1. Standaards

IEC 60068-2-6

Edition 7.0 2007-12

INTERNATIONAL STANDARD

DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 16750-3.2

ISO/TC 22/SC 3 Secretariat: DIN

Voting begins on: 2006-07-27 Voting terminates on: 2006-09-27

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment —

Bijna iedereen gebruikt standaards voor het testen van elektronische componenten en kleine mechanische componenten. Voor vrachtwagens:

- Electronic Control Units
- regelkleppen (remsysteem, brandstofsysteem)
- apparaten in de truck-cabine (Cd speler, ijskast)

1. Standaards

De belastingen betreffen zaken zoals:

- trillingen
- temperatuur
- stof
- corrosieve omgeving

1. Standaards

Simon de Cock Engineering Consultancy

De belastingen betreffen zaken zoals:

- trillingen
- temperatuur
- stof
- corrosieve omgeving

De belastingen zijn:

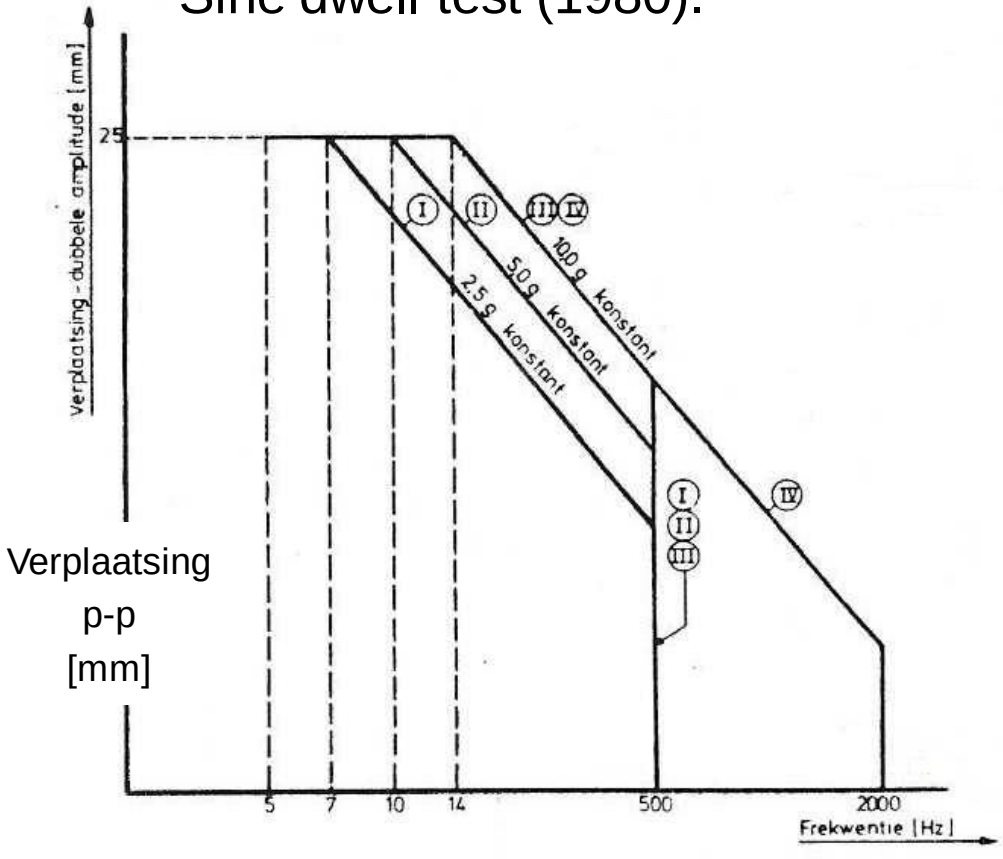
- generiek, niet gemeten op de specifieke component
- overal op het niveau van de hoogst voorkomende belastingen in de betreffende omgeving

In het volgende komen vooral trillingen aan de orde.

1. Standaards

Zo begon het…

Sine dwell test (1980).

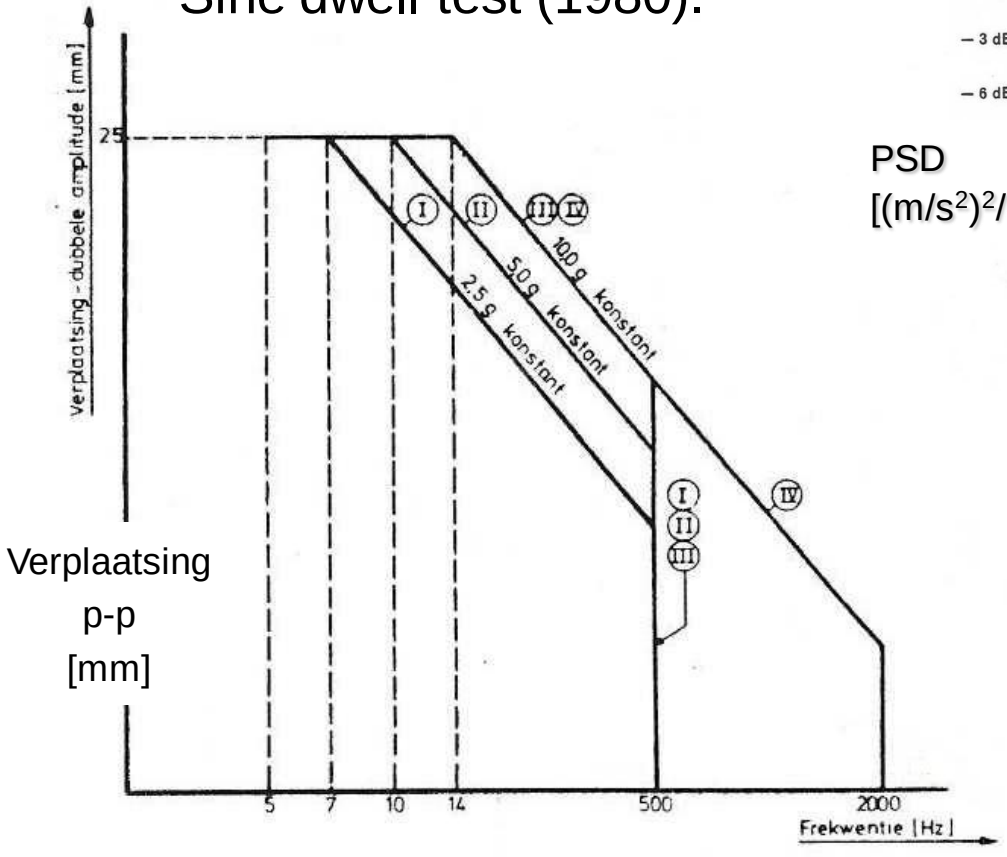


Verplaatsing
p-p
[mm]

1. Standaards

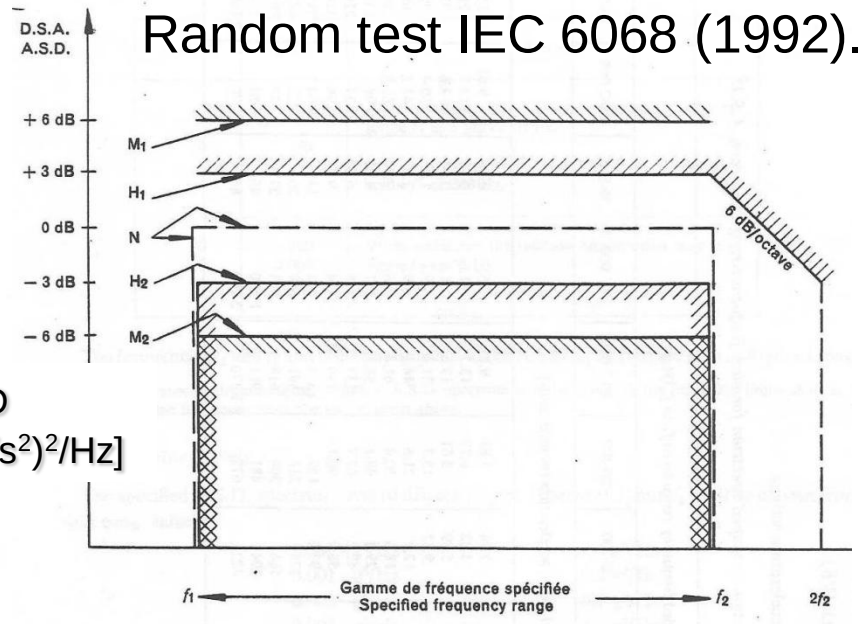
Zo begon het…

Sine dwell test (1980).



