

EFNISYFIRLIT

1. Inngangur	1
2. Aðferðir til tíðnigreiningar	2
2.1 Sveiflumælingar	2
2.2 Tíðnigreining og aflróf	2
2.2.1 Fouriervörpun, gluggun og FFT	3
2.2.2 Hartley vörpun	5
2.3 Zoom - FFT	6
2.3.1 Zoom-FFT í rauntíma	6
2.3.2 Zoom-FFT út frá föstu safni	7
2.4 Cepstrum	7
3. Tíðnigreining og hermun í Simulink	9
3.1 Blokkir fyrir tíðnigreiningu	9
3.1.1 FFT afl- og cepstrum róf	9
3.1.2 Hartley afl- og cepstrumróf	10
3.1.3 Zoom-FFT í rauntíma	11
3.1.4 Zoom-FFT, safn mæligilda	11
3.2 Hermun vélhluta í Simulink	12
3.2.1 Lega	12
3.2.2 Öxull	12
3.2.3 Tannhjól	12
3.2.4 Reimdrif	12
4. Samanburður á aðferðum	13
4.1 Samanburður á Fourier- og Hartleyvörpun	13
4.2 Samanburður á Zoom-FFT	14
4.3 Samanburður á gluggunum	14
5. Samanburður á raunverulegum mælingum og hermuðum	16
5.1 Raunverulegar mælingar	16
5.2 Hermaðar mælingar	17
6. Heimildir	19
7. Viðauki: Upplýsingaöflun	20

1. INNGANGUR

Hér er fjallað um notkun sveiflumælinga til að fylgjast með ástandi vélhluta. Settar eru fram aðferðir sem eru notaðar við greiningu mæligilda, eins og tíðnigreiningu og cepstrumrófi. Einnig er fjallað um uppsetningu á blokkum til greiningar og hermunar á titringi í vélhlutum í reikniforritinu Matlab.

Vélhlutir með snúningsálagi titra vegna yfirfærslu krafta í vélinni. Titringur verður til þegar vélhlutir sveiflast til um jafnvægisstöðu sína. Með titringnum eyðist orka sem eykur álag á vélhluti og hávaða frá vélinni. Með góðri hönnun, samsetningu og gæðum á vélhlutum er hægt að draga úr þessum titringi. Við notkun slitna vélhlutir eða þá að álag getur valdið skemmd. Máli skiptir því að geta fylgst með ástandi vélhluta og sjá hvenær þeir bila svo að viðhald á þeim verði sem hagkvæmast.

Sveiflumælingar er algeng aðferð til að meta ástand vélhluta. Aðrar aðferðir sem eru notaðar, eru mælingar á hitastigi, þrýstingi, snúningshraða, innrauðar myndir til að finna heita punkta, efnagreining á smurolíu til fylgjast með magni málmagna ofl. Kosturinn við sveiflumælingar eru að þær hafa lítil sem engin áhrif á vélhlutinn sem fylgst er með og auðvelt er að tölvuvæða vinnuna svo hægt er að búa til sívöktunar kerfi.

Sveiflur í vélhlutum eru yfirleitt mældar með hröðunarmæli sem mælir stærð hröðunar og stefnu. Merkið frá hröðunarmælinum er safnað með vissri söfnunartíðni og síðan tíðnigreint. Fylgst er með breytingum á aflrófi þess, og er unnt að greina á milli þess hvaða sveiflur eru eðlilegar og hvað er vísbending um að bilun sé í vélinni. Tíðnigreining nýtist því bæði við bilanagreiningu og við fyrirbyggjandi viðhald véla til að fylgjast með sliti og endingu vélhluta.

Fyrst verður fjallað almennt um mælingar og tíðnigreiningar á sveiflum í kafla tvö. Í kafla þrjú er sagt frá uppsetningu á blokkum til að tíðnigreina og herma með forritnu Simulink sem fylgir Matlab. Í kafla fjögur eru blokkirnar í Simulink notaðar til að bera saman mismunandi aðferðir við tíðnigreininguna og í kafla fimm eru raunverulegar mælingar á vél skoðaðar og reynt að herma merkið frá henni.

2. AÐFERÐIR TIL TÍÐNIGREININGAR

2.1 Sveiflumælingar

Sveiflur eru mældar með hröðunarmæli sem stöðugt mælir stærð hröðunar og er mæligildum safnað með vissri söfnunartíðni. Hröðunarmælirinn gefur frá sér spennupúlsa og segir formerki púlssins til um stefnu hröðuninnar og stærð púlssins um stærð hennar. Gert er ráð fyrir línulegu sambandi milli stærð hröðunar og stærð púlssins en ekki er víst að það gildi nema á vissu bili. Því þarf að kvarða mælanna áður en þeir eru notaðir til að sambandið sé línulegt fyrir það hröðunarbíl sem skoða á. Fyrir lotubundin merki gildir að, með því að tegra hröðunina, a , er hægt að finna hraðann, v , og færsluna, x , þar sem

$$\begin{aligned}v &= \int a dt = \frac{a}{2\pi f} \\x &= \int v dt = \frac{a}{4\pi^2 f^2}\end{aligned}\tag{2.1}$$

Þessa tegrún er hægt að framkvæma í rafrænum rásum. Forðast verður að nota hröðunarmæla sem hafa eigintíðni mjög nálægt tíðninni sem þeim er ætlað mæla. Eigintíðni hröðunarmæla er í flestum tilfellum mjög há og mun hærri en sveiflutíðnir sem berast frá vélhlutum. Til að komast hjá vandamálum vegna eigintíðnarinnar er hægt að lághleypisía merkið sem koma úr mælinum til að eyða út allri hátíðni.

2.2 Tíðnigreining og aflróf

Mæligildunum sem fást úr sveiflumælingunum er varpað úr tímarúminu yfir í tíðnirúmið til að sjá hvaða sveiflutíðnir eru sterkastar. Röð mæligilda, sem nefnist tímaröð, $x(k)$ er varpað yfir í röð tíðnigilda $X(f)$, sem nefnist tíðniróf, þar sem $x(k)$ er mæligildið á tíma k og $X(f)$ er tíðnigildið við tíðni f . Til að sjá hvað sveiflutíðnir eru sterkastar er skoðað aflróf tíðnirófsins sem er skilgreint sem

$$X_{xx}(f) = |X(f)|^2\tag{2.2}$$

Til eru nokkrar aðferðir til að finna tíðniróf en hér verður eingöngu minnst á Fouriervörpun og Hartleyvörpun.

2.2.1 Fourierörpun, gluggun og FFT

Tíðnigreining fer fram með því að varpa merki úr tímarúminu yfir í tíðnirúmið. Mest notaða örpunin er Fourierörpunin. Fyrir samfelld fall er örpunin á forminu

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad (2.3)$$

Mæligildi eru venjulega söfnuð úr samfelldu merki. Hægt er að hugsa sér að safnaða merkið sé samfellda merkið margfaldað með röð af deltaföllum, en þau eru skilgreind sem:

$$\delta(t) = \begin{cases} 1 & t = 0 \\ 0 & \text{annars} \end{cases} \quad (2.4)$$

Ef samfellda merkið er táknað með $x(t)$ og safnaða merkið með $x^*(t)$ fæst sambandið milli þeirra sem,

$$x^*(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(t) \delta(t - nT_s) \quad (2.5)$$

þar sem T_s er söfnunartíminn (tíminn milli mæligilda). Safnaða merkið er því núll allstaðar nema í þeim punktum sem deltaföllin taka gildi. Safnaða merkið inniheldur því ekki eins miklar upplýsingar og samfellda merkið. Ef jafna (2.5) er Fourierörpuð fæst að

$$X^*(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(f - nf_s) \quad (2.6)$$

þar sem $f_s = 1/T_s$ er söfnunartíðnin. Hér sést að tíðniróf safnaða merkisins er lotubundið þar sem tíðniróf samfellda merkisins endurtekur sig með tíðninni f_s .

Einnig sést að ef $X(f)$ inniheldur tíðniþætti sem liggja utan bilsins $[-f_s/2; f_s/2]$ renna tíðnirófin saman og summast upp sem gerir það að verkum að ekki er hægt að aðgreina tíðniróf samfellda merkisins úr tíðnirófi safnaða merkisins. Þetta nefnist “aliasing” og tíðnin $f = f_s/2$ nefnist Nyquist tíðnin. Hægt er að komast hjá aliasing með því að lágðleypisía gögnin þannig að $X(f)$ innihaldi ekki tíðnir utan $[-f_s/2; f_s/2]$ eða fara eftir Shannonssetningu sem segir að söfnunartíðnin, f_s , þurfi að vera meira en tvöfalt stærri en stærsti tíðniþáttur sem $X(f)$ inniheldur.

Jafna (2.5) hér að ofan gerir ráð fyrir að óendanlega mörg gildi séu þekkt. Sú er ekki raunin í raunveruleikanum, þegar tíðnigreina á safn mæligilda, því mæligildi eru alltaf endanlega mörg. Fyrir endanlegan fjölda mæligilda verður Fourierörpunin á forminu

$$X_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k \lambda_k e^{-i2\pi k \frac{n}{N}} \quad (2.7)$$

þar sem N er fjöldi mæligilda og $n = 0..N-1$. Þetta nefnist DTF (Discrete Fourier Transform) eða stakræn Fourierörpun þar sem X_n er nálgun á gildi samfellda tíðnirófsins $X(f)$ fyrir tíðnina $f = n/NT_s$, $n = 0..N-1$, og N er fjöldi mæligilda. Fallið λ_k er vægisfall sem ákvarðar gluggun á Fourierörpunina og verður ástæðan fyrir því útskýrð síðar.

Af jöfnu (2.7) sést að stakræna nálgunin er lotubundin líkt og tíðnirófið í jöfnu (2.6) því ef n er aukið fæst að $X_N = X_0$, $X_{N+1} = X_1$ osfrv. Tíðnirófið endurtekur sig því með tíðni f_s en venjulegast er að skoða aðeins fyrstu lotuna sem er við núllpunktinn. Ef síðan er gert ráð fyrir að mæligildin séu rauntölur, eins og oftast er raunin, verður tíðnirófið samhverft um miðjuna þ.a. $X_{N-1} = X_1$, $X_{N-2} = X_2$ osfrv. Því fást aðeins $N/2+1$ óháð tíðnigildi, $f_n = n/NT_s$, $n = 0..N/2$, upplausnin á tíðnirófinu er $\Delta f = f_s/N$ og hámarksgildið er $f_{max} = f_s/2$ innan hvernar lotu.

