Desibeliasteikko

- Signaalinkäsittelyssä on usein tapana esittää amplitudivasteen kuvaajat **desibeleinä** (dB).
- Koska desibeliasteikko on logaritminen, käyrien kuvaajat tuovat esiin tarkemmin pieniä eroja pienillä funktion arvoilla.
- Desibeli määritellään seuraavasti.
- Jos järjestelmän herätesignaalin teho on P_0 ja vasteen teho on P, vahvistus **beleissä** on
$$\log_{10} \frac{P}{P_0} \text{ B.}$$
- Yleensä saatavat arvot ovat luokkaa 1-10 B.

Desibeliasteikko

- Pyöristysvirheistä johtuen yleisemmässä käytössä on pienempi yksikkö, desibeli, joka on kymmenesosa belistä.
- Desibeleissä vahvistus on

$$10 \log_{10} \frac{P}{P_0} \text{ dB}.$$

- Usein signaalinkäsittelyssä työskennellään amplitudin muutoksen kanssa.
- Teho on suhteessa amplitudin neliöön.
- Jos siis herätteen amplitudi on A_0 ja vasteen A, vahvistus desibeleissä on

$$10 \log_{10} \frac{A^2}{A_0^2} \text{ dB} = 20 \log_{10} \frac{A}{A_0} \text{ dB}.$$

Desibeliasteikko

- Jos suhde $\frac{A}{A_0}$ on ykköstä pienempi, puhutaan vaimennuksesta.
- Jos järjestelmä vaimentaa signaalin amplitudin puoleen (0.5-kertaiseksi), on vaimennus desibeleinä

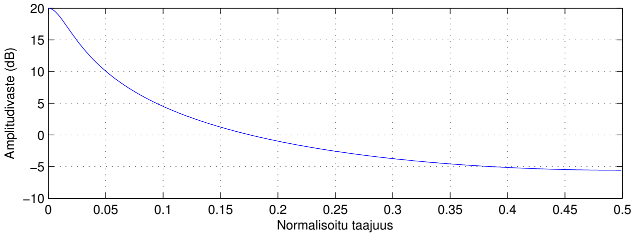
$$20 \log_{10} 0.5 \text{ dB} = -6.02 \text{ dB}.$$

- Jos taas teho vaimenee puoleen, on muutos desibeleissä

$$10 \log_{10} 0.5 \text{ dB} = -3.01 \text{ dB}.$$

Desibeliasteikko

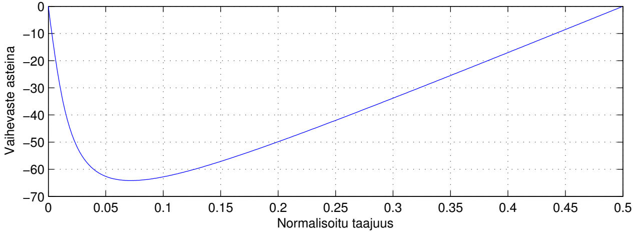
- Seuraavassa kuvassa on edellisen esimerkin amplitudivaste desibeliasteikolla.



- Huomaa, että taajuusakseli on nyt normalisoitu näytteenottotaajuudella.
- Tämä on yleisin ja havainnollisin tapa taajuuksien esittämisessä.
- Matlab tekee vastaavan kuvan automaattisesti komennolla `freqz`.

Desibeliasteikko

- Myös vaihevaste on tapana kuvata vain positiivisilta taajuuksilta.
- Myös tässä tapauksessa taajuusakseli skaalataan Nyquistin rajataajuuden mukaan ja pystyakseli muunnetaan asteiksi tai radiaaneiksi.
- Alla on näin kuvattuna järjestelmän $h(n) = 0.9^n u(n)$ vaihevaste.



IIR-suotimen siirtofunktio

- z-muunnos on tehokas työkalu myös IIR-suodinten analysoinnissa.
- Koska IIR-suodinten impulssivasteessa on ääretön määrä termejä, siirtofunktion laskeminen suoraan määritelmän perusteella on hankalaa.
- Siirtofunktion voi laskea helpommin ottamalla z-muunnos suoraan IIR-suotimen määräävästä differenssiyhtälöstä.
- Tarkastellaan IIR-suotimen yleistä muotoa:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{K} a_k x(n-k) + \sum_{m=1}^{M} b_m y(n-m).$$

IIR-suotimen siirtofunktio

- Käyttämällä hyväksi z-muunnoksen lineaarisuutta ja viivästetyn signaalin z-muunnoksen kaavaa, voidaan soveltaa z-muunnosta tämän differenssiyhtälön molempiin puoliin, jolloin

$$Y(z) = \sum_{k=0}^{K} a_k X(z) z^{-k} + \sum_{m=1}^{M} b_m Y(z) z^{-m}.$$

- Siirtämällä jälkimmäinen summa vasemmalle puolelle ja ottamalla $X(z)$ ja $Y(z)$ tekijäksi saadaan yhtälö

$$Y(z)\left(1 - \sum_{m=1}^{M} b_m z^{-m}\right) = X(z) \sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k},$$

