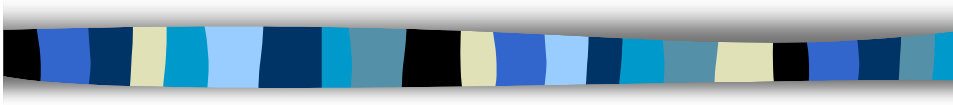


# Dynamiikan hallinta

Lähde: Zölzer. (1997). "Digital audio signal processing". Wiley & Sons.



## Sisältö:

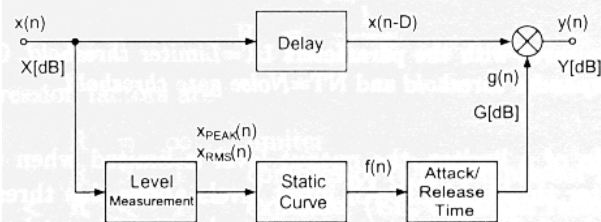
- Johdanto
- Staattinen käyrä
- Ajallinen käyttäytyminen
- Toteutus
- Stereosignaalit

## 1 Johdanto

- Dynamiikan hallinnan sovelluksia
  - **äänittäessä** pyritään saamaan koko amplitudialue optimaalisesti käyttöön signaalin kulkutiellä järjestelmän läpi
    - myös suojaamaan AD-muuntimia ylikuormitukselta
  - kohinaportteja käytetään tukahduttamaan matala-amplitudista kohinaa
    - = vain tietyin tason ylittävät audiosignaalit päästetään läpi
  - **toistettaessa** musiikkia tai puhetta esim. autossa, dynamiikka täytyy sovittaa taustakohinan ominaisuuksiin
    - kuuntelu helpottuu / käy mahdolliseksi

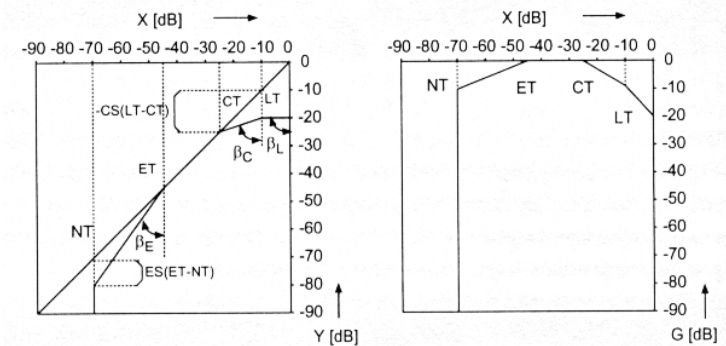
## Johdanto

- Kuva: lohkokaavio dynaamisen alueen hallinnasta
  1. Mitataan sisääntulon taso
  2. Kerrotaan viivästettyä sisääntulosignaalia tekijällä  $g(n)$
$$y(n) = g(n) \cdot x(n - D)$$
- Signaalin  $x(n)$  viivästys säätösignaaliin  $g(n)$  nähden mahdollistaa "ennustavan" tason säädön (vahvistus ehtii laskea ennen pamausta)
- Tasotekijän (gain factor)  $g(n)$  arvo muodostuu kahdessa lohossa
  - staattisesta käyrästä katsotaan sisääntulotasoa vastaava ulostulotaso
  - arvojen  $g(n)$  vaihtelua pehmennetään ajan yli alipäästösuodattamalla



## 2 Staattinen käyrä

- Kuva: suhteen sisääntulon tason ja vahvistuksen tason välillä määräävä staattinen tasokäyrä  $G[\text{dB}] = f(X[\text{dB}])$ 
  - ulostulon taso ja vahvistuksen taso ovat sisääntulotason funktioita
  - kynnyksarvot (thresholds):  $LT$ =limitterin kynnyksarvo,  $CT$ =kompressorin,  $ET$ =ekspanderin,  $NT$ =kohinaportin (noise gate)



## 2.1 Toiminta-alueet