Gluggun (e. windowing) er aðferð sem notuð er til að leiðrétta fyrir endanlegan fjölda mæligilda. Mæligildin spanna endanlega tímalengd, en hegðun ferlisins á tímanum fyrir og eftir er óþekkt. Fourierörpunin gengur út frá því að merkið sé lotubundið. Þegar tekið er safn mæligilda af endanlegri tímalengd er ekki tryggt að allir sveiflupættir fari heilan fjölda sveiflna. Það þýðir að það er ennþá afl eftir í kerfinu sem ekki kemur fram í þeim hluta merkisins sem skoðað er. Þetta verður til þess að aflið sem falið er í einum tíðniþætti í raunveruleikanum dreifist yfir eða “lekur” yfir í nálæga tíðniþætti við tíðnigreininguna þannig að stærð og staðsetning tíðnitoppa verður ógreinileg. Til að koma í veg fyrir þetta eru mæligildin oft margfölduð með vægisföllum. Einfaldasta vægisfallið er rétthyrnt vægisfall (e. Rectangular), en þá er

$$\lambda_k = \begin{cases} 1 & N-M \leq k < M \\ 0 & \text{annars} \end{cases} \quad (2.8)$$

þar sem $M < N$ en þá er tímaröðin stytt um $N-M$ gildi í báða enda og núll sett í staðinn. Eiginleikar þessa vægisfall er hins vegar ekki mjög góðir nema fyrir nokkur sértílfelli. Fyrir samfelld merki eru notuð vægisföll sem tryggja það að tímaröðin fari niður í núll í báðum endum þess til að svo virðist sem ekkert sé að gerast á undan og eftir tímaröðinni. Mest notaða vægisfallið fyrir stöðug samfelld merki er Hanning vægisfallið sem er á forminu,

$$\lambda_k = \begin{cases} 2 \sin^2\left(\frac{2\pi k}{N}\right) & 0 \leq k < N-1 \\ 0 & \text{annars} \end{cases} \quad (2.9)$$

Til eru fjölmargar aðrar gerðir vægisfalla og er mismunandi hvaða gerð hentar best í hverju tilfelli og fer það eftir eiginleikum ferlisins sem skoðaður er. Fyrir stöðug samfelld merki er helst að nefna Kaiser-Bessel og Flat Top vægisföllin, en þeirra er getið í kafla 4.3.

Þegar merki er safnað þarf að velja söfnunartíðni, f_s , og stærð safnsins, N . Þetta þarf að gera það með hliðsjón af nokkrum atriðum eins upplausn, aliasing, reiknitíma og tíðnisviði sem á að skoða. Einnig þarf að velja gluggun á mæligildin og hvort eigi að lághleypisá tímaröðina til að koma í veg fyrir aliasing.

Útreikningar á DTF samkvæmt jöfnu (2.7) er mjög tímafrek og krefst N^2 aðgerða og vex því fjöldi aðgerða mjög hratt þegar söfnin stækka. Til að reikna út DTF er því oftast notað algrím sem nefnist Fast Fourier Transform eða FFT en það er mun hraðvirkara en venjulegir útreikningar og krefst aðeins $N \log_2(N)$ aðgerðir. Taka skal skýrt fram að FFT er reiknialgrím til að reikna út DTF en ekki önnur gerð vörpunar til að varpa yfir í tíðnirúmið. Aðferðin byggir á að raða jöfnu (2.7) upp í vektora og fylki fyrir öll $n = 1..N-1$, endurraða línur fylkisins og þáttu það síðan niður $\log_2(N)$ mörg fylki á sérstakan hátt. Takmörkunin við FFT algrímið er að fjöldi mæligilda þarf að vera veldi af 2, t.d. $2^{10} = 1024$ til að þáttunin gangi upp. Því er er best að velja stærð safnsins N sem eitthvert veldi af 2 ef nýta á sér hraða FFT.

Sem dæmi má nefna að í Matlab er til skipun sem nefnist *fft*. Ef fjöldi mæligilda er veldi af 2 er notað FFT radix-2 algrím sem hefur mismunandi útfærslu eftir því hvort mæligildin eru rauntölur eða tvinntölur. Ef fjöldinn er ekki veldi af tveimur er notað annað algrím sem finnur prímpætti fjöldans og beitir mixed radix-2 FFT algrím. Reikningstíminn fer eftir því hversu marga prímpætti talan hefur, því fleiri því betra. Ef talan er prímtala stærri en tveir verður að nota jöfnu (2.7) beint með N^2 aðgerðum. Fyrir vissa gerð af vél, tekur til dæmis fyrir safn með 4096 ($= 2^{12}$) mæligildi 2.1 s að reikna út DFT af rauntöluröð og 3.7 s fyrir tvinntöluröð. Fyrir söfn af stærðinni 4095 ($= 3^2 * 5 * 7 * 13$) og 4097 ($= 17 * 241$) mæligildi tekur hins 7 s og 58 s að reikna út DFT.

2.2.2 Hartley vörpun

Hartleyvörpun svipar til Fouriervörpunar að því leyti að hún varpar falli úr tímarúminu yfir í tíðnirúmið. Munurinn liggur í því að Fouriervörpunin varpar rauntölufalli yfir í tvinntölufall en Hartleyvörpunin rauntölufalli yfir í rauntölufall. Hartleyvörpunin er á forminu

$$X(f) = \frac{1}{2\pi} \int x(t) \text{cas}(2\pi ft) dt \quad (2.10)$$

þar sem

$$\text{cas}(2\pi ft) = \cos(2\pi ft) + \sin(2\pi ft) \quad (2.11)$$

Þetta er svipar mikið til jöfnu (2.3) fyrir Fouriervörpunina, munurinn liggur aðallega í að vörpunarfallið er annars vegar tvinntölufall og hins vegar rauntölufall.

Stakrænt form Hartley vörpunar, DHT, á ákveðnu safni að stærð N er einnig mjög svipuð DTF, sbr jöfnu (2.7), og er

$$X_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k \text{cas}\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) \quad (2.12)$$

Útreikningar á Hartley vörpun eru svipaðir og fyrir Fourier vörpun, ef hún er reiknuð beint út frá jöfnu (2.12) kostar það N^2 aðgerðir. Til er algrím FHT, eða Fast Hartley Transform, til að reikna DHT sem svipar til FFT.

Í greininni “Faster than fast Fourier” (5) er því haldið fram að hægt sé að nota Hartley vörpun í stað Fourier vörpunar fyrir margar gerðir reikninga, þar á meðal útreikninga á aflrófi. Hægt er að búa til Fourier vörpunina til úr Hartley vörpuninni og á það í sumum tilfellum að vera fljótara en að nota FFT beint því margfeldi með tvinntölum er tímafreakari en með rauntölum. Eins og með Fouriervörpuninni er oftast æskilegt að nota gluggunarföll með Hartley vörpuninni.

2.3 Zoom - FFT

Í kafla 2.2.1 sást að ef safn N mæligilda er Fouriervarpað fást $N/2+1$ óháð tíðnigildi með upplausn $\Delta f = f_s/N$. Oft er þörf á því að geta skoðað tíðnir á einhverju ákveðnu bili með meiri upplausn. Þar sem upplausnin er gefin sem $\Delta f = 1/T$, og $T = N/f_s$ er heildartíminn sem skoðaður er, er því ljóst að ef auka á upplausnina þarf að auka tímalengdina sem skoða á. Almenn þarf að auka tímalengdina M - falt ef auka á upplausnina M sinnum. Til þess eru í raun tvær leiðir, minnka söfnunartíðnina f_s eða auka fjölda mæligilda N . Gallinn við þessar aðferðir er að annars vegar að ef söfnunartíðnin f_s er minnkuð þá minnkar stærsta tíðnin sem hægt er að greina því $f_{\max} = f_s/2$ og hins vegar að ef safnið er stækkað krefst það meiri reikniafls og lengri reiknitíma. Ef eingöngu á að skoða frekar tíðnir á vissu tíðnibili er æskilegt að geta aukið upplausnina á því tíðnibili. Til greina koma tvær aðferðir sem í eðli sínu eru nokkuð frábrugðnar hvor annarri. Sú fyrri hentar betur við rauntímamælingar, þ.e. ef tíðnigreiningin er beintengd vélinni eins og við sívöktun, en sú seinni hentar betur ef skoða á safn mæligilda úr ferlinu.

2.3.1 Zoom-FFT í rauntíma

Aðferðin byggir í raun á að minnka söfnunartíðnina. Ef ákveðið er að athuga nánar visst tíðnibil, f_1 til f_2 , með ákveðinni upplausn, þarf að ákvarða stærð safnsins þannig að $f_2 = f_1 + N/2 \cdot \Delta f$ þar sem N er stærð safnsins. M er svokallaður zoom-stuðull sem segir til um hversu margfalt meiri upplausn eigi að fá fram samanborið við venjulega Fouriervörpun með sömu safnstærð. Byrjað er á því að safna $M \cdot N$ mæligildum með vissri söfnunartíðni f_s , þannig að til verður safn x_k . Safnið er lághleypisíað til að koma í veg fyrir aliasing og síðan hliðrað til í tíðni með því að margfalda það með margfölduninni $x_k e^{-i2\pi f_1 t}$ þannig að tíðnirófið byrji í tíðni f_1 . Því næst er safnið endursíað með síu sem hefur bandbreidd f_s/M til að tryggja að einungis tíðnigildin næst f_1 hafi útslag. Að lokum er safnið endursafnað með minnkaðri söfnunartíðni f_s/M þannig að safnið inniheldur N mæligildi x_{Mk} og því safni síðan Fouriervarpað. Þá fæst tíðniróf á tíðnibilinu f_1 til f_2 með upplausn $\Delta f = (f_2 - f_1)/N/2 = f_s/N/M$ sem er M -falt meiri upplausn en ef sama stærð af safni hefði verið Fouriervarpað venjulega.