IIR-suotimen siirtofunktio

josta voidaan ratkaista ulostulon z-muunnos:

$$Y(z) = \frac{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}{1 - \sum_{m=1}^{M} b_m z^{-m}} X(z).$$

- Vertaamalla tätä kaavaan $Y(z) = H(z)X(z)$ havaitaan, että siirtofunktio on

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^{K} a_k z^{-k}}{1 - \sum_{m=1}^{M} b_m z^{-m}}.$$

IIR-suotimen siirtofunktio

Esimerkki: Tarkastellaan suodinta, jonka määrittelee differenssiyhtälö

$$y(n) = 0.5x(n) - x(n-1) + 2x(n-2) - y(n-1) + y(n-2).$$

- Ottamalla z-muunnokset puolittain saadaan yhtälö

$$Y(z) = 0.5X(z) - X(z)z^{-1} + 2X(z)z^{-2} - Y(z)z^{-1} + Y(z)z^{-2}.$$

- Edelleen ryhmittelemällä saadaan:

$$Y(z)(1 + z^{-1} - z^{-2}) = X(z)(0.5 - z^{-1} + 2z^{-2}).$$

IIR-suotimen siirtofunktio

- Siis siirtofunktio $\mathrm{H}(z)$ on

$$\mathrm{H}(z) = \frac{\mathrm{Y}(z)}{\mathrm{X}(z)} = \frac{0.5 - z^{-1} + 2z^{-2}}{1 + z^{-1} - z^{-2}} = \frac{0.5z^2 - z + 2}{z^2 + z - 1}.$$

- Etsitään tämän funktion navat ja nollat.
- Navat ovat nimittäjän nollakohtia, eli

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{-1 - \sqrt{5}}{2}, \\ p_2 &= \frac{-1 + \sqrt{5}}{2}. \end{aligned}$$

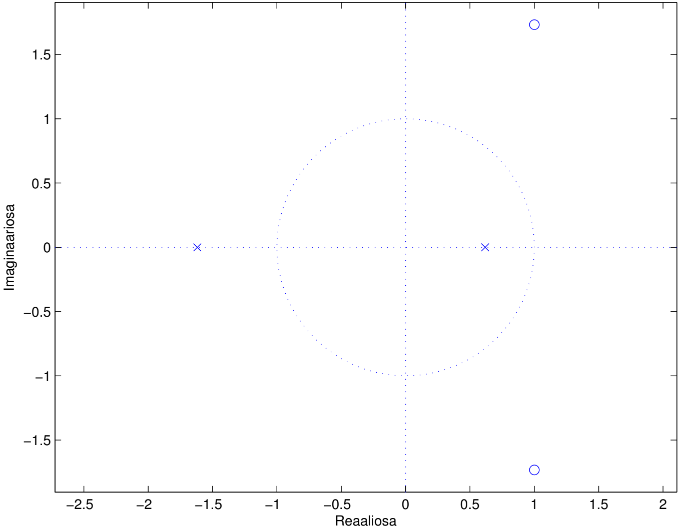
IIR-suotimen siirtofunktio

- Nollat puolestaan ovat osoittajan nollakohtia, eli

$$\begin{aligned} z_1 &= 1 + \sqrt{3}i, \\ z_2 &= 1 - \sqrt{3}i. \end{aligned}$$

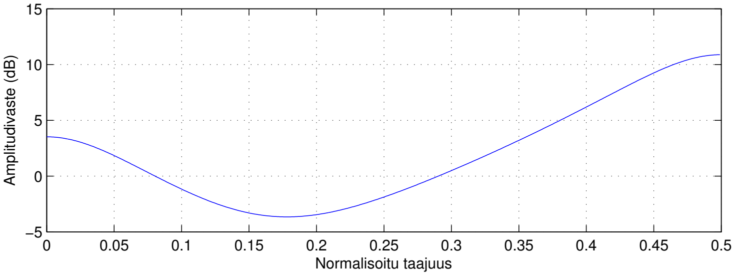
- Seuraavassa napa-nollakuvio ja amplitudivaste.

IIR-suotimen siirtofunktio



(**Matlab:** `zplane([0.5,-1,2],[1,1,-1]);`)

IIR-suotimen siirtofunktio



- Amplitudivasteesta voidaan taas suoraan päätellä vaikkapa järjestelmän vahvistavan Nyquistin rajataajuutta noin kymmenellä desibelillä.