Verplaatsing
p-p
[mm]

Random test IEC 6068 (1992).

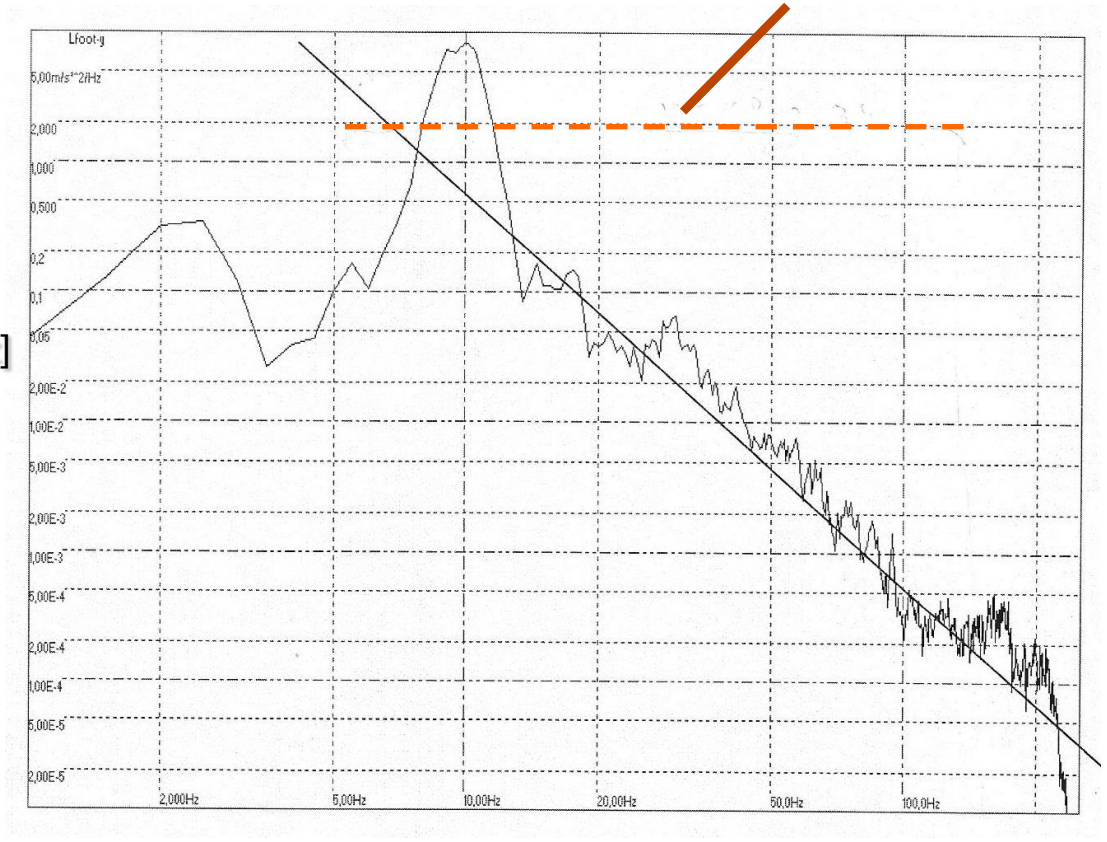


PSD
[(m/s^2)^2/Hz]

Freq [Hz]

1. Standaards

Random test IEC 6068



PSD
[(m/s^2)^2/Hz]

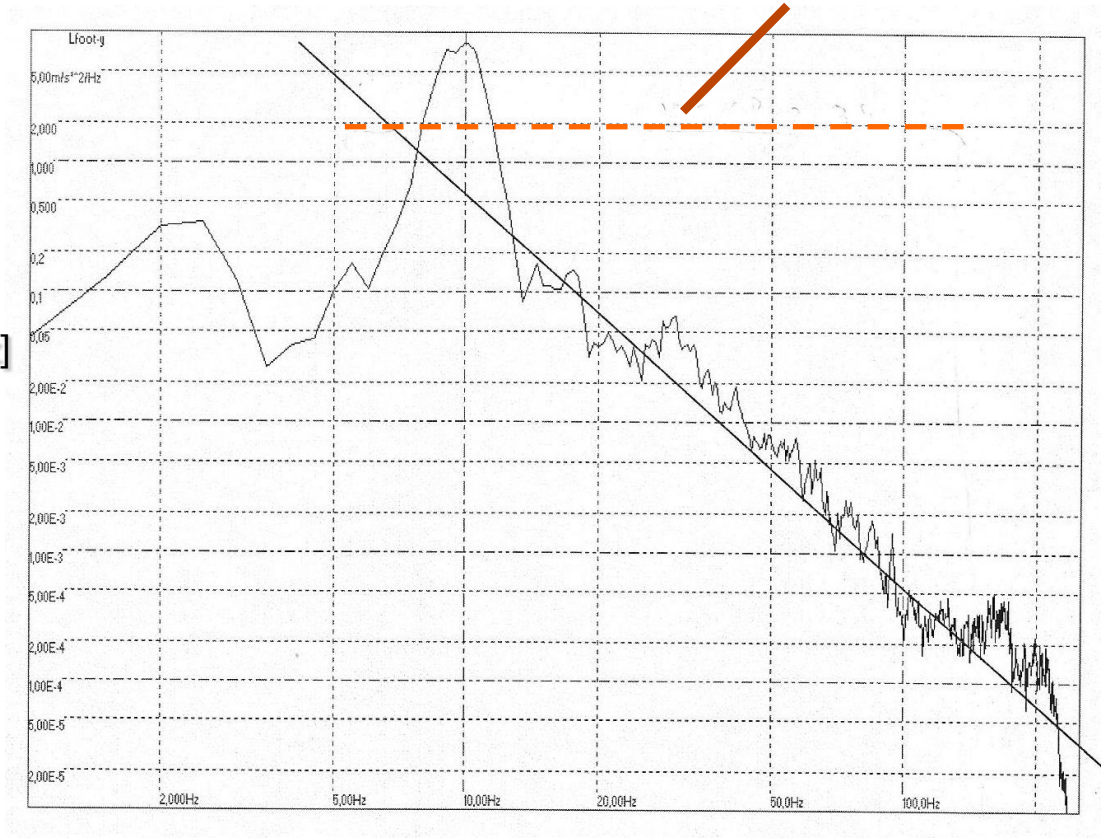
Freq [Hz]

Trillingen op een vrachtwagencabine: de test past niet goed bij de natuurlijke omgeving….

1. Standaards

Random test IEC 6068

PSD
[(m/s²)²/Hz]

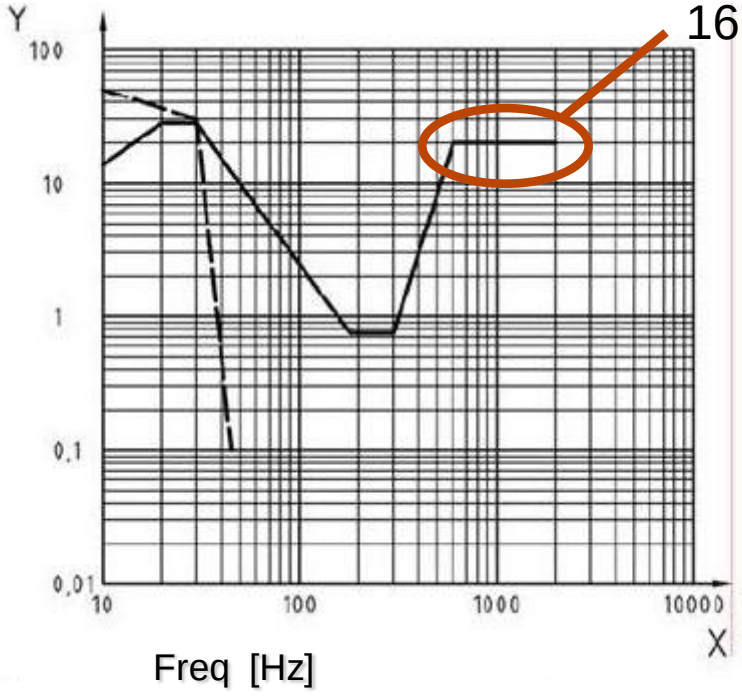


Freq [Hz]

Trillingen op een vrachtwagencabine: de test past niet goed bij de natuurlijke omgeving….

Er is behoefte aan iets beters.