2.3.2 Zoom-FFT út frá föstu safni

Aðferðin gengur út á að taka M sinnum stærra safn til að auka tímalengdina. Hún byggir á því að Fourierörpun er línuleg aðgerð. Byrjað er á því að safna $M \cdot N$ mæligildum x_k . Heildarsafninu er skipt í M hlutsöfn, $x_{j,k}$, sem hvert um sig er Fourierörpað. Hvert hlutasafn spannar allt tímabilið og er skiptingin þannig að safn 0 inniheldur gildin 0, M , $2M$, $3M$.., safn 1 gildin 1, $M+1$, $2M+1$, $3M+1$.. osfrv. þar til safn $M-1$ inniheldur gildin $M-1$, $2M-1$, $3M-1$,... Tíðniróf heildarsafnsins inniheldur $MN/2+1$ óháðar tíðnigildi en tíðnirófs hvers hlutsafns $N/2+1$ óháð tíðnigildi en þar sem tíðniróf safnaðs merkis endurtekur sig, þá endurtekur tíðniróf hlutsafnana sig með tíðni f_s/M . Til að leggja saman hlutrófin eru þau látin spanna $MN/2+1$ tíðnigildi. Áður en hægt er að leggja saman tíðnigildin þarf að taka tillit til þess að hlutsöfnin hefjast ekki í sama tímapunkti og því þarf að hliðra til tíðnigildum hlutsafnana 1 til $M-1$ þannig að þau hefjist í sama tímapunkti og safn 0. Ef öll söfnin eru lögð þannig saman fæst það sama út og ef heildarsafnið hefði verið Fouriervarpað beint. Þetta sést betur ef jafna (2.7) er umskrifuð þannig að

$$\begin{aligned} X_n &= \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{MN-1} x_k e^{-i \frac{2\pi kn}{MN}} = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{N-1} x_{Mk} e^{-i \frac{2\pi Mkn}{MN}} + \dots + \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{N-1} x_{Mk+M-1} e^{-i \frac{2\pi (Mk+M-1)n}{MN}} \\ &= \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{N-1} x_{Mk} e^{-i \frac{2\pi kn}{N}} + \dots + \frac{1}{MN} e^{-i \frac{2\pi (M-1)n}{MN}} \sum_{k=0}^{N-1} x_{Mk+M-1} e^{-i \frac{2\pi kn}{N}} \\ &= \frac{1}{M} X_{0,n} + \dots + \frac{1}{M} e^{-i \frac{2\pi (M-1)n}{MN}} X_{M-1,n} \end{aligned} \quad (2.13)$$

þar sem $X_{j,n}$ er tíðniróf hvers hlutasafns. Sparnaðurinn felst í því að ekki þarf að leggja saman allt rófið heldur aðeins þann hluta sem áhugi er á.

2.4 Cepstrum

Cepstrumróf er notað til að greina reglubundna þætti í aflrófi, eins og hringsveiflur (e. harmonics) og bergmál, og er skylt sjálffylgnifalli. Ef $X_{xx}(f)$ er aflrófið af Fourierörpun fallsins $x(t)$ þá er cepstrum rófið skilgreint sem

$$c_p(\tau) = F^{-1} \{ \log X_{xx}(f) \} \quad (2.14)$$

Til samanburðar er sjálffylgnifall skilgreint sem

$$R(\tau) = F^{-1} \{ X_{xx}(f) \} \quad (2.15)$$

Algengt er að nota cepstrum útslagsróf sem er skilgreint sem

$$c_a(\tau) = \left| \mathbb{F} \{ \log X_{xx}(f) \} \right| \quad (2.16)$$

og verður það notað við tíðnigreininguna í framhaldinu. Kemur það út á það sama því fyrir jafnstæð jákvæð föll eins og aflróf af safni mæligilda gildir að ekki skiptir máli hvort tekin er Fourierörpun eða andhverf Fourierörpun, útkoman verður sú sama.

Cepstrum sýnir “skyldleika” hvers tíðnigildis við önnur tíðnigildi. Stærðin á lárétta ásnum er tími, ef tveim tíðnigildum sem munar df á svipar saman, kemur fram toppur í cepstrum rófinu sem er staðsettur í punkti $\tau = 1/df$. Því er alltaf stærsti toppurinn í $\tau = 0$ því tíðnigildi er fullkomlega skylt sjálfu sér. Ef topparnir í tíðnirófinu eru fleiri en tveir og með föstu millibili df , eins og gildir um hringsveiflur, koma fram toppar í cepstrum í $\tau = 1/df, 2\tau, 3\tau$ osfrv. eftir því hve tíðnitopparnir eru margir.

3. TÍÐNIGREINING OG HERMUN Í SIMULINK

Hér er fjallað um tíðnigreiningu á sveiflum frá vélhlutum og hermun á vélhlutum. Reikniforritið Matlab var notað til þess en innan þess er sérhæfður forritunarpakki, Simulink, sem hentar vel fyrir grafíska framsetningu og hermun á kerfum. Búnaar eru til blokkir sem hverjar um sig leysa af hendi ákveðið verk. Blokkirnar eru síðan tengdar saman til að mynda kerfi. Flokka má blokkirnar í tvo flokka, annars vegar blokkir sem herma eftir merki frá ákveðnum vélhlutum og hins vegar blokkir sem eru til að greina mældar sveiflur. Hugmyndin er að geta hermt eftir þeim sveiflum sem vélhlutur gefa frá sér. Hver vél er samsett úr mörgum einstökum vélhlutum sem hver um sig hefur einkennandi sveiflumunstur. Þegar vélhlutur bilar kemur það fram sem breyting á því sveiflumynstri sem hann gefur frá sér. Með því að herma eftir sveiflum frá vélhlutum er hægt að búa til bilanir en það kemur að notum við prófanir á hugbúnaði sem notaður er við tíðnigreiningu. Blokkirnar eru geymdar í skrá, sem heitir *velhlut.m* og er opnuð innan simulink. Skrárnar *spekfft.m*, *spekhart.m*, *zoomfft.m* og *zoomfftr.m*, innihalda algrím til að framkvæma tíðnigreininguna og þær þurfa að vera staðsettar í vinnsluhólfinu (e. working directory) eða einhverju svæði sem Matlab hefur skilgreindan slóða (e. path).

3.1 Blokkir fyrir tíðnigreiningu

Búnaar voru til fjórar mismunandi blokkir til að framkvæma tíðnigreininguna. Tvær þeirra reikna út og birta aflróf og cepstrum róf, önnur með því að nota Fourierörpun og hin með Hartleyörpun. Hinar tvær reikna út hluta aflrófsins með Zoom-FFT aðferðunum, eins og lýst var í kafla 2.3. Í framhaldinu verður talað um Zoom-FFT í rauntíma fyrir aðferðina í kafla 2.3.1 og Zoom-FFT út frá föstu safni fyrir aðferðina í kafla 2.3.2.

Með því að tvíklíkka á blokkirnar með músinni fæst valmynd þar sem hægt er að stilla ýmsa stika fyrir tíðnigreininguna, eins og fjölda mæligilda osfrv. Þegar Simulink er keyrt býr það til glugga þar sem niðurstöður tíðnigreiningarinnar eru birtar.

3.1.1 FFT afl- og cepstrum róf

Blokkin notar Fourierörpun með FFT algrími til að reikna út aflróf og cepstrumróf af tímaröð og er notað innbyggt algrím í Matlab. Skráin *spekfft.m* inniheldur algrím fyrir blokkina. Búinn er til þrískiptur gluggi, efsta grafið sýnir tímaröðina sem er Fourierörpuð, mið grafið sýnir aflrófið sem fæst úr Fourierörpuninni og neðsta grafið sýnir cepstrumrófið af tímaröðinni, reiknað út frá jöfnu (2.16). Mynd 3.1 sýnir gluggan sem blokkinn býr til. Í blokkinni þarf að skilgreina eftirfarandi inntaksstærðir:

Fjöldi mæligilda fyrir FFT:	Hversu stórt safn mæligilda á Fouriervarpa hverju sinni
Fjöldi mæligilda milli birtinga:	Hversu mörg ný mæligildi eru búin til eða tekin inn áður en gerð er önnur Fourierörpun.
Söfnunartími:	Tími milli mæligilda.