IIR-suotimen siirtofunktio

- Tämä tarkoittaa, että tuolla taajuudella amplitudin muutos α saadaan yhtälöstä

$$10\text{ dB} = 20\log_{10}\alpha\text{ dB},$$

eli

$$\frac{1}{2} = \log_{10}\alpha.$$

- Korottamalla molemmat puolet kymmenen potenssiin saadaan yhtälö

$$10^{\frac{1}{2}} = \alpha,$$

i.e.

$$\alpha = \sqrt{10} \approx 3.16.$$

IIR-suotimen siirtofunktio

- Signaalin amplitudi kasvaa siis 3.16-kertaiseksi.
- Jos halutaan tehon muutos P, se saadaan kaavasta

$$10\text{ dB} = 10\log_{10}\mathrm{P}\text{ dB},$$

josta voidaan ratkaista

$$\mathrm{P} = 10.$$

- Teho kasvaa näin ollen kymmenkertaiseksi.

IIR-suotimen siirtofunktio

- Toinen tavallinen tilanne on se, jossa tiedetään siirtofunktio ja halutaan differenssiyhtälö.
- Olkoon
$$H(z) = \frac{0.5z^2 + z + 0.25}{z^3 - z + 0.5}.$$
- Ensin täytyy supistaa muuttujan z potenssit negatiivisiksi eli kertoa osoittaja ja nimittäjä luvulla z^{-3}.
$$H(z) = \frac{0.5z^{-1} + z^{-2} + 0.25z^{-3}}{1 - z^{-2} + 0.5z^{-3}}.$$

IIR-suotimen siirtofunktio

- Sitten sijoitetaan $\frac{Y(z)}{X(z)} = H(z)$:

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{0.5z^{-1} + z^{-2} + 0.25z^{-3}}{1 - z^{-2} + 0.5z^{-3}}.$$

- Kerrotaan ristiin nimittäjät pois:

$$Y(z)(1 - z^{-2} + 0.5z^{-3}) = X(z)(0.5z^{-1} + z^{-2} + 0.25z^{-3}),$$

eli

$$Y(z) - Y(z)z^{-2} + 0.5Y(z)z^{-3} = 0.5X(z)z^{-1} + X(z)z^{-2} + 0.25X(z)z^{-3}.$$

IIR-suotimen siirtofunktio

- Jokaista termiä vastaava signaali tiedetään:

$$y(n) - y(n-2) + 0.5y(n-3) = 0.5x(n-1) + x(n-2) + 0.25x(n-3).$$

- Tämä saadaan helposti muotoon, joka voidaan jo toteuttaa algoritmisesti:

$$y(n) = 0.5x(n-1) + x(n-2) + 0.25x(n-3) + y(n-2) - 0.5y(n-3).$$

Stabiilisuus

- IIR-suotimen stabiilisuus voidaan helposti tutkia napa-nollakuvion avulla.
- Voidaan nimittäin osoittaa, että (kausaalinen) IIR-suodin on stabiili, jos ja vain jos kaikki sen siirtofunktion navat ovat yksikköympyrän sisäpuolella.
- Esimerkiksi aiemmin esillä ollut suodin

$$y(n) = 0.5x(n) - x(n-1) + 2x(n-2) - y(n-1) + y(n-2)$$

ei ole stabiili, koska navat ovat

$$p_{1,2} = \frac{-1 \pm \sqrt{5}}{2},$$

joista toinen on yksikköympyrän ulkopuolella ($|\frac{-1-\sqrt{5}}{2}| > 1$).

Stabiilisuus

- Otetaan vielä yksi esimerkki.
- Suotimen

$$y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 2x(n-2) + \frac{1}{2}y(n-1) - \frac{1}{8}y(n-2),$$

siirtofunktio on

$$\begin{aligned}
& y(n) - \frac{1}{2}y(n-1) + \frac{1}{8}y(n-2) = x(n) - 2x(n-1) + 2x(n-2) \\
\Leftrightarrow\quad & Y(z) - \frac{1}{2}Y(z)z^{-1} + \frac{1}{8}Y(z)z^{-2} = X(z) - 2X(z)z^{-1} + 2X(z)z^{-2} \\
\Leftrightarrow\quad & Y(z)(1 - \frac{1}{2}z^{-1} + \frac{1}{8}z^{-2}) = X(z)(1 - 2z^{-1} + 2z^{-2}) \\
\Leftrightarrow\quad & \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{1 - 2z^{-1} + 2z^{-2}}{1 - \frac{1}{2}z^{-1} + \frac{1}{8}z^{-2}} = \frac{z^2 - 2z + 2}{z^2 - \frac{1}{2}z + \frac{1}{8}} \qquad (= H(z)).
\end{aligned}$$