1. Standaards



167 m/s² RMS

PSD
[(m/s²)²/Hz]

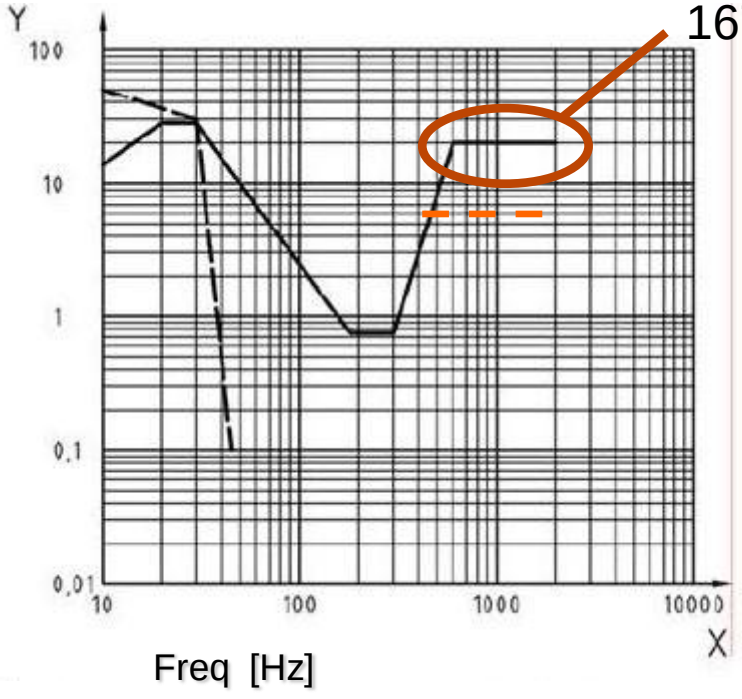
177 m/s² rms

De random test
uit ISO 16750-3,
par. 4.1.2.6.: motoren.
Testduur 3 x 94 uren.

De tendens: vervang vlakke random test spectra (IEC 6068), of sweep tests tot 2 kHz, door tests met de specifieke vorm van de natuurlijke omgeving (1999).

Freq [Hz]

1. Standaards



167 m/s^2 RMS

PSD
[(m/s^2)^2/Hz]

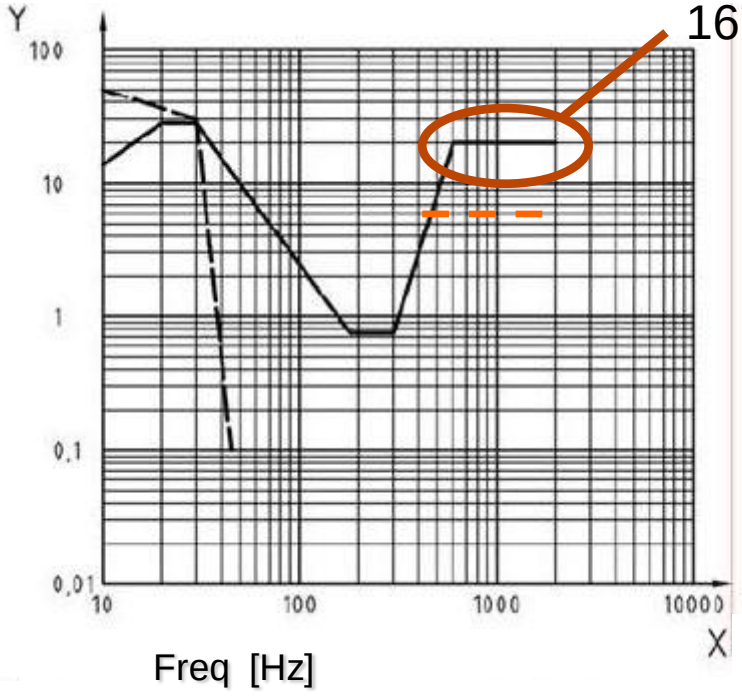
177 m/s^2 rms

De random test
uit ISO 16750-3,
par. 4.1.2.6.: motoren.
Testduur 3 x 94 uren.

De tendens: vervang vlakke random test spectra (IEC 6068), of sweep tests tot 2 kHz, door tests met de specifieke vorm van de natuurlijke omgeving (1999).

Freq [Hz]

1. Standaards



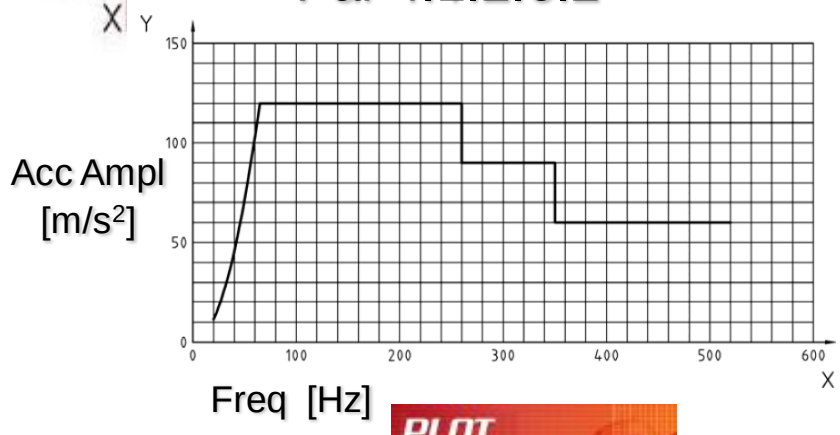
167 m/s² RMS

PSD
[(m/s²)²/Hz]

177 m/s² rms

De random test
uit ISO 16750-3,
par. 4.1.2.6.: motoren.
Testduur 3 x 94 uren.

Sweep test 3 x 94 u.
Par 4.1.2.6.2



De tendens: vervang vlakke random test spectra (IEC 6068), of sweep tests tot 2 kHz, door tests met de specifieke vorm van de natuurlijke omgeving (1999).

1. Standaards

Testen via standaards werkt voor deze componenten:

- het is niet nodig om een her-test uit te voeren als de component binnen de deelomgeving wordt verplaatst.
- Het is meestal relatief eenvoudig om de component bestendig te maken tegen het wat hogere generieke belastingsniveau.

1. Standaards

Simon de Cock Engineering Consultancy

Testen via standaards werkt voor deze componenten:

- het is niet nodig om een her-test uit te voeren als de component binnen de deelomgeving wordt verplaatst.
- Het is meestal relatief eenvoudig om de component bestendig te maken tegen het wat hogere generieke belastingsniveau.

Vanaf 2000 dreef de emissiewetgeving voor vrachtwagenmotoren iedere motorenbouwer in europa tot de ontwikkeling van geheel nieuwe motoren → hoge trilniveaus! Hoe pakken we dat aan?

2. Tailoring: Mil std 810

MIL std 810 is wel gericht op het specifieke gebruik van het apparaat/voertuig en volgt een geheel andere benadering:

Tailoring/Mission profiling

Deze Amerikaanse militaire standaard presenteerde in 1962 de eerste methode om de werkelijke specifieke gebruiks-belastingen op een apparaat in te schatten t.b.v. een duurproefspecificatie.

2. Tailoring: Mil std 810

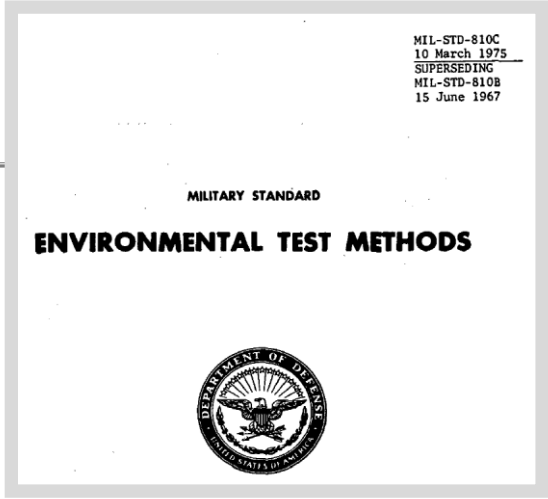
MIL std 810 is wel gericht op het specifieke gebruik van het apparaat/voertuig en volgt een geheel andere benadering:

Tailoring/Mission profiling

Deze Amerikaanse militaire standaard presenteerde in 1962 de eerste methode om de werkelijke specifieke gebruiks-belastingen op een apparaat in te schatten t.b.v. een duurproefspecificatie.

Dit gedachtengoed werd ook gebruikt voor de opzet van sign off eisen voor structurele duurzaamheid (ref 5).