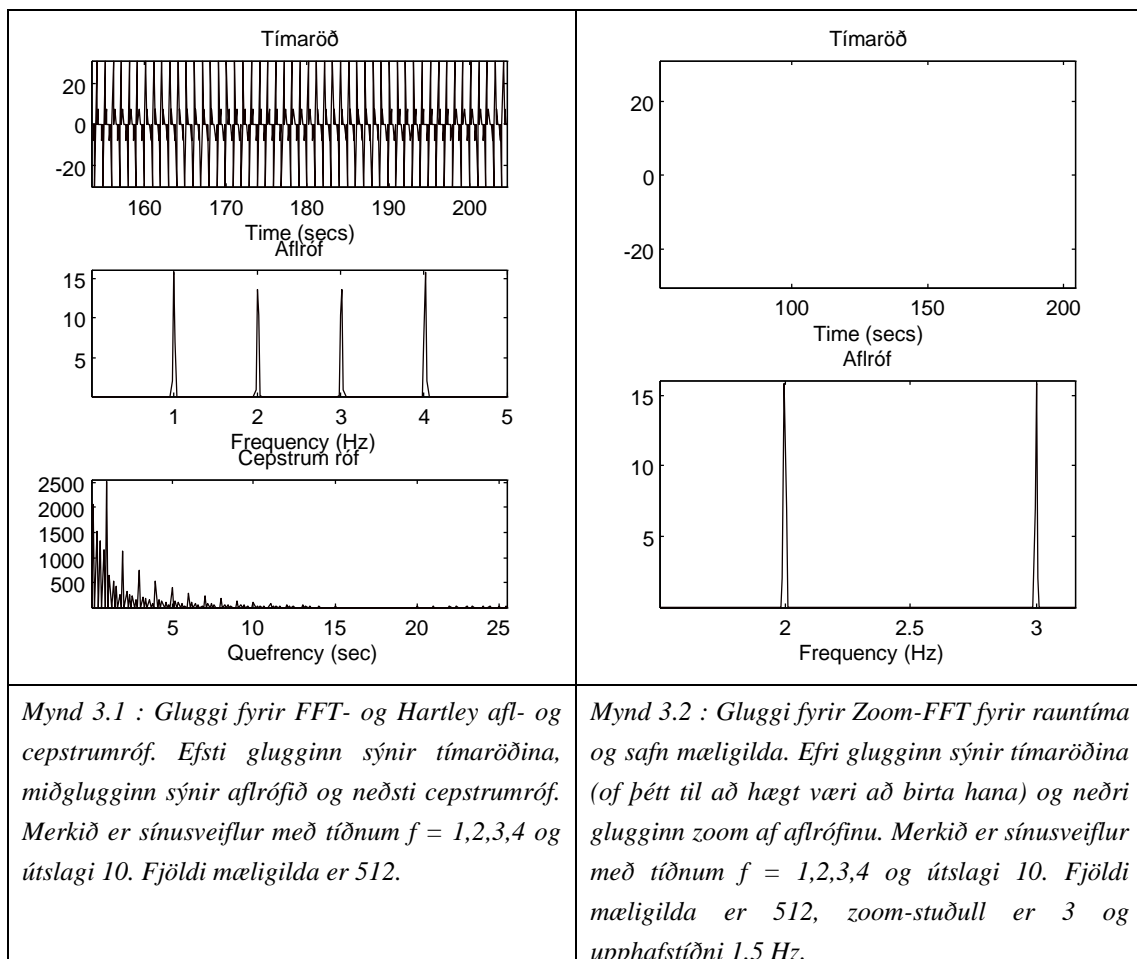
Gluggun: Velja hvaða vægisfall á nota í gluggun.
Boðið er upp á Rectangular, Hanning,
Kaiser og Flat Top

3.1.2 Hartley afl- og cepstrumróf

Blokkinn fyrir Hartley afl- og cepstrumróf er að öllu leyti eins og blokkinn í kafla 3.1.1 nema í stað þess að nota FFT til að finna aflrófið er notuð Hartleyvörpun, reiknuð út frá jöfnu (2.12). Ekki var farið út í að forrita FHT algrím fyrir Hartleyvörpunina. Til að finna cepstrumrófið er aflrófið sem fékkst með Hartleyvörpuninni Fouriervarpað, þ.e. cepstrumrófið er skilgreint sem

$$c_a(\tau) = \left| F \left\{ \left| H \{ x(t) \} \right|^2 \right\} \right| \quad (3.1)$$

þar sem F táknar Fouriervörpun og H Hartleyvörpun. Skráin *spekhart.m* inniheldur algrím fyrir blokkina. Mynd 3.1 sýnir hvernig glugginn, sem blokkinn býr til, lítur út.



3.1.3 Zoom-FFT í rauntíma

Blokkin birtir tvískiptan glugga þar sem efra grafið sýnir tímaröðina sem skoðuð er og neðra grafið sýnir zoom af aflrófinu eins og lýst er í kafla 2.3.1. Skráin *zoomfft.m* inniheldur algrím fyrir blokkina. Mynd 3.2 sýnir gluggan sem blokkinn býr til. Hægt er að stilla nokkra stika í blokkinni:

Fjöldi mæligilda fyrir FFT:	Hversu stórt safn mæligilda á Fouriervarpa hverju sinni
Fjöldi mæligilda milli birtinga:	Hversu mörg ný mæligildi eru búin til eða tekin inn áður en önnur Fouriervörpun er gerð.
Söfnunartími:	Tími milli mæligilda.
Gluggun:	Velja hvaða vægisfall á nota í gluggun. Boðið er upp á Rectangular, Hanning, Kaiser og Flat Top
Zoom stuðull:	Hversu mikið á að margfalda upplausnina.
Zoom tíðni:	Á hvaða tíðni á zoom-aflrófið að byrja.

Aflrófið sem hér er búið er til, er ekki fullkomið að því leyti að merkið er ekki endursíð eftir það hefur verið hliðrað í tíðni, eins og lýst er í kafla 2.3.1. Þetta hefur þau áhrif á niðurstöðurnar, eins og komið verður inn á í kafla 4.2.

3.1.4 Zoom-FFT, safn mæligilda

Blokkin er eins og rauntíma blokkinn, nema hvað reikniðferðirnar við að finna aflrófið eru öðru vísi, sbr. kafla 2.3.2. Aflrófið sem hér fæst er í raun aðeins hluti af enn stærra rófi sem er með meiri upplausn. Skráin *zoomfft.m* inniheldur algrím fyrir blokkina. Mynd 3.2 sýnir samskonar gluggun sem blokkinn býr til.

3.2 Hermun vélhluta í Simulink

Í bæklingi frá Bruel & Kjaer eru til lýsingar á sveiflumynstri vélhluta og hvernig bilanir í þeim koma fram. Var stuðst við hann við gerð blokka til að herma vélhluti. Gert var ráð fyrir að merkin frá vélhlutunum væru sínusmerki en einnig kemur til greina að nota önnur lotubundin merki. Við hermunina er bætt við suði, sem kemur til vegna mæliskekkju og fleiri þátta, til þess að tíðnirófið verði sem raunverulegast. Einungis voru settar upp fjórar blokkir en einfalt er að búa til fleiri ef þörf er á. Í sumum tilfellum er hægt að nota sömu blokkirnar og breyta nöfnum þeirra.

3.2.1 Lega

Hermt er eftir kúlu- eða keflalegu. Legur slitna við notkun eða eru gallaðar. Teknar eru fyrir fjórar gerðir bilana, gallar í ytri rás, gallar í innri rás, galli í kúlum eða legum og gallar í grind. Stilla þarf sex stika í blokkinni:

- Fjöldi kúla eða kefla
- Snúningstíðni
- Þvermál kúlu eða keflis
- Þvermál legu (þvermálið milli miðja kúlnana eða keflana)
- Snertihorn (Undir hvaða horni álagið kemur á leguna)
- Útslag (skilgreina þarf hversu stórt útslagið á að vera fyrir hverja gerð galla)

3.2.2 Öxull

Öxull getur verið skakkur, boginn, með hjámiðju eða illa festur. Öxull með hjámiðju gefur frá sér sveiflupátt á snúningstíðni hans. Skakkir, bognir eða illa festir öxlar gefa frá sér sveiflupætti á snúningstíðninni og oft á tvöfaldri snúninstíðni, stundum hærri hringsveiflur (e. harmonics) af þeim. Blokkinn býður upp á fjórar fyrstu hringsveiflur og stilla þarf tvo stika í blokkinni:

- Snúningstíðni
- Útslag: stærð útslaga 1., 2., 3. og 4. hringsveiflu.

3.2.3 Tannhjól

Tannhjól slitna og myndast hlaup í þeim. Við það myndast sveiflupættir með tíðni sem er fjöldi tanna margfaldað með snúningstíðni svo og hringsveiflur og undirhringsveiflur af henni. Blokkinn gefur frá sér fjórar fyrstu hringsveiflurnar. Stikarnir sem þarf að stilla eru:

- Snúningstíðni
- Útslag: stærð útslaga 1., 2., 3. og 4. hringsveiflu.
- Fjöldi tanna í tannhjól.

3.2.4 Reimdrif

Reimdrif slitna og slaknar á þeim. Við það myndast sveiflupættir á snúningstíðninni og hringsveiflur af henni. Blokkinn gefur frá sér fjórar fyrstu hringsveiflurnar og er í raun nákvæmlega eins og blokkinn fyrir öxulinn. Stikarnir sem þarf að stilla eru:

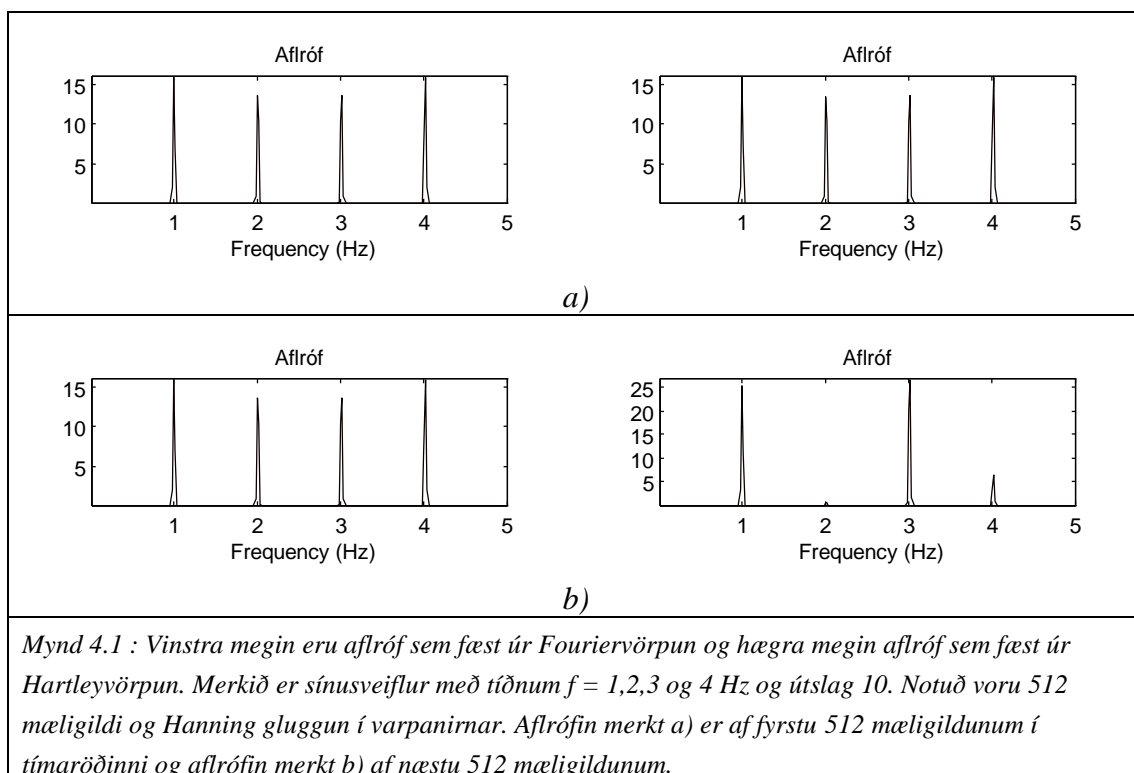
- Snúningstíðni
- Útslag: stærð útslaga 1., 2., 3. og 4. hringsveiflu.