Stabiilisuus

- Navat ovat polynomin

$$z^2 - \frac{1}{2}z + \frac{1}{8},$$

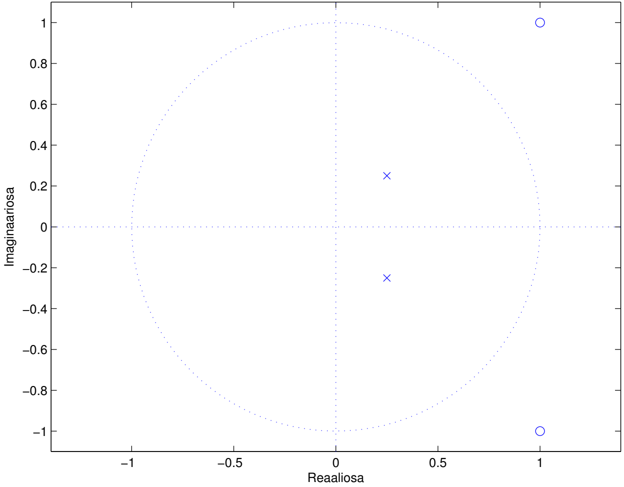
nollakohdat, eli

$$p_{1,2} = \frac{\frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} - 4 \cdot \frac{1}{8}}}{2} = \frac{\frac{1}{2} \pm \sqrt{-\frac{1}{4}}}{2} = \frac{\frac{1}{2} \pm i\sqrt{\frac{1}{4}}}{2} = \frac{\frac{1}{2} \pm \frac{i}{2}}{2} = \frac{1}{4} \pm \frac{i}{4}.$$

- Molemmat ovat yksikköympyrän sisällä ($|p_{1,2}| < 1$), joten suodin on stabiili.

Stabiilisuus

- Järjestelmän napa-nollakuvio on alla olevassa kuvassa.



FIR suotimen suunnittelu taajuustasossa

- Edellisessä kappaleessa havaittiin FIR-suotimella olevan selkeä tulkinta taajuusalueella.
- Suodin muuttaa kunkin taajuuskomponentin amplitudia ja vaihetta, eli vaimentaa tai vahvistaa sekä viivästää sitä.
- FIR-suotimen käyttökohde määräytyy tätä kautta: suotimella voidaan vaimentaa tiettyjä taajuuksia, ja vastaavasti vahvistaa toisia taajuuksia.
- Usein vastaan tuleva erikoistapaus tästä on suodin, joka poistaa täysin tietyn taajuuskaistan ja säilyttää toisen kaistan alkuperäisenä.

FIR suotimen suunnittelu taajuustasossa

- Taajuuksilla operoivalla suotimella on useita käyttökohteita.
- Sen avulla voidaan esimerkiksi poistaa signaalista jokin kapealla taajuusalueella oleva häiriö, jakaa signaali kahtia pieniin ja suuriin taajuuksiin tehokkaampaa kompressiota varten tai vaikkapa korostaa pieniä ja suuria taajuuksia ja näin kompensoida halpojen kaiuttimien aiheuttamaa vääristymää.

FIR suotimen suunnittelu taajuustasossa

- Kuten z-muunnosta ja Fourier-muunnosta tarkasteltaessa havaittiin, konvoluutio aikatasossa vastaa kertolaskua z- tai taajuustasossa.
- Kääntäen voidaan ilmaista, että taajuustason kertolasku on mahdollista toteuttaa aikatason konvoluutiona.
- Konvoluution kertoimet eli suotimen impulssivaste täytyy siis suunnitella sellaiseksi, että taajuusvaste on halutunlainen.
- Suunnittelutehtävä voisi siis olla esimerkiksi seuraava: selvitä sellaisen suotimen impulssivaste, jonka amplitudivaste on yksi taajuuksilla 0 Hz – 1100 Hz ja nolla taajuuksilla 1400 Hz – 4096 Hz, mikä on samalla Nyquistin rajataajuus.
- Tällainen suodin säilyttäisi taajuudet 1100 Hertsiin asti alkuperäisinä ja poistaisi 1400 Hertsiä suuremmat taajuudet.

FIR suotimen suunnittelu taajuustasossa

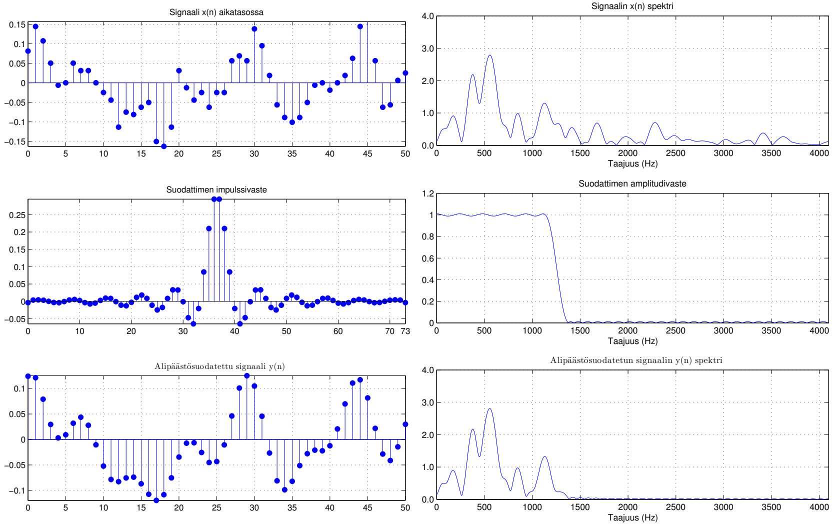
- Tässä kappaleessa tutustutaan yhteen menetelmään, jolla voidaan laskea sopivat impulssivasteen kertoimet.
- Signaalin $x(n)$ sisältämät taajuudet käyvät ilmi sen diskreettiaikaisesta Fourier-muunnoksesta $X(e^{i\omega})$.
- Kun signaali suodatetaan suotimella, jonka taajuusvaste on $H(e^{i\omega})$, saadaan tuloksen $y(n)$ taajuussisältö yhtälöstä