2. Tailoring: Mil std 810


MIL-STD-810C
10 March 1975
SUPERSEDING
MIL-STD-810B
15 June 1967

MILITARY STANDARD

ENVIRONMENTAL TEST METHODS

MIL std 810:

“The objective of tailoring, as applied in this standard, is to assure that military equipment is designed and tested for resistance to the environmental stresses it will encounter during its life cycle.”

Ook hier gaat het vooral om apparaten; in de standaard wordt de belastingshistorie van een apparaat verdeeld in kenmerkende belastingsoorten.

http://www.everyspec.com/MIL-STD/

2. Tailoring: Mil std 810

In MIL std 810 gaat men als volgt te werk:

- Verdeel de belastingshistorie van een apparaat in een aantal kenmerkende “omgevingen” (load environments).
- Meet in iedere omgeving de kenmerkende trillingsbelasting en bepaal de bijbehorende frequentiespectra en tijdsduur.
- Gebruik een schademodel om lage belastingen van lange duur om te zetten naar hogere belastingen van korte duur
- Bepaal de totaaltest als de som van de deelomgevingen.

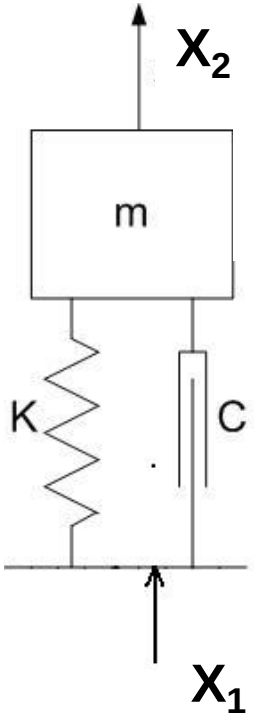
3. Het ontstaan van schade

Hoe komt schade tot stand in een electronische component?

3. Het ontstaan van schade

Hoe komt schade tot stand in een electronische component?

- Aanstoting over een breed frequentiespectrum
- De component is het kwetsbaarst bij zijn eigenfrequenties:
  De <u>resonante respons bij eigenfrequentie</u> F_o en dempingsfactor D leidt tot een groot aantal belastingswisselingen die schade accumuleren.

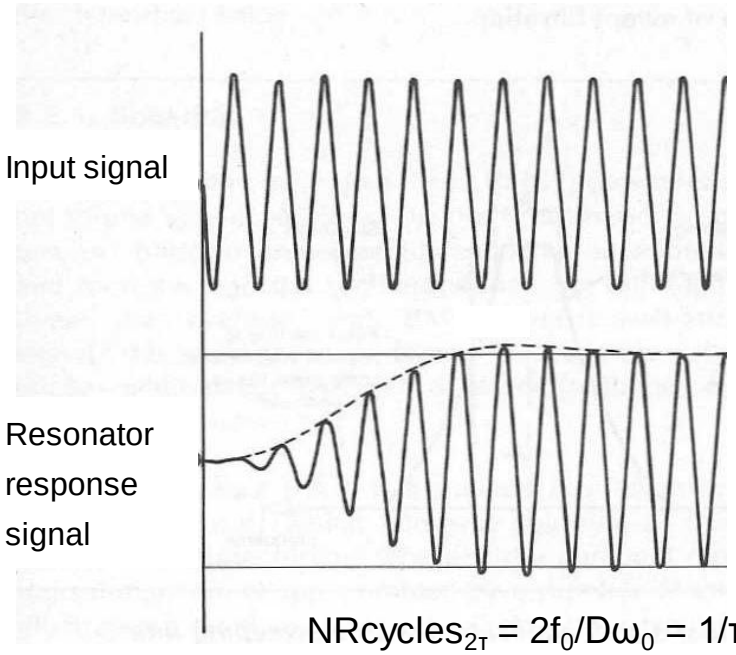


3. Het ontstaan van schade

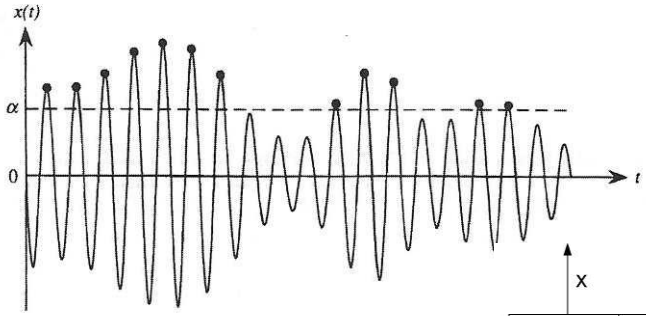
Nog iets: een resonator met D = 3% heeft 10 cycli nodig om tot 85% van de steady state respons te komen.

3. Het ontstaan van schade

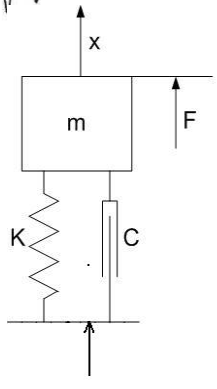
Nog iets: een resonator met D = 3% heeft 10 cycli nodig om tot 85% van de steady state respons te komen. Hoge pieken in de respons komen dus van <u>toevallige opeenvolging in de excitatie, niet van de hoogste pieken in de excitatie!</u>



$NRcycles_{2\tau} = 2f_0/D\omega_0 = 1/\pi D$



Pieken in de respons hebben een Rayleigh verdeling (ref. 6).



4. Een schade-equivalent testsignaal

Simon de Cock
Engineering Consultancy

De opgave is om een test signaal te creëren met dezelfde schade-inhoud als het signaal dat is gemeten tijdens bedrijf (het operationele gebruik dat als criterium dient).

4. Een schade-equivalent testsignaal

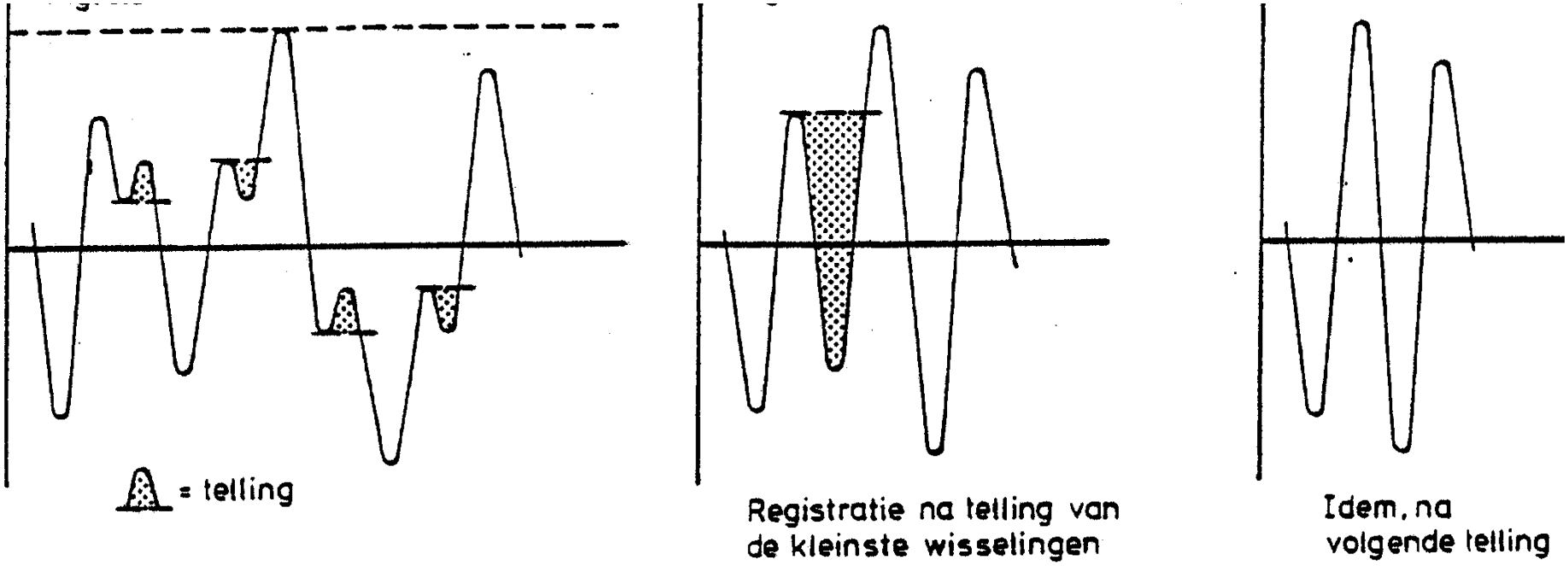
Simon de Cock
Engineering Consultancy

De opgave is om een test signaal te creëren met dezelfde schade-inhoud als het signaal dat is gemeten tijdens bedrijf (het operationele gebruik dat als criterium dient).