4. SAMANBURÐUR Á AÐFERÐUM

Í þessum kafla verður gerður samanburður á þeim mismunandi aðferðum sem settar hafa verið fram í köflunum hér á undan. Athugaður er munurinn á Fouriervörpun og Hartleyvörpun, Zoom-FFT í rauntíma og út frá föstu safni og vægisföllum sem notuð eru við glugganir.

4.1 Samanburður á Fourier- og Hartleyvörpun

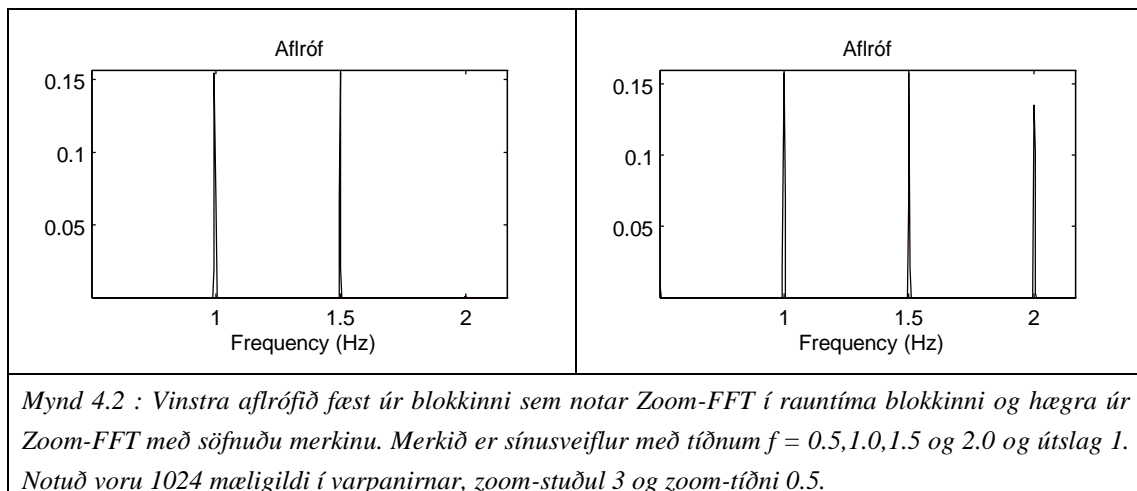
Í kafla 2.2 var sagt frá tveim aðferðum til að varpa tímaröð yfir í tíðnirúmið, Fouriervörpun og Hartleyvörpun. Megin munurinn lá í að Fouriervörpunin varpar rauntölufalli yfir í tvinntölufall en Hartleyvörpunin varpar rauntölufalli yfir í rauntölufall. Reikningar með rauntölum eru mun einfaldari í framkvæmd og hraðvirkara en að reikna með tvinntölum auk þess sem minnisþörf er helmingi minni fyrir rauntölur en fyrir tvinntölur. Mynd 4.1 sýnir aflróf með Fouriervörpun og Hartleyvörpun.



Í ljós kemur að Hartleyvörpunin gefur í sumum tilfellum sömu niðurstöður og Fouriervörpunin en í öðrum tilfellum ekki. Mynd 4.1 sýnir að Hartleyvörpunin gefur ekki stöðugt tímaróf á meðan Fouriervörpunin breytist ekki.

4.2 Samanburður á Zoom-FFT

Eins og fyrr segir er megin munurinn á Zoom-FFT aðferðunum að annað hentar betur til að hafa í rauntíma (sívöktun) en hitt til að gera nánari greiningu á ákveðnu safni. Blokkirnar eiga að gefa nákvæmlega sömu niðurstöðu en þar sem rauntíma blokkin er ekki nákvæmlega rétt reiknuð gefur hún ekki rétta niðurstöðu eins og sést á Mynd 4.2.



Aðalmunurinn liggur í að rauntíma Zoom-FFT missir út hæstu tíðnirnar en lægri tíðnitopparnir eru mjög svipaðir að stærð. Þetta má líklega laga með því að bæta rauntíma blokkina eins og um hefur verið talað áður.

Rauntíma Zoom-FFT er hentugri fyrir sívöktunarkerfi og þegar þörf er á stórum zoom-stuðli því hún tekur eina Fourierörpun meðan hin aðferðin tekur jafn margar og zoom-stuðullinn segir til um. Það er líka kostur að aflrófið sem fæst er alltaf úr nýjustu mæligildunum.

4.3 Samanburður á gluggunum

Boðið er upp á fjóra mismunandi glugga í blokkunum fyrir tíðnigreininguna, þ.e. Rectangular, Hanning, Kaiser-Bessel og Flat Top. Jöfnurnar fyrir þessar fjórar glugganir.

Rectangular:

$$\lambda_k = \begin{cases} 1 & 0 \leq k < N \\ 0 & \text{annars} \end{cases} \quad (4.1)$$

Hanning:

$$\lambda_k = \begin{cases} 2 \sin^2\left(\frac{2\pi k}{N}\right) & 0 \leq k < N-1 \\ 0 & \text{annars} \end{cases} \quad (4.2)$$

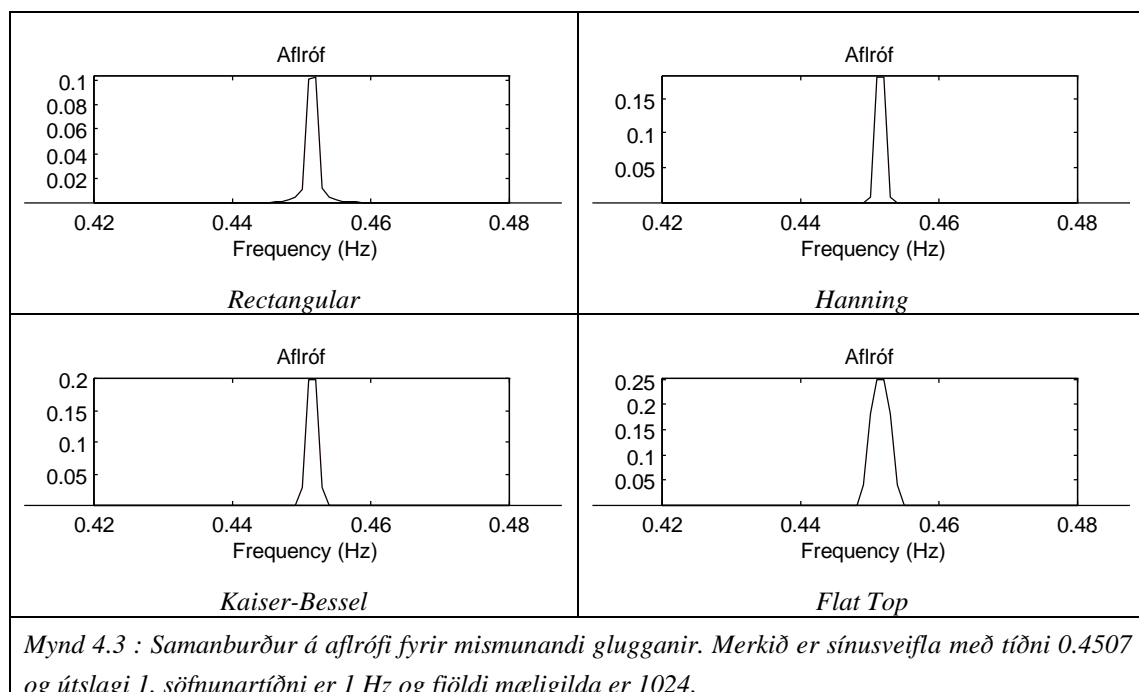
Kaiser-Bessel

$$\lambda_k = \begin{cases} 1 - 1.24 \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) + 0.244 \cos\left(\frac{4\pi k}{N}\right) - 0.00305 \cos\left(\frac{6\pi k}{N}\right) & 0 \leq k < N \\ 0 & \text{annars} \end{cases} \quad (4.3)$$

Flat Top

$$\lambda_k = \begin{cases} 1 - 1.93 \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) + 1.29 \cos\left(\frac{4\pi k}{N}\right) - 0.388 \cos\left(\frac{6\pi k}{N}\right) + 0.0322 \cos\left(\frac{8\pi k}{N}\right) & 0 \leq k < N \\ 0 & \text{annars} \end{cases} \quad (4.4)$$

Mynd 4.3 sýnir muninn á aflrófi þeirra, valin var tíðni sem lendir á milli gilda aflrófsins eða $f = 0.45 + \Delta f/2$.



Eins og fyrr segir er Hanning mest notaða vægisfallið. Þó er Kaiser-Bessel talið hafa betri eiginleika. Kosturinn við Hanning er hversu einfalt það er í útreikningum og minni “leki” (spectral leakage) við resónans tíðnir. Flat Top vægisfallið hefur síunareiginleika sem er líkust fullkominni síu og gefur því réttasta útslagið fyrir lægri tíðnigildi. Flat Top hentar því best við kvörðun.