$$Y(e^{i\omega}) = H(e^{i\omega})X(e^{i\omega}).$$

FIR suotimen suunnittelu taajuustasossa

- Seuraavalla kalvon kuvissa on esimerkki suodatuksen vaikutuksesta signaalin taajuuksiin.
- Ylimmässä kuvaparissa on vasemmalla eräs testisignaali ja oikealla sen sisältämät taajuudet.
- Keskimmäisessä kuvaparissa on vasemmalla erään suotimen impulssivaste ja oikealla sen amplitudivaste.
- Suodin on nyt suunniteltu yllä olevien vaatimusten mukaiseksi, eli säilyttämään pienet taajuudet ja poistamaan suuret.

FIR suotimen suunnittelu taajuustasossa



FIR suotimen suunnittelu taajuustasossa

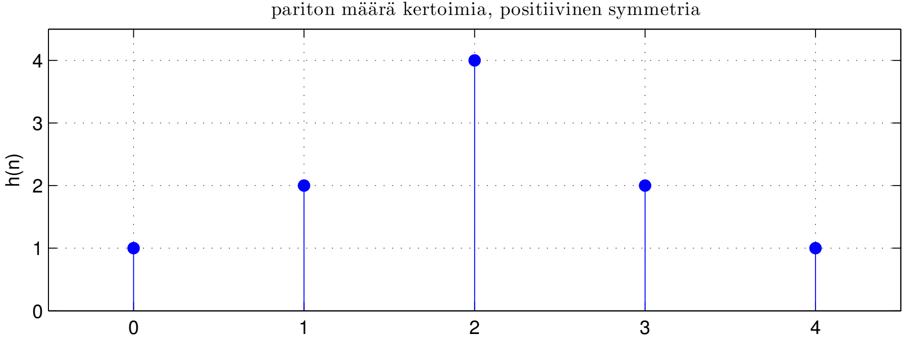
- Suodatettaessa testisignaali tällä suotimella (eli laskemalla signaalin ja impulssivasteen konvoluutio) tapahtuu samalla taajuustasossa kertolasku.
- Konvoluution tuloksessa (alin kuvapari) ovat suuret taajuudet todellakin poistuneet ja pienet taajuudet säilyneet ennallaan.
- Tämä johtuu siitä, että suurilla taajuuksilla amplitudivaste on lähellä nollaa ja pienillä taajuuksilla lähellä ykköstä.
- Nollalla kertominen poistaa ja ykkösellä kertominen säilyttää taajuudet.
- FIR-suodinten suunnitteluvaatimukset esitetään tavallisesti taajuustasossa.
- Vaatimukset voidaan jakaa amplitudivasteelle asetettaviin vaatimuksiin ja vaihevasteelle asetettaviin vaatimuksiin.

FIR vaihevasteen vaatimukset

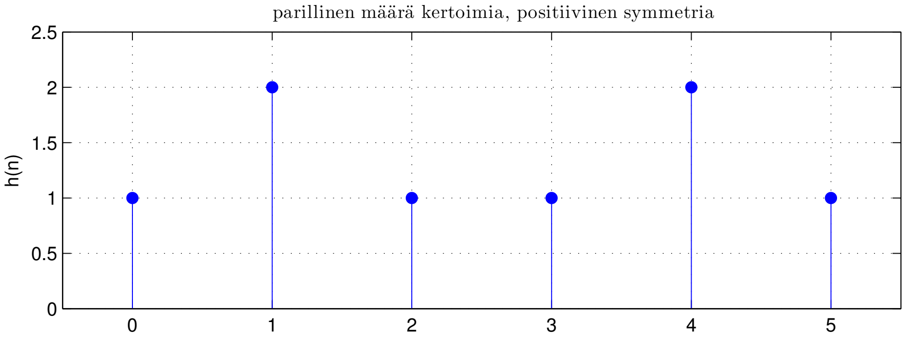
- Vaihevasteelle asetettavat vaatimukset ovat useimmiten yksinkertaisempia ja tyypillinen vaatimus onkin lineaarinen vaihevaste.
- Jos vaihevaste on lineaarinen, kaikki taajuudet viivästyvät saman verran.
- Tämä vaatimus on helppo toteuttaa tarkastelemalla ainoastaan sellaisten FIR-suodinten luokkaa, joiden impulssivaste on negatiivisesti tai positiivisesti symmetrinen (s.o. $h(n) = \pm h(N - n - 1)$).
- Näin saadaan neljä eri tapausta.