<u>Dit voor iedere gegeven frequentieband Δf.</u>

4. Een schade-equivalent testsignaal

Bij de reeds behandelde klasseermethoden wordt er vanuit gegaan dat het maatgevende spanningssignaal <u>in de component</u> geheel bekend is:



Dat is hier niet het geval….

4. Een schade-equivalent testsignaal

Simon de Cock Engineering Consultancy

De schade-equivalentie is vereist voor het gehele frequentie-gebied (motor: 10 – 2000 Hz).

We weten niet waar de eigenfrequenties liggen in de te testen component.

Dit is niet triviaal: Zorgen voor hetzelfde PSD of autospectrum geeft geen garantie voor de schade-inhoud op de component zelf!

4. Een schade-equivalent testsignaal

Simon de Cock Engineering Consultancy

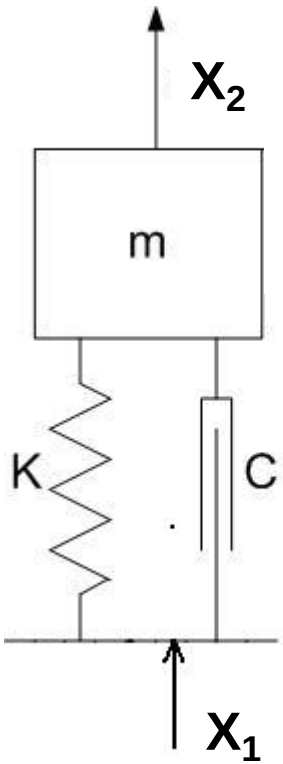
De schade-equivalentie is vereist voor het gehele frequentie-gebied (motor: 10 – 2000 Hz).

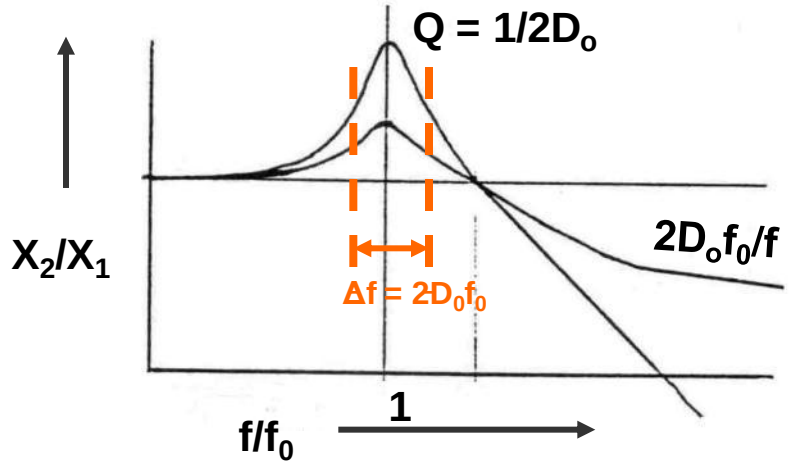
We weten niet waar de eigenfrequenties liggen in de te testen component.

Dit is niet triviaal: Zorgen voor hetzelfde PSD of autospectrum geeft geen garantie voor de schade-inhoud op de component zelf!

Dit probleem werd voor het eerst opgelost in 1932 door de Amerikaan M. Biot (CIT Pasadena, Cal, aardbevingen, ref.2).

4. Een schade-equivalent testsignaal

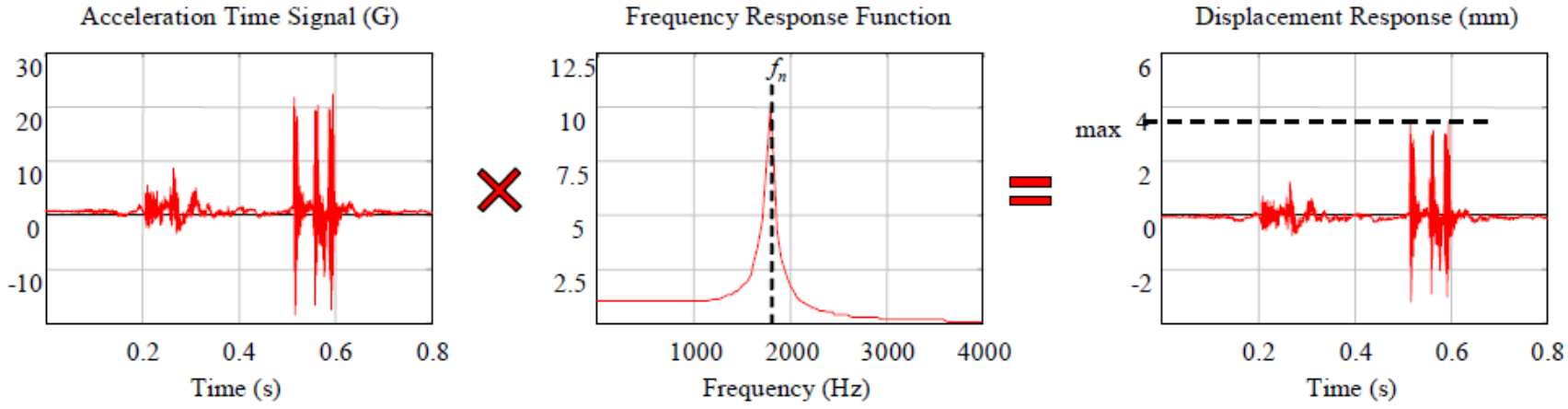




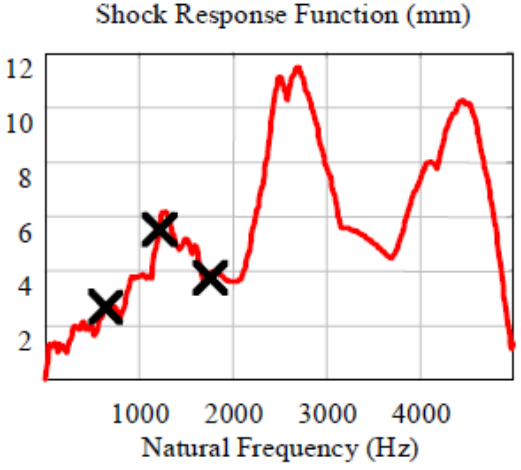
- Beschouw een component als een systeem met 1 vrijheidsgraad.
- Q-factor: Q = 10 (Dempingfactor D_o = 0.05).

Bereken voor een gegeven input X1 de maximale waarde van de respons X2.

5. Het Shock response Spectrum



1. Take input acceleration signal and filter through SDOF transfer function for natural frequency f_n
2. Find maximum amplitude response and plot on Shock Response Spectrum
3. Increment natural frequency f_n and repeat above steps
4. Join points to create Shock Response Spectrum SRS



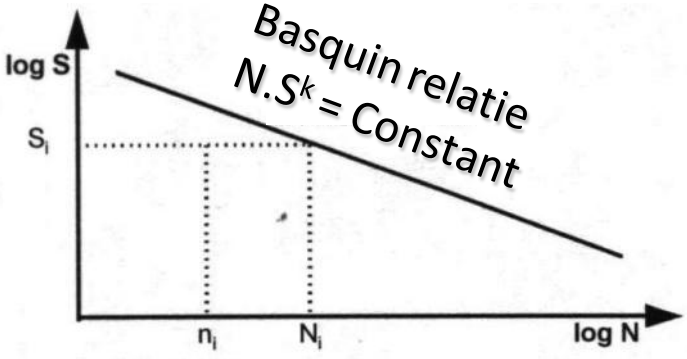
Ref 1: Dr.A.Halfpenny, NCode int. “Accelerated vibration testing based on FDS”

Biot’s benadering leidt tot een “spectrum” dat voor iedere frequentie de maximale componentrespons toont.

6. Berekening van de schade: FDS

I.p.v. de maximale respons kan de schade worden berekend:

De regel van Miner kan worden gebruikt om uit de berekende responsbeweging X_2 van de resonator een maat voor de vermoeiingsschade (fatigue damage) van de component te bepalen.