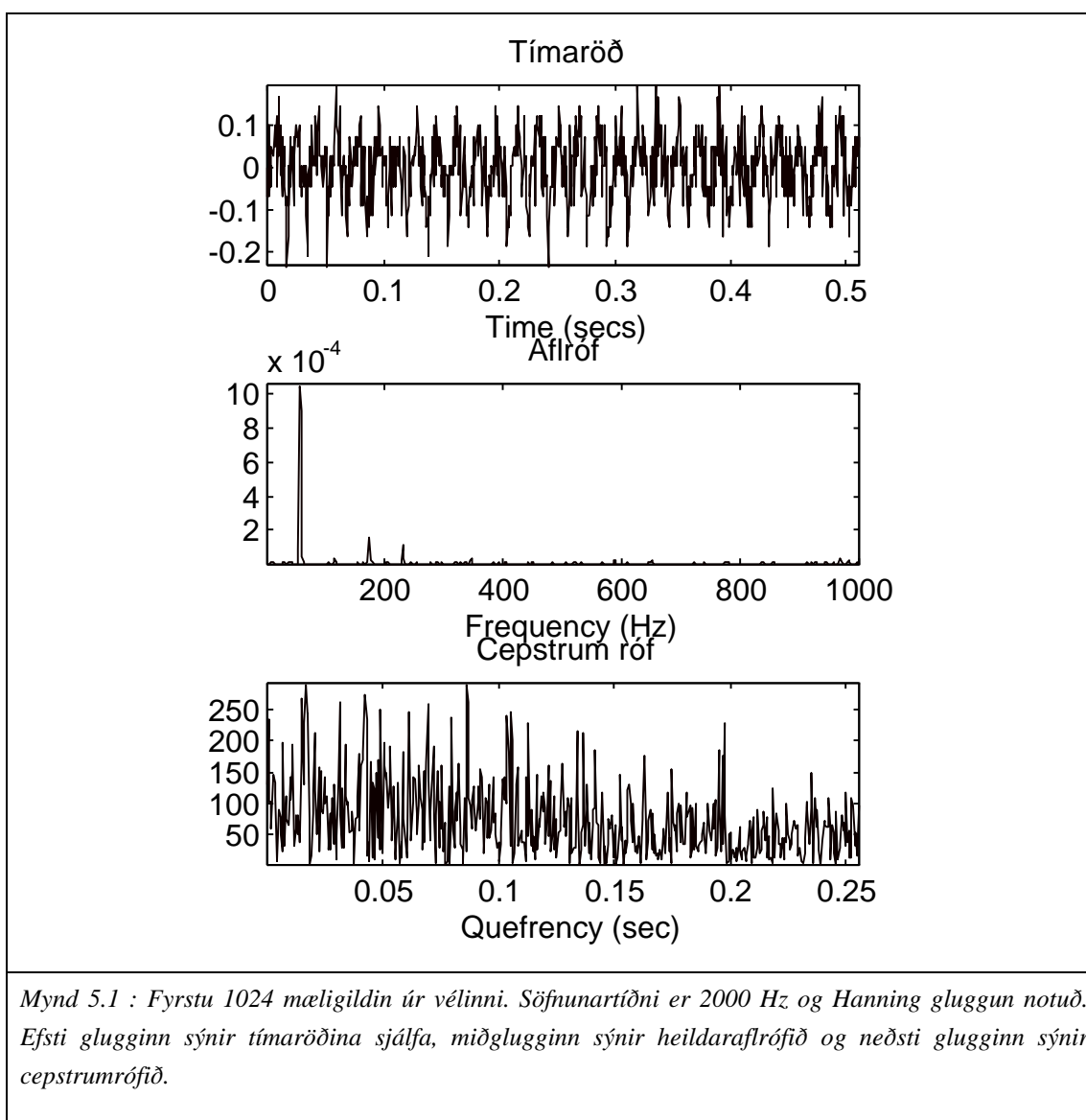
Mynd 4.3 sýnir að stærð útslagana er mismunandi eftir hvaða vægisfall er notað. Fræðilegt gildi á stærð tíðnitoppisins fæst sem $(A/2)^2$, þar sem A er útslag sínusveiflunnar. Í þessu tilfelli er $A = 1$ sem gefur að fræðilegt gildi tíðnitoppisins er 0.25. Eins og sést er það einungis Flat Top gluggunin sem gefur rétta stærð. Ástæðan liggur í mismunandi síunareiginleikum vægisfallanna og er munurinn í réttu hlutfalli við bandbreidd þeirra.

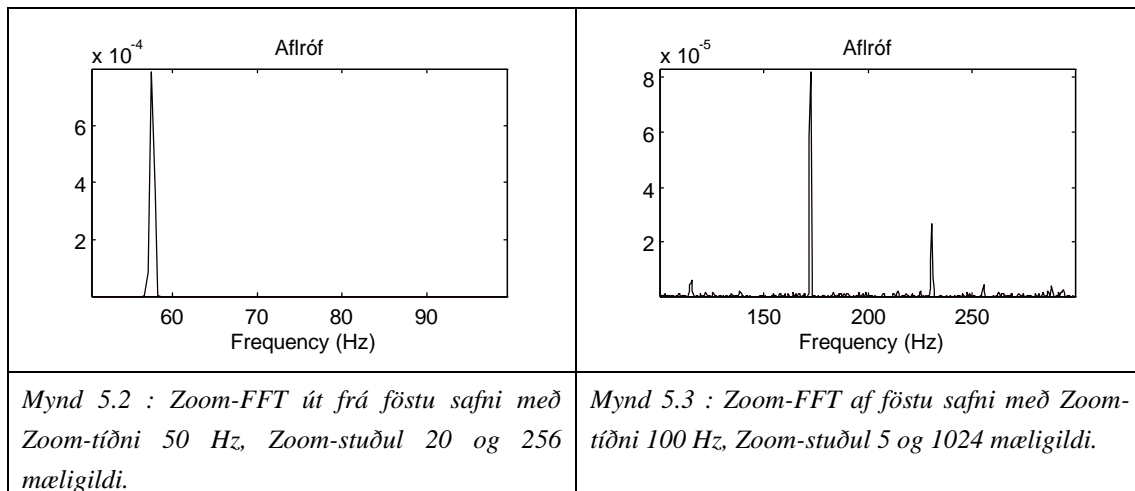
5. SAMANBURÐUR Á RAUNVERULEGUM MÆLINGUM OG HERMUÐUM

Gerðar voru mælingar á vél sem notuð er við þreytuþrófanir og staðsett í VR-III. Vélina samanstendur af rafmagnsmótor, öxul, tengi og tvær SKF 1207K legur. Vélina var mjög þýðgeng enda ekkert álag á henni og var því festur bolti við öxulinn til að búa til slátt á hann.

5.1 Raunverulegar mælingar

Mælingarnar voru framkvæmdar með Bruel & Kjaer hröðunarmæli og Kyowa magnara. Merkið var lágþleypisíð með síu með 1000 Hz bandvidd og safnað með söfnunartíðni 2000 Hz.