FIR vaihevasteen vaatimukset

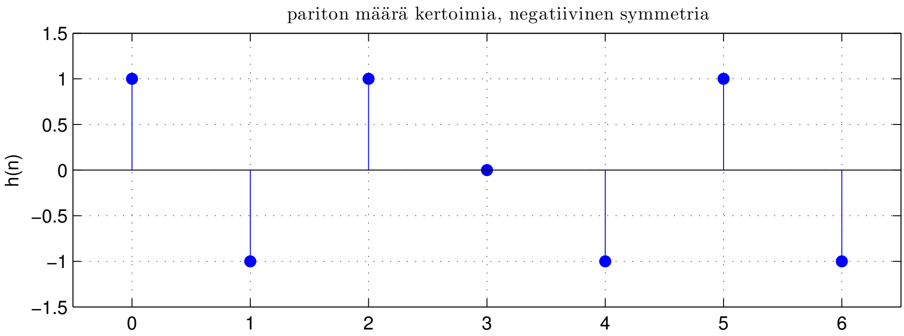
- Näitä tapauksia vastaavat kuvat ovat alla.



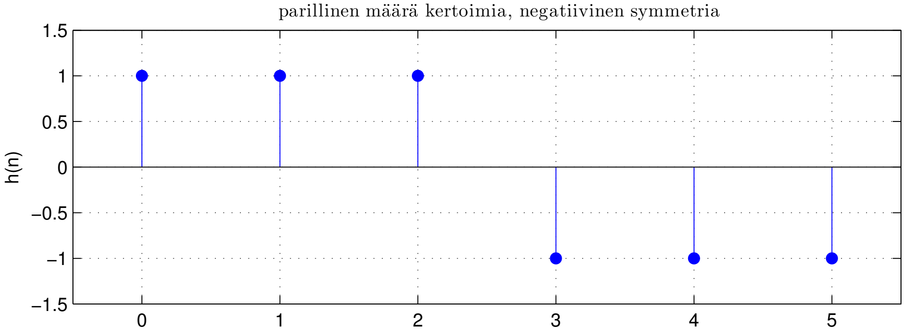
FIR vaihevasteen vaatimukset



FIR vaihevasteen vaatimukset



FIR vaihevasteen vaatimukset



- Edellisessä kappaleessa suotimen vaihevaste määriteltiin taajuusvasteen vaihekulmaksi: $\arg(H(e^{i\omega}))$.

FIR vaihevasteen vaatimukset

- Esimerkiksi ensimmäisen tapauksen suotimen vaihevaste lasketaan seuraavasti.
- Suotimen impulssivaste on

$$h(n) = \delta(n) + 2\delta(n-1) + 4\delta(n-2) + 2\delta(n-3) + \delta(n-4).$$

- Tämän suotimen taajuusvaste on

$$H(e^{i\omega}) = 1 + 2e^{-i\omega} + 4e^{-2i\omega} + 2e^{-3i\omega} + e^{-4i\omega},$$

ja sen termit voidaan ryhmitellä niin että vaihevaste näkyy selvästi:

$$\begin{aligned} H(e^{i\omega}) &= e^{-2i\omega}\left[e^{2i\omega} + 2e^{i\omega} + 4 + 2e^{-i\omega} + e^{-2i\omega}\right] \\ &= e^{-2i\omega}\left[\underline{(e^{2i\omega} + e^{-2i\omega})} + 2(e^{i\omega} + e^{-i\omega}) + 4\right] \\ &= e^{-2i\omega}\left[\underline{2\cos(2\omega)} + 4\cos(\omega) + 4\right]. \end{aligned}$$

$$e^{2i\omega} + e^{-2i\omega} = \cos(2\omega) + i\sin(2\omega) + \cos(-2\omega) + i\sin(-2\omega)$$

$$= \cos(2\omega) + \cancel{i\sin(2\omega)} + \cos(2\omega) - \cancel{i\sin(2\omega)} = 2\cos(2\omega)$$

FIR vaihevasteen vaatimukset

- On helpohkoa osoittaa että taajuuksilla $\omega \in [0, \pi]$ hakasulkeiden sisällä oleva lauseke on reaalinen ja positiivinen, joten vaihevaste on sama kuin kompleksitermin $e^{-2i\omega}$ vaihekulma, eli -2ω.
- Tässä vaiheessa saattaa herätä kysymys, eikö vaihevasteen tulisi olla vakio, jotta kaikki taajuudet viivästyisivät yhtä paljon.
- Vastaus on kuitenkin kielteinen, sillä vaihevaste ilmaisee montako astetta tai radiaania kyseinen taajuuskomponentti viivästyy.
- Esimerkiksi neljännesjakson (90°) viive pienellä taajuudella on ajassa paljon enemmän kuin sama viive suurella taajuudella.
- Täten vaihevasteen pitää olla muotoa $-c\omega$, jotta jokainen taajuuskomponentti viivästyy saman määrän näytteitä (eli ajassa).