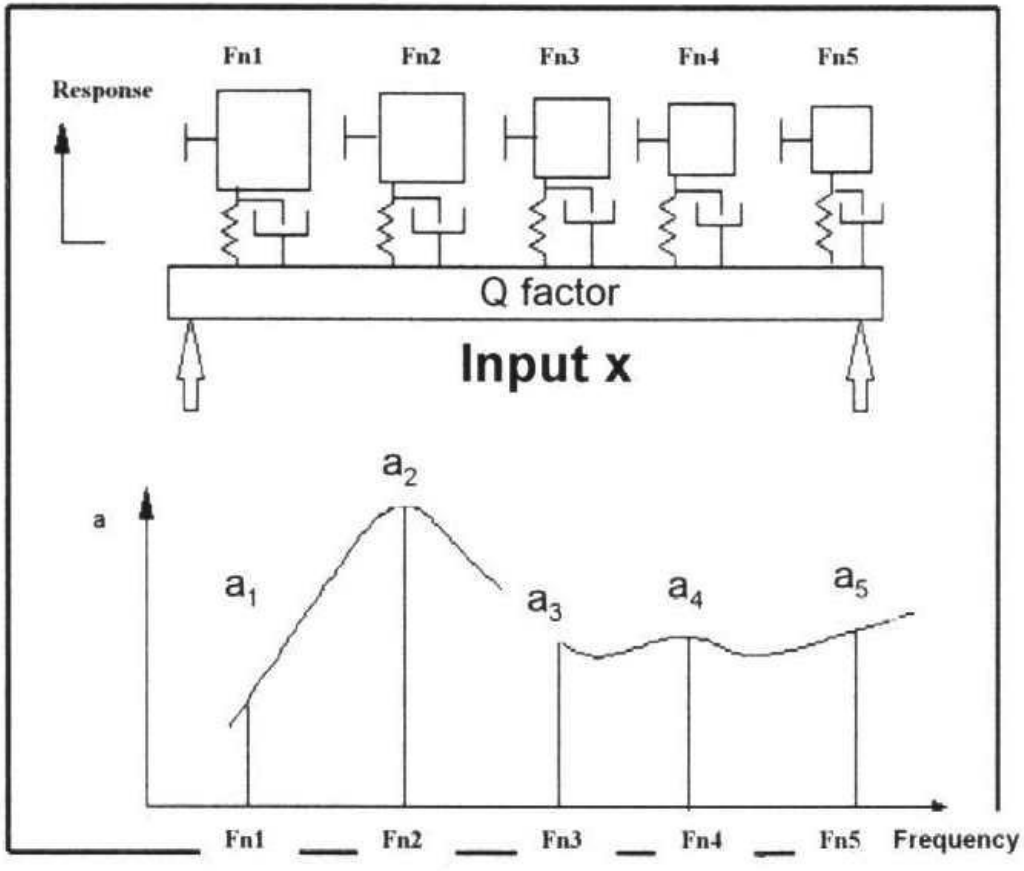
Wohler curve

Perc. life used $$D=\sum_i \frac{n_i}{N_i}$$

Miners rule

Men gebruikt vaak: Wöhler constante k = 6….8
(rainflow telling → Miner schadeberekening)

6. Berekening van de schade: FDS



Deze benadering wordt vervolgens toegepast voor een groot aantal eigenfrequenties: dit geeft het fatigue damage spectrum (FDS).

6. Berekening van de schade: FDS

Proces voor het vinden van een schade-equivalent testsignaal vanuit operationele omgevingsmetingen, de omgevingsmetingen bestaan uit een aantal deelomgevingen:

- Per deelomgeving: bepaal de schade voor iedere eigenfrequentie van de resonator → FDS
- Tel de FDS spectra van alle deelomgevingen op
- bepaal t.b.v. de test een enkel (korter) signaal dat hetzelfde FDS heeft, eventueel met dezelfde piekrespons.

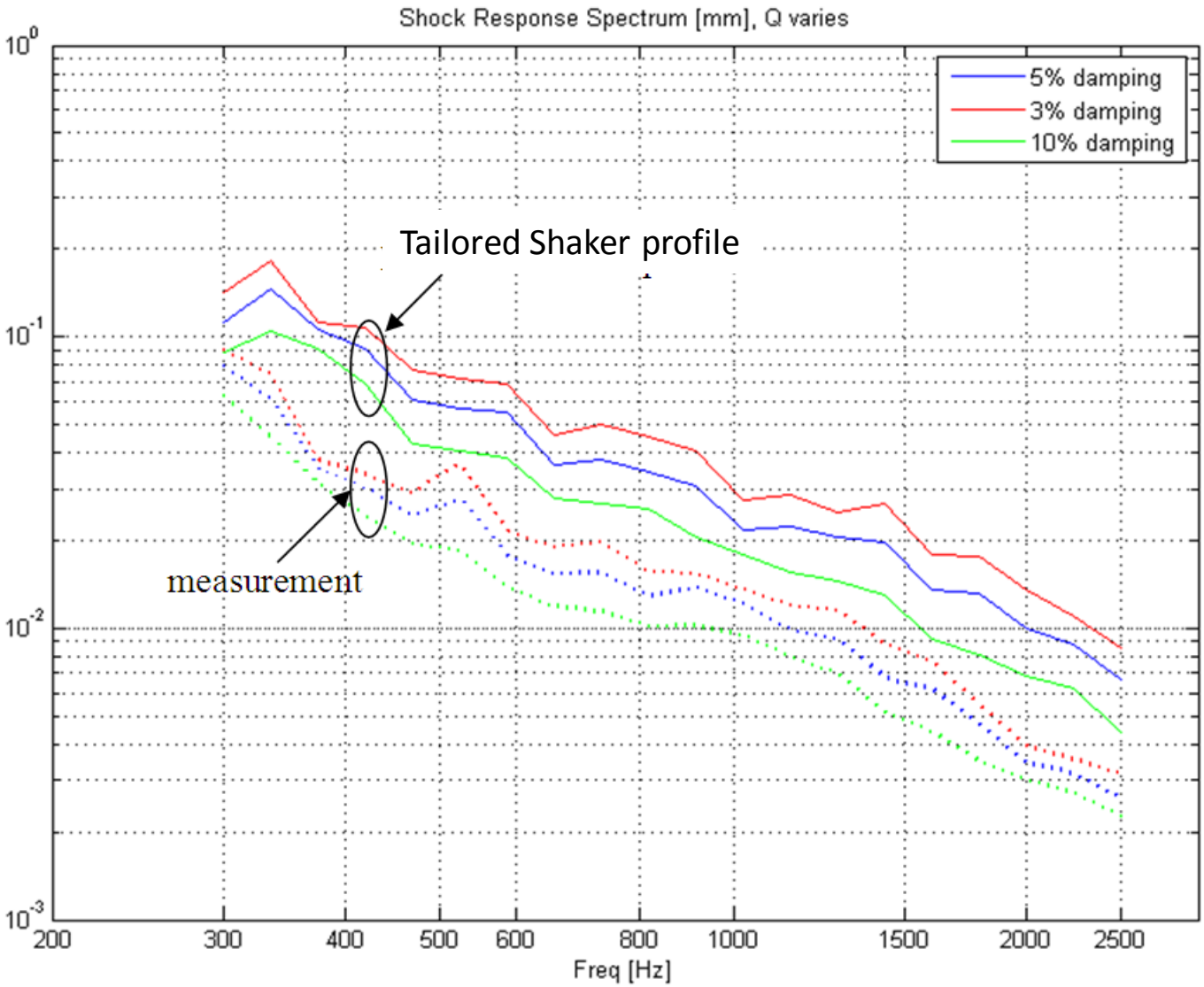
6. Berekening van de schade: FDS

Proces voor het vinden van een schade-equivalent testsignaal vanuit operationele omgevingsmetingen, de omgevingsmetingen bestaan uit een aantal deelomgevingen:

- Per deelomgeving: bepaal de schade voor iedere eigenfrequentie van de resonator → FDS
- Tel de FDS spectra van alle deelomgevingen op
- bepaal t.b.v. de test een enkel (korter) signaal dat hetzelfde FDS heeft, eventueel met dezelfde piekrespons.