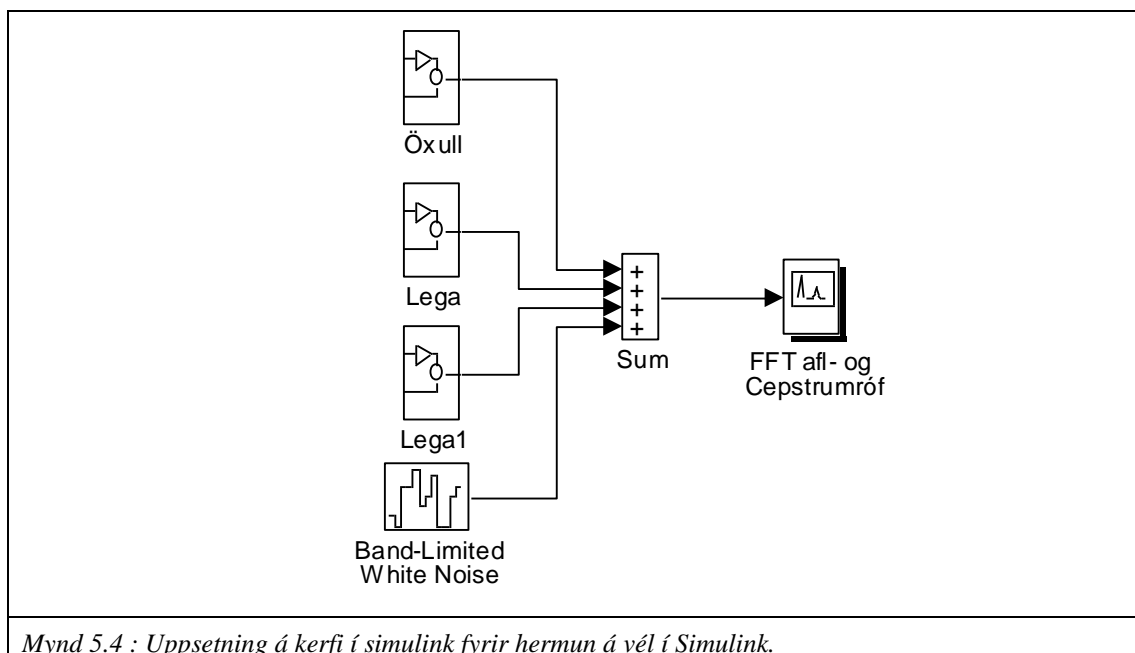




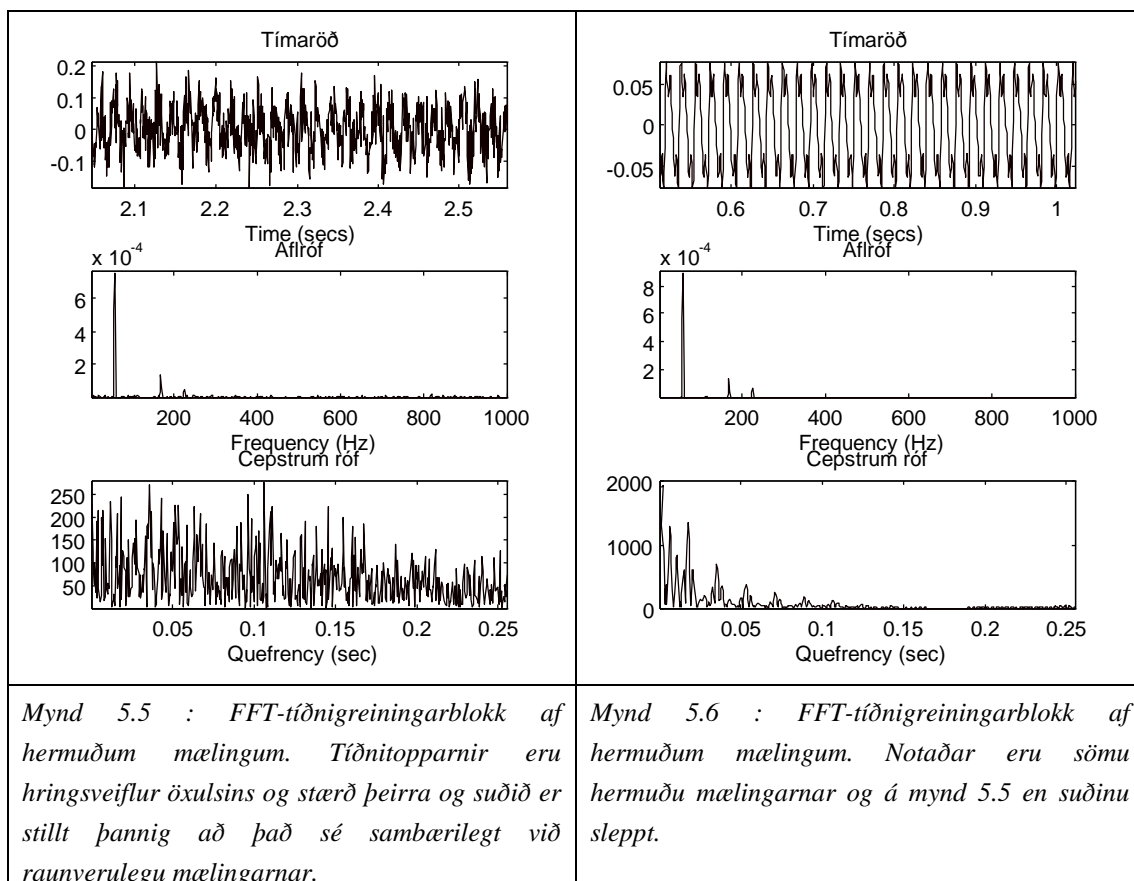
Gefin er upp snúningshraði vélarinnar 3000 snúningar/min. = 50 Hz. Mynd 5.2 sýnir að langstærsti tíðnitoppurinn fæst við ≈ 57 Hz sem passar við það sem er uppgefinn snúningshraði vélarinnar. Verður að telja að mælingunni frekar treystandi en merkingunni á vélinni. Cepstrumrófið sýnir ekki neina marktæka fylgni milli mæligilda þannig að ekki eru neinar sjáanlegar hringsveiflur í merkinu. Mynd 5.3 sýnir svo zoom af minni toppunum og fást fjórir helstu við ≈ 115 , ≈ 173 , ≈ 230 og ≈ 255 Hz. Líklega eru fyrstu þrír tíðniþættirnir hringsveiflur (e. harmóníur) snúningstíðninnar en óljóst er hvað sá fjórði er, líklega tengist það legunni eða þá að neminn sé illa festur.

5.2 Hermaðar mælingar

Búið var til kerfi sem samanstóð af öxli og legu og reynt að herma mælingarnar úr kafla 5.1. Kerfið sem búið var til samanstendur af tveim legum, öxul og einingu sem framkallar suð. Mynd 5.4 sýnir uppsetninguna í Simulink.



Byrjað var á því að stilla stærðir útslaganna fyrir hringsveiflur öxulsins þannig að sambærileg útslög fengust í aflrófinu. Gengið var út frá því að snúningstíðni öxulsins væri 57 Hz. Eins og fyrr segir er óljóst hvað tíðnitoppurinn við 255 Hz táknaði. Reynt var að stilla legu inn á hann en ekki tókst að finna neina bilun í legu sem passaði nógu vel. Líklega eru legurnar í vélinni í of góðu standi til að þær komi fram í tíðnirófinu.



Spurningin er nú, hvers vegna komu hringsveiflur öxulsins ekki fram í cepstrumrófinu? Ástæðan er að hærri hringsveiflurnar eru það litlar að suðið drekkir þeim út. Ef öllu suði er sleppt í hermuninni fæst allt annað cepstrumróf sem sýnir greininlega toppa í $\tau = 0.018$ s og $\tau = 0.036$ s osfrv. sem svarar til að toppur í aflrófinu endurtaki sig með $\Delta f = 1/0.18 \approx 57$ Hz millibili.

6. HEIMILDIR

- (1) Bruel & Kjør; *Digital Signal Analysis, Selected Reprints from Technical Review*, 1985
- (2) Christer, A.H. og Wang, W.; *A Model of Condition Monitoring of a Production Plant*, International Journal of Production Research, Sep 01 1992 v30.
- (3) Kupce, E., Boyd, J. og Campbell, I.; *Reduction of Noise and Spectral Distortions by Oversampling Combined with Zoom FFT* Journal of Magnetic Resonance, aug 01 1994 v109.
- (4) Bruel & Kjør; *Technical Review No. 3-4*, 1987
- (5) Lun, D.P.K og Siu, W.C.; *Fast radix-3/9 discrete Harley transform*, IEEE Transactions on Signal Processing, Jul 01 1993 v41.
- (6) D.J. Ewins; *Modal Testing: Theory and Practise*, 1986 Research Studies Press Ltd.
- (7) Mathworks *Simulink Users Guide*, 1990-92.

7. VIÐAUKI: UPPLÝSINGAÖFLUN

1. Áhugaverðar greinar sem fengust úr Uncover með “Condition Monitoring”.

A simple condition monitoring model for a direct monitoring process.

Wang, W. og Christer A.H.

European Journal of Operational Research, Apr 20 1995 v82

Condition monitoring-The computerised way to spot problems before they happen.

Electrical Review, Mar 17 1995 v228

Maintaining powerplant instrumentation.

Power, Mar 01 1995 v139

Machine condition monitoring - What should we be doing.

Mitchell, John S.

Sound and Vibration, Feb 01 1995 v29

Vibration signature based condition monitoring of bowl-roller coal pulverizer.

Journal of Vibration and Acoustics, Oct 01 1995 v115

Condition Monitoring (um Expert Systems og Neural Networks)

Tinham, Brian

Control and Instrumentation, Jan 01 1995

Condition Monitoring and Diagnostics

Aerospace Engineering, Jan 01 1995 v15

Condition Monitoring Techniques.

Van der Walt, Christo

The South African Mechanical Engineer, Jan 01 1995 v45

Hull Monitoring.

Marine Engineers Review, Des 01 1994

Machine Condition Monitoring - Fact or Fiction

Mitchell, John S.

Sound and Vibration, Sep 01 1994 v28

Use of the Acoustic-Emission Method for Monitoring the Condition of Industrial ..

Sergiev, B.P. og Pachkov, A.V.

Chemical and Petroleum Engineering, Jul 01 1994

A New Approach to Motor Condition Monitoring in Induction Motor Drives.

Chen, S., Zhong, E. og Lipo T.A.

Ieee Transaction on Industry Applications, Jul 01 1994

Monitoring Machines for Maintenance, Performance.

Doyle, Donna J.

Hydro Review, Jun 01 1994 v13

Condition Monitoring

Applications

Tinham, Brian

Control and Instrumentation, Jan 01 1994

On-Line Condition Monitoring of Rotating Equipments using Neural Networks.

Peck, J.P. og Burrows, J.

Isa Transactions 1994

A Review by Discussion of Condition Monitoring and Fault Diagnosis in Machine Tools.

Martin, K.F.

International Journal of Machine Tools and Manufacturing, 1994 v34

The Lubricant as a Condition Monitoring Tool.

Riley, N.

Mining Technology, Feb 01 1994

A Condition Monitoring and Predictive Maintenance. Can It Improve Plant Performance Without the Loss of Jobs ?

Tuft, R.H.

Sound and Vibration, Des 01 1993 v27

Condition Monitoring of Spindle Machinery Performance is Proving Cost Effective at British Aerospace.

Smith, Tony.

Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Jul 01 1993 v65

A Model of Condition Monitoring of a Production Plant.

Christer, A.H. og Wang, W.

International Journal of Production Research, Sep 01 1992 v30.

Remote Condition Monitoring and Control of Standby Diesel Generators.

Perryman, R., Reynolds M. og Strudwich, S.

Measurement and Control, Jul 01 1992 v25.

The Right Approach to Condition Monitoring.

Professional Engineering, Jul 01 1992 v5

Comparison of Vibration and Acoustic Measurement Techniques for the Condition Monitoring of Rolling Element Bearings.

Tandon, N. og Nakra, B.C.

Tribology International, Jun 01 1992 v25.

An Overview of Condition Monitoring and an Expert System for Longwall Mining Machinery.

Basu, A., Li, Y. og Singh, R.N.

Mining Science & Technology, Des 01 1991 v13.

A Neural Network Approach to Real-Time Condition Monitoring of Induction Motors.

Chow, M.V., Mangum, P.M. og Yee, S.O.

Ieee Transaction on Industrial Electronics, Des 01 1991 v38.

Condition Monitoring.

Industrial Lubrication & Tribology, Nov 01 1991 v43.

Condition Monitoring: Engine Monitoring on the Wing.

Cownie, Jim.

Professional Engineering, Nov 01 1991 v4.

Condition Monitoring.

Reeve, Alan.

Control & Instrumentation, Jul 01 1991.

Technology and Condition Monitoring Systems.

Serridge, Mark.

Turbomachinery International, Jul 01 1991 v32.

Overview on Condition Monitoring with Emphasis on Industrial Fans.

Cory, W.T.W.

Proceedings of the Institution of Mechanical Engineering, 1991 v205.

Condition Monitoring the Expert Way.

Lindberg, G. og Jauhiainen, P.

Modern Power Systems, Jun 01 1991 v10.

Vibration and Stress Analysis for Condition Monitoring of Symon Cone Crushers.

Szczepanik, A., Roy, I. og Kuhnell, B.T.

Journal of Vibration, Acoustics, Stress and Rel., Apr 01 1990 v112.

Condition Monitoring: Practical Data-Processing Systems Monitor LHD, Help Reduce Down-Time.

The Mining Magazine, Mar 01 1990 v162.

Condition Monitoring of Machinery Using Motor Current Signal Analysis.
Sound and Vibration, Sep 01 1989 v23.

Fault Detection Techniques for Reliable Machine Condition Monitoring.
Serridge, Mark.
Sound and Vibration, May 01 1989 v23.

Tribological Failure Detection and Condition Monitoring for Diesel Engines.
Ozogan, M.S., Khalil, A.I. og Katsoulakos, P.S.
Wear: An International Journal on the Science ..., Mar 01 1989 v130.

The Intelligent Machine.
Davies, Alan.
Manufacturing Engineer, Aug 01 1994 v73.

Passive Diagnostics and Reliability Experiments: Applications in Machine Condition Monitoring.
Cempel, C.
Journal of Vibration, Acoustics, Stress and Reliability in Design, Jan 01 1989.

2. Áhugaverðar greinar sem fengust úr Uncover með “Fault-Detection”.

A neural network approach to instrument fault detection and isolation.
Bernieri, A., Betta, G. og Samsone, C.
Ieee transactions on instrumentation and measurement..., jun 01 1995 v44.

Fault detection and diagnosis in propulsion systems: A fault parameter estimation approach.
Duyar, A., Eldem, V. og Merrill, W.
Journal of guidance control and dynamics, jan 01 1994 v17.

Applications of statistical fault detection algorithms to navigation systems monitoring.
Nikiforov, I., Varavva, V. og Kireichikov, V.
Automatica, sep 01 1993 v29

Asynchronous motor cage fault detection through electromagnetic torque measurements.
Thollon, F., Grellet, G. og Jammal, A.
European transactions on electrical power engineering, sep 01 1993 v3.

A methodology for real-time fault detection, isolation and correction.
Pensick, E.C. og Mulholland, J.E.
Ieee aerospace and electronic systems magazine, jul 01 1993 v8.

On the applications and design of artificial neural network for motor fault detection:
Part I og Part II.

Chow, M.Y, Sharpe, R.N. og Hung, J.C.

Ieee transactions on industrial electronics, apr 01 1993 v40

A fault detection method for unknown systems with unknown input and its
application to hydraulic turbine monitoring.

Wang, H. og Daley, S.

International journal of control, feb 01 1993 v57.

Early fault detection and on-line diagnosis in real-time environments.

Bye, Andreas og Ness, Eyvind.

Modelling, identification and control, 1993 v14.

Rolling bearings fault detection using correlation technique.

Yin-ge, Xu og Yu-ling, Yan.

Applied mathematics and mechanics, jul 01 1992 v13

On initial fault detection of a tapered roller bearing: Frequency domain analysis.

Su, Y.T. og Liu, S.J.

Journal of sound and vibration, may 22 1992 v155.

FFT architecture for WSI with concurrent error detection and fault location.

Lombardi, F., Shen, Y.-N. og Muzio, J.

Ieee proceedings. e, computers and digital tech., jan 01 1992 v139.

Fault detection and diagnosis in gas turbines.

Merrington, G., Goodwin, G. og Carlsson, B.

Journal of engineering for industry, apr 01 1991 v113.

Gear fault detection using Wigner-Ville distribution.

Forrester B.B.

Transactions of the institution of engineers, Au., 1991 v16.

Better machinery monitoring: These specialized techniques can improve the fault
detection capabilities of vibration monitoring while reducing false alarms.

Serridge, M.

Hydrocarbon processing, jul 01 1990 v69.

Fault detection techniques for reliable machine condition monitoring.

Serridge, Mark.

Sound and vibration, may 01 1989 v23.

Remote fault/smoke detection for motor control centers.

Robertson, J.A. og Heberlein, E.Jr.G.

Ieee transactions on industry applications, jan 01 1989 v25.

An arcing fault detection technique using low frequency current components performance evaluation using recorded field data.

Russel, B.D., Mehta, K. og Chinalli, R.P.

Ieee tranactions on power delivery: a publica, oct 01 1988 v3.

3. Áhugaverðar greinar sem fengust úr Uncover með “Fault-Diagnosis”.

Frequency domain approach to optimally robust residual generation and evaluation for model based fault diagnosis.

Frank, P.M.

Automatica, may 01 1994 v30.

The intelligent ship.

Marine engineers review, aug 01 1993.

Applications of artificial neural network in process fault diagnosis.

Sorsa, T. og Koivo, H.N.

Automatica, jul 01 1993 v29.

Fault diagnosis of machines via parameter estimation and knowledge processing - Tutorial paper.

Isermann, R.

Automatica, jul 01 1993 v29.

Machinery fault finding/diagnostics.

Marine engineers review, mar 01 1992.

Vibration monitoring and fault diagnosis of inflighth aircraft engines.

Yi, J.

Proceedings, 1992 v18.

A method for fault signature extraction for improved diagnosis.

Chin, Hsinyung og Danai, Kourosh.

Journal of dynamic systems, measurements and control, des 01 1991 v113.

Process fault diagnosis based on process model knowledge: Part I og II.

Isermann, R. og Freyermuth, B.

Journal of dynamic systems, measurments and control, des 01 1991 v113.

Bearing fault diagnosis.

Pulp & paper, des 01 1989 v63.

4. Áhugaverðar greinar sem fengust úr Uncover með “Cepstrum”.

Cepstrum analysis predicts gearbox failure.

Aatold, S. og Leskinen, R.
Noise control engineering journal, mar 01 1990 v34.

Cepstrum analysis.
Reddy, Anil Khundur.
Iete technical review, mar 01 1990 v7.

5. Áhugaverðar greinar sem fengust úr Uncover með “FFT”.

Prediction of gear dynamics using fast fourier transform of static transmission errors.
Liu, H.H., Townsend, D.P. and Oswald, F.B.
Mechanics of structures and machines, 1993 v21.

The techniques of the generalized fast fourier transform algorithm.
Stasinski, R.
Ieee transactions on signal processing, may 01 1991 v39.

Reduction of noise and spectral distortions by oversampling combined with zoom fft.
Kupce, E., Boyd, J. og Campbell, I.
Journal of magnetic resonance, aug 01 1994 v109.

6. Áhugaverðar greinar sem fengust úr SCI.

Using speed harmonics to asses machine condition.
Bloch, H.P.
Hydrocarbon processing, 1993 v72

Monitoring jaw crushing parameters via vibration signal measurements.
Zeng, Y.G., Zheng, M. og Forsberg, E.
International journal of mineral processing, 1993 v39.

A new sensor for real-time milling tool condition monitoring.
Li, C.J. og Li, S.Y.
Journal of dynamic systems, measurement and control-transaction of the ASME, 1993 v115.

Development of diagnostic methods for on-line condition monitoring of primary system components.
Bauernfeind, V., Olma, B.J., Sunder, R. og Wach, D.
Kerntechnik, 1993 v58.

Special section on fault-detection, supervision and safety for technical processes - Introduction.
Axelby, G.S.
Automatica, 1993 v29.

FFT processing of randomly sampled harmonic signals.

Berkovitz, A. og Rusnak, I.

Ieee transactions on signal processing, 1992 v40.

Feasibility of using unsupervised learning, artificial neural networks for the condition monitoring of electrical machines.

Iee proceedings - electric power applications, 1994 v141.

A fast spectral estimation algorithm, based on FFT.

Gough, P.T.

Ieee transactions on signal processing, 1994 v42.

7. Bækur á bókasafni.

Mechanical measurements.

T.G. Beckwith og G. Thomas.

1982 620.0044 Bec.

Probabilistic methods of signal and system analysis.

G.R. Cooper og Clare D. McGillen.

1971 620.0042. Co.

Vibroacoustical diagnostics for machines and structures.

M.F. Dimentberg, K.V. Frolov og A.I. Menyailov.

Computer aided analysis and optimization of mechanical systems dynamics.

Nato ASI series.

1984 621.811 Nat.

Simulation of mechanical systems: An introduction.

J.E. Shigley.

1967 621.8150285 Shi

The image processing handbook.

John C. Russ

1995 621.367 Rus, FFT algrím á bls. 287.

Introduction to discrete-time signal processing.

Steven A. Tretter

1976 621.380430151 Tre.

Signal processing algorithms in fortran and C.

S.D. Stearns og R.A. David

1993 621.38220285 Ste

8. Áhugaverðar greinar sem fengust úr Uncover með “Hartley transform”.

Aspects of the Hartley transform.

Bracewell, R.N.

Proceedings of the Ieee, mar 01 1994 v82.

Analytic properties of the Hartley transform and their implications.

Millane, R.P.

Proceedings of the Ieee, mar 01 1994 v82.

Fast radix-3/9 discrete Hartley transform.

Lun, D.P.K og Siu, W.C.

Ieee transactions on signal processing, Jul 01 1993 v41.

Short-time Hartley transform.

Liu, J.C.

Iee proceedings. F, Radar and signal processing, Jun 01 1993 v140.

New fast discrete Hartley transform algorithm.

Chan, Y.-H. og Siu, W.C.

Electronics letters, feb 14 1991 v27.

9. Tímarit sem til eru á Íslandi.

(þbs=Þjóðarþókhlaða, bí=Búnaðarfélag Íslands, ver=Vinnueftirlit ríkisins,
vst=verkfræðistofa ST, ork=Orkustofnun, rb=Rannsóknarstofnun
Byggingaiðnaðarins)

European Journal of Operational Research, þbs 28- 1987-

Electrical Review, þbs 204- 1979-

Power, bí 126-128 1982-84

Sound and Vibration, ver 16- 1982-

Ieee Transaction

Hydro Review, vst 1988-93

International Journal of Production Research, þbs 16-19 1978-81

Modern Power Systems, ork, rvr 4- 1984-

The Mining Magazine, ork

Journal of Vibration, Acoustics, Stress and Reliability in Design, þbs 1981-

Automatica, þbs 24- 1988-

International journal of control, þbs 47- 1988-

Modelling, identification and control, þbs 1- 1980-

Journal of dynamic systems, measurements and control, þbs 1984-

Noise control engineering journal, rb 24- 1985-

Iee proceedings

Kerntechnik, 1956-78

Manufacturing Engineering, 1988-92