FIR vaihevasteen vaatimukset

- Vaihevasteen derivaatta kertoo montako näytettä viive on.
- Tästä käytetään nimitystä **ryhmäviive** ja se määritellään kaavalla $\tau(\omega) = -\frac{d\theta(\omega)}{d\omega}$, missä $\theta(\omega)$ on vaihevaste taajuudella ω.
- Ryhmäviiveen avulla voidaan määritellä lineaarisen vaihevasteen käsite riittävän yleisesti: **vaihevaste on lineaarinen, jos ryhmäviive on vakio kaikissa pisteissä, joissa se on määritelty.**
- Tämä määritelmä hyväksyy myös suotimet, joiden vaihevasteessa on epäjatkuvuuskohta.
- Vaihevastetta ei nimittäin ole määritelty tapauksessa $H\left(e^{i\omega}\right) = 0$, koska luvun nolla vaihekulma on määrittelemätön.

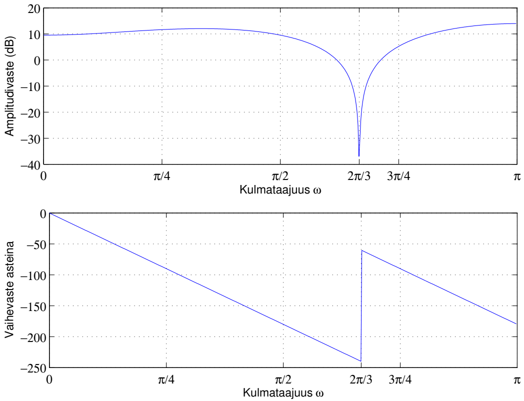
FIR vaihevasteen vaatimukset

- Tällaisten pisteiden ympäristössä vaihevasteeseen tulee yleensä π:n korkuinen hyppäys.
- Esimerkiksi suotimella

$$h(n) = -\delta(n) + 2\delta(n-1) + \delta(n-2) + 2\delta(n-3) - \delta(n-4)$$

on alla olevan kuvan mukaiset amplitudi- ja vaihevasteet.

FIR vaihevasteen vaatimukset



Tampereen yliopisto

FIR vaihevasteen vaatimukset

- Suotimen amplitudivaste on nolla taajuudella $\omega = \frac{2\pi}{3}$, ja vaihevasteeseen tulee epäjatkuvuuskohta tällä taajuudella.
- Ryhmäviive on kuitenkin vakio kaikissa pisteissä paitsi taajuudella $\omega = \frac{2\pi}{3}$.
- Tämä nähdään laskemalla siirtofunktio

$$\mathrm{H}(z) = -1 + 2z^{-1} + z^{-2} + 2z^{-3} - z^{-4}$$

FIR vaihevasteen vaatimukset

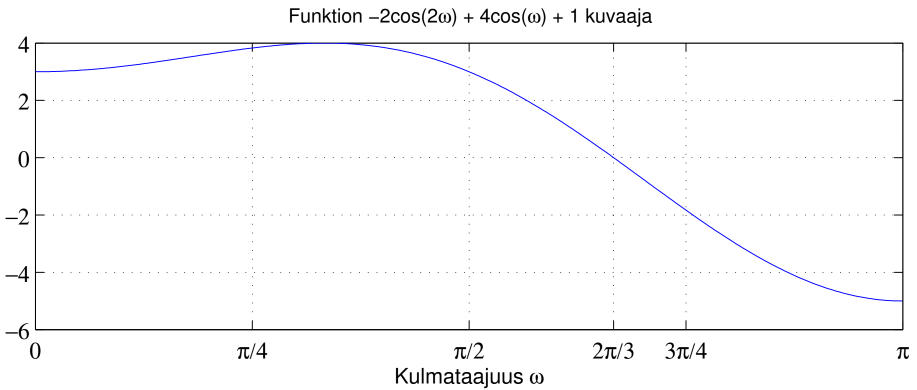
ja taajuusvaste

$$\begin{aligned} H(e^{i\omega}) &= -1 + 2e^{-i\omega} + e^{-2i\omega} + 2e^{-3i\omega} - e^{-4i\omega} \\ &= (-1 - e^{-4i\omega}) + 2(e^{-i\omega} + e^{-3i\omega}) + e^{-2i\omega} \\ &= e^{-2i\omega}\left[(-e^{2i\omega} - e^{-2i\omega}) + 2(e^{i\omega} + e^{-i\omega}) + 1\right] \\ &= e^{-2i\omega}\left[-2\cos(2\omega) + 4\cos(\omega) + 1\right] \end{aligned}$$

- Hakasulkeissa oleva termi on reaalinen, joten koko lausekkeen vaihekulma määräytyy alussa olevan eksponenttilausekkeen $e^{-2i\omega}$ sekä hakasuluissa olevan lausekkeen etumerkin perusteella.

FIR vaihevasteen vaatimukset

- Hakasulkulausekkeen kuvaaja on alla.