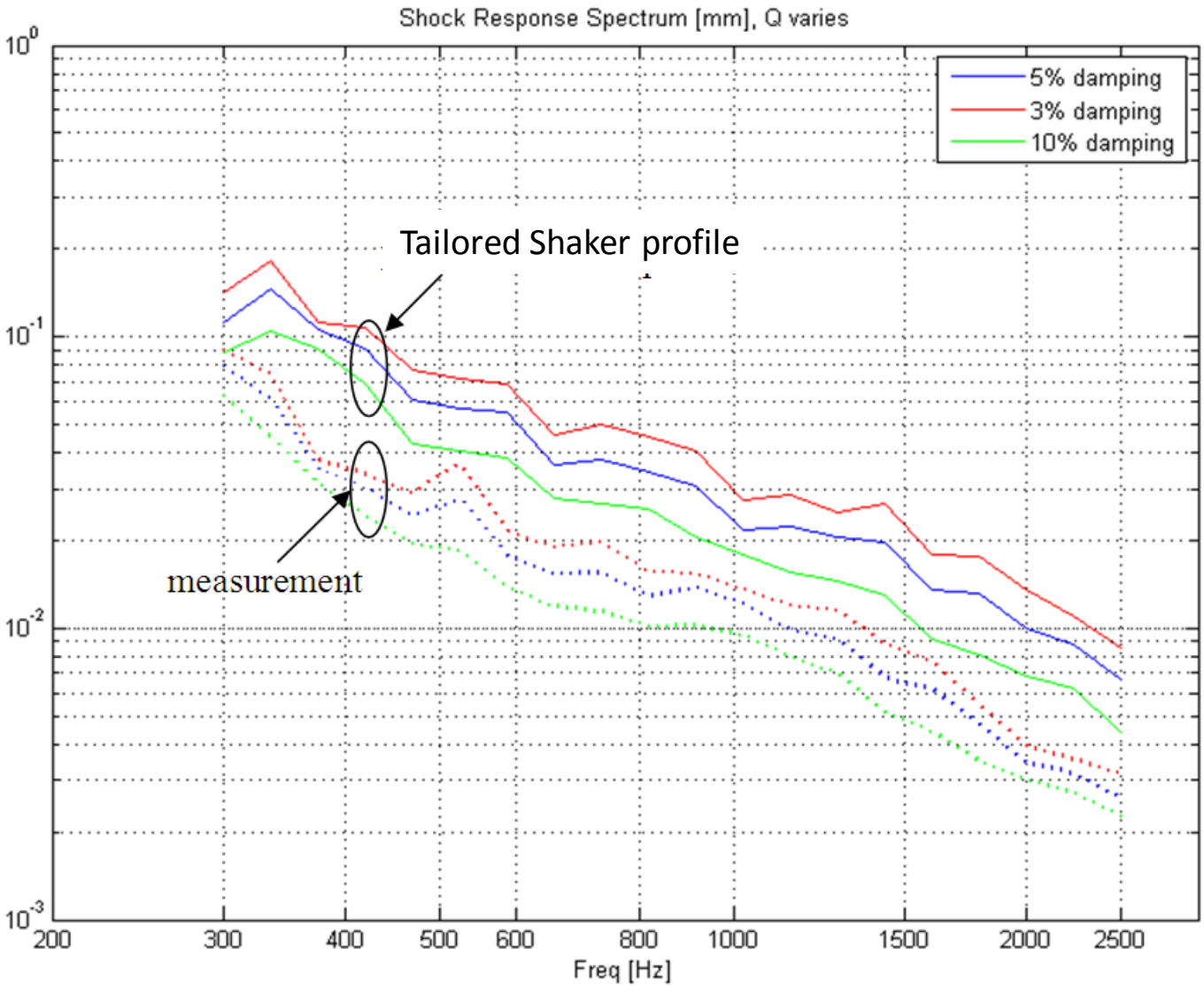
Maar, hoe zit het met de willekeurige keuze van D en k?

6. Berekening van de schade: FDS



Conclusie: variatie van D geeft wel aanleiding tot sterk veranderende FDS, maar motor en ISO test veranderen in gelijke mate.

6. Berekening van de schade: FDS

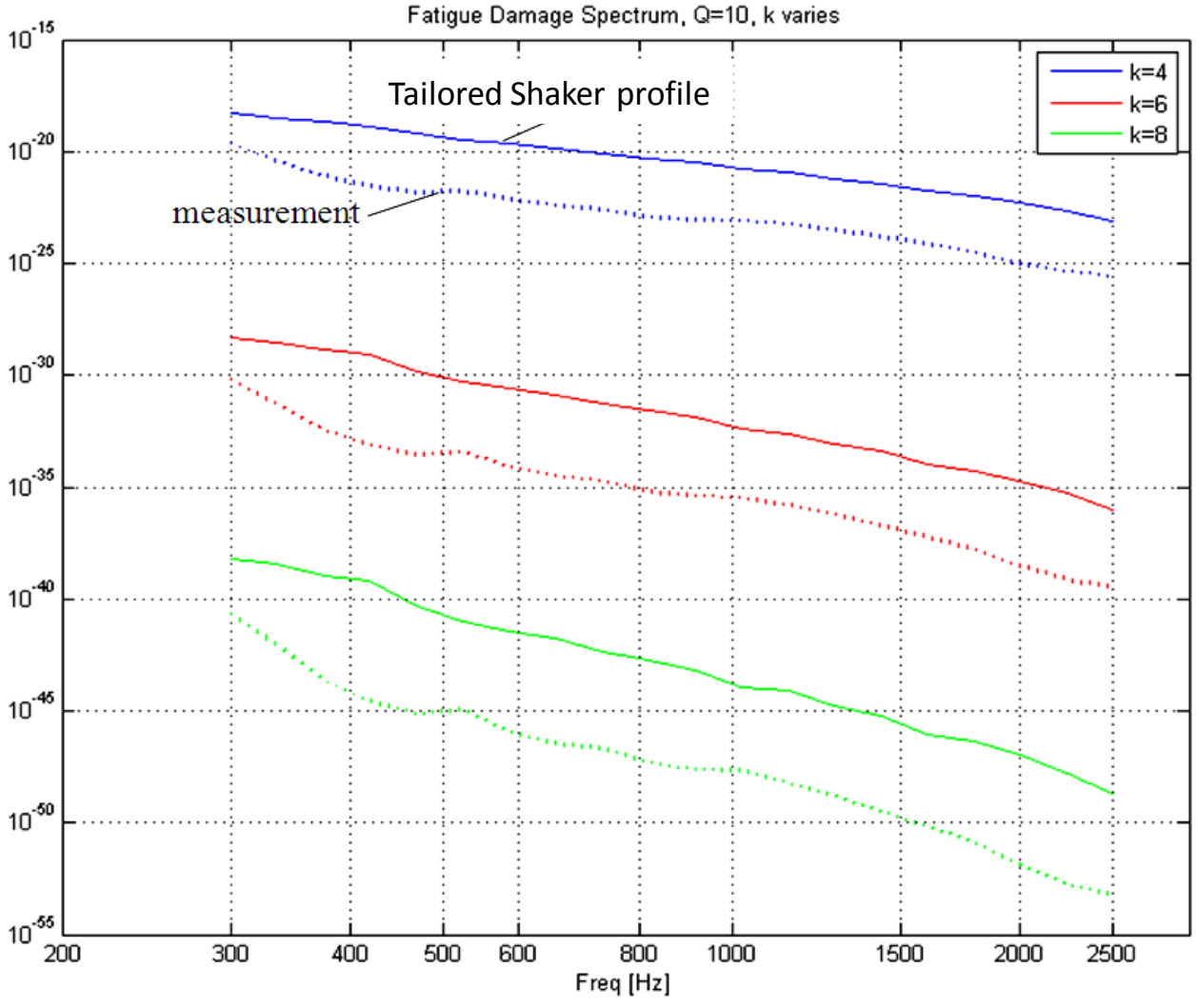


Conclusie: variatie van D geeft wel aanleiding tot sterk veranderende FDS, maar motor en ISO test veranderen in gelijke mate.

Zorg dat het shaker signaal van gelijke aard is!!

6. Berekening van de schade: FDS

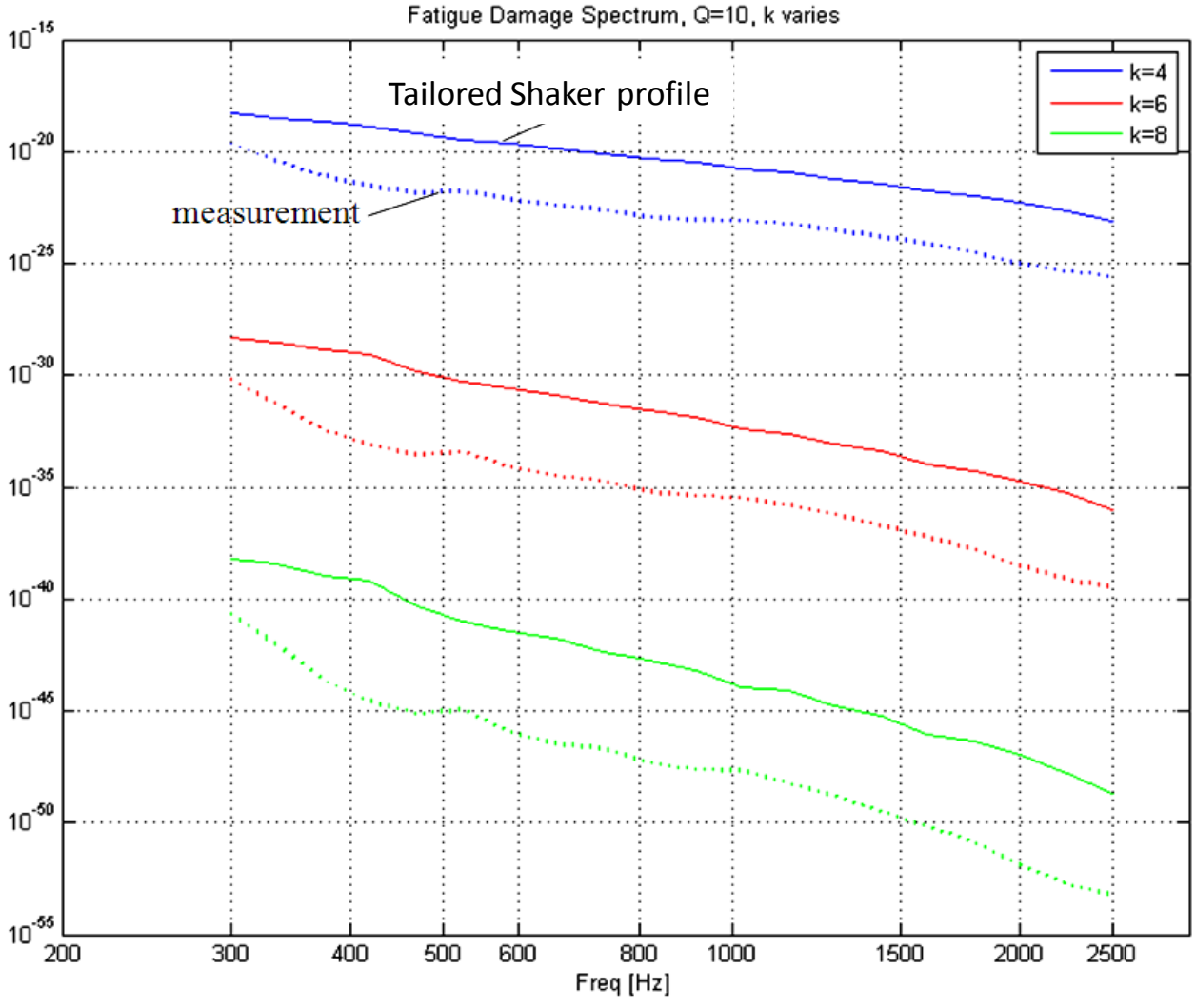
Effect of different k on FDS



Conclusie: variatie van k geeft wel aanleiding tot sterk veranderende FDS, maar motor en ISO test veranderen in gelijke mate.

6. Berekening van de schade: FDS

Effect of different k on FDS



Conclusie: variatie van k geeft wel aanleiding tot sterk veranderende FDS, maar motor en ISO test veranderen in gelijke mate.

Zorg dat het shaker signaal van gelijke aard is!!

6. Berekening van de schade: FDS

Resultaat:

Het Fatigue Damage Spectrum leidt tot een bruikbare methode om testsignalen af te leiden uit operationele metingen aan het voertuig of de motor.

7. FDS procedure, de acceleratiefactor

Simon de Cock Engineering Consultancy

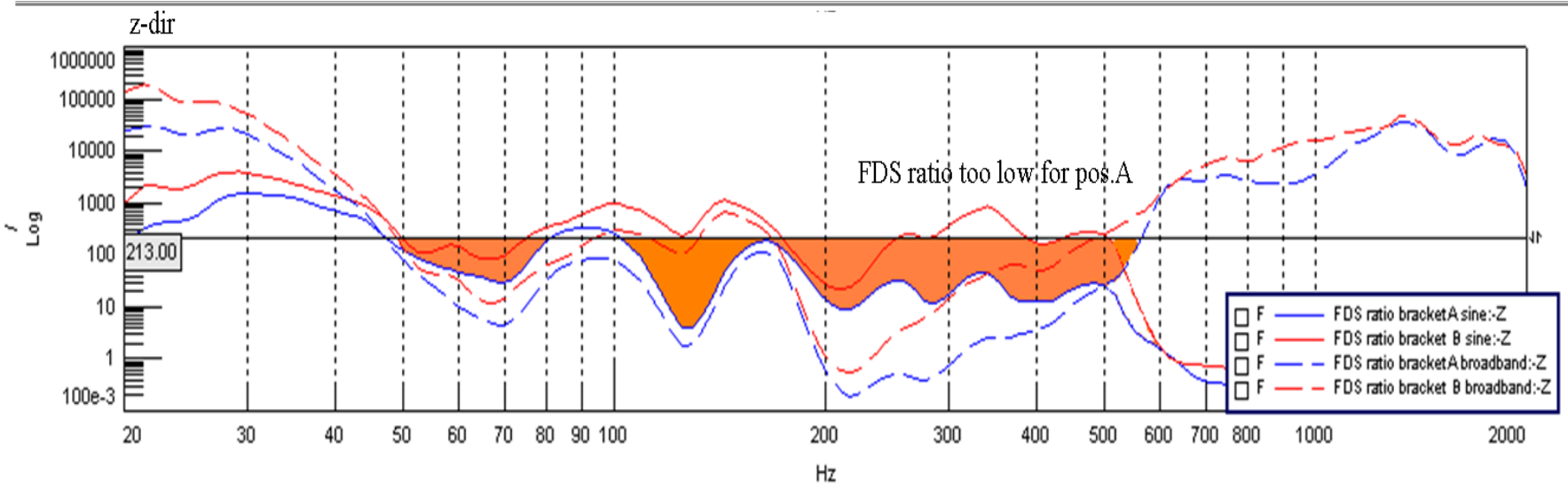
Procedure

Er wordt een test gedefinieerd op een of meerdere proefstukken.

De schade aangebracht tijdens de test wordt a.d.h.v. het gegeven aantal proefstukken hoger gekozen dan het berekende FDS (“acceleration factor”).

Dit verhogingspercentage wordt zo gekozen dat a.d.h.v. het duurproefresultaat de gewenste betrouwbaarheid wordt verkregen in de sign off uitspraak.

7. FDS procedure, de acceleratiefactor



De grafiek toont de verhouding van:

- de FDS schade die uit meetresultaten en mission synthesis wordt verwacht tijdens de voertuiglevensduur
- de schade a.g.v. de triltest

Uit het resultaat kan worden berekend voor welke frequenties de triltest voldoet en voor welke niet. Voor motoren wordt vaak ISO 16750 gebruikt als uitgangspunt, maar wordt het niveau verhoogd.

8. FDS: conclusie

Simon de Cock Engineering Consultancy

De FDS methodiek maakt het mogelijk om uitgaande van een gegeven set omgevingsbelastingen een schade-equivalent test signaal te bepalen zonder daarbij de respons van de specifieke component zelf te beschouwen.

Voor een goed overzicht van sign off strategieen: zie CEEES site (ref 4)

Referenties

1. Halfpenny, A. (2002) Acceleration vibration testing based on Fatigue Damage Spectra. www.ncode.com.
2. Biot, M.A (1932), Transient oscillations in elastic systems, Thesis no. 259, Aeronautics Dept.,California Institute of Technology, Pasadena.
3. Lalanne, C. (2002), Mechanical Vibration & Shock, Vol V, Hermes Penton ltd, London.
4. A Review of Methodologies for Deriving Vibration and Shock Test Severities. CEEES "Technical Advisory Board for Mechanical Environments"(TABM). http://www.ceees.org/tab_Mechanical_Environments.htm
5. De Cock, S. Structural Durability Testing Of Commercial Vehicles. FHI PLOT conference 2007. http://www.ceees.org/downloads/conferences/plot_ceees_sep2007.htm
6. Bendat & Piersol, Random Data, analysis and measurement procedures. J. Wiley & Sons 2010. Chapter 5.5.2.

Dank u voor uw aandacht