FIR vaihevasteen vaatimukset

- Kuvasta nähdään, että lauseke on positiivinen välillä $[0, \frac{2\pi}{3})$ ja negatiivinen välillä $(\frac{2\pi}{3}, \pi]$.
- Näin ollen vaihevasteen lauseke on seuraava:

$$\arg(H(e^{i\omega})) = \begin{cases} -2\omega, \text{ kun } \omega < \frac{2\pi}{3}, \\ -2\omega + \pi, \text{ kun } \omega > \frac{2\pi}{3}. \end{cases}$$

- Lausekkeeseen tulee vakio π kertoimen ollessa negatiivinen, koska $-1 = e^{\pi i}$.
- Ryhmäviive on nyt

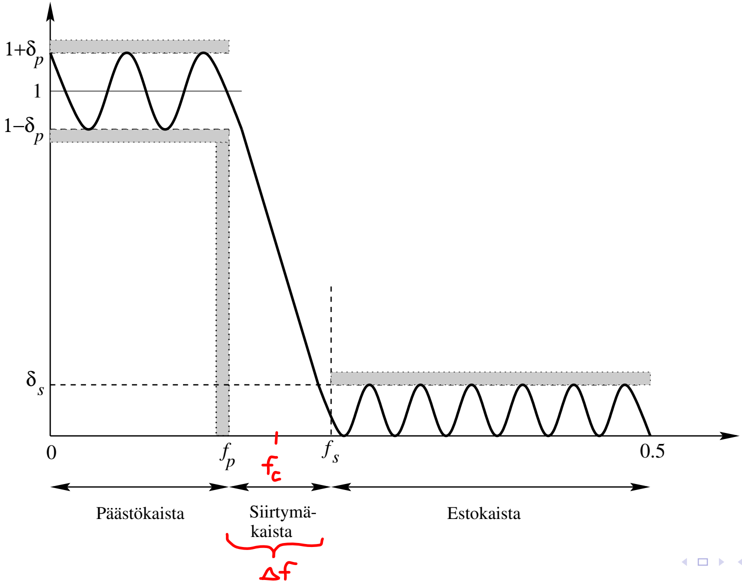
$$\tau(\omega) = -\frac{d}{d\omega} \arg(H(e^{i\omega})) = 2, \text{ kun } \omega \neq \frac{2\pi}{3}.$$

FIR amplitudivasteen vaatimukset

- Amplitudivasteelle vaatimukset kertovat mitkä taajuudet poistetaan ja mitkä säilytetään.
- Nämä esitetään
  - **päästö-,**
  - **esto-** ja
  - **siirtymäkaistan**

  (passband, stopband, transition band) kautta.
- Tarkastellaan oheista kuvaa.

FIR amplitudivasteen vaatimukset



FIR amplitudivasteen vaatimukset

- Kuvassa siis vaaka-akselilla on taajuudet, tässä tapauksessa esitettynä normalisoituina näytteenottotaajuuden suhteen.
- Pystyakseli puolestaan esittää suotimen amplitudivastetta.
- Tässä tapauksessa suodin on määritelty seuraavien parametrien avulla:

δ_p	Päästökaistan maksimipoikkeama,
δ_s	Estokaistan maksimipoikkeama,
f_p	Päästökaistan rajataajuus,
f_s	Estokaistan rajataajuus.

FIR amplitudivasteen vaatimukset

- Päästökaista muodostuu siis tässä tapauksessa taajuuksista, joissa amplitudivaste halutaan lähelle ykköstä ($f \in [0, f_p]$), estokaista taajuuksista, joissa amplitudivaste halutaan lähelle nollaa ($f \in [f_s, 0.5]$) ja siirtymäkaista taajuuksista tällä välillä ($f \in (f_p, f_s)$).
- Päästökaistalla sallitaan, että amplitudivasteen arvot poikkeavat ideaaliarvosta 1 enintään luvun δ_p verran, ja estokaistalla enintään luvun δ_s verran ideaaliarvosta 0.

FIR amplitudivasteen vaatimukset

- Tyypilliset määrittelyt saattaisivat olla esimerkiksi seuraavat:

δ_p	0.026 dB,
δ_s	-30 dB,
f_p	2500 Hz
f_s	3000 Hz
Näytteenottotaajuus	16000 Hz.

- Muuntaminen normalisoiduiksi taajuuksiksi tapahtuu jakamalla taajuudet f_p ja f_s näytteenottotaajuudella. Normalisoituina vaatimukset ovat:

f_p	$2500/16000 = \frac{5}{32}$
f_s	$3000/16000 = \frac{3}{16}$

FIR amplitudivasteen vaatimukset

- Tästä esitysmuodosta päästään edelleen kulmataajuuksiin skaalaamalla lukuarvot välille $[0, 2\pi]$, ts. kertomalla luvulla 2π:

$$\begin{array}{ll} \omega_p & 2\pi \cdot 2500/16000 = \frac{5\pi}{16}\text{ rad} \\ \omega_s & 2\pi \cdot 3000/16000 = \frac{3\pi}{8}\text{ rad} \end{array}$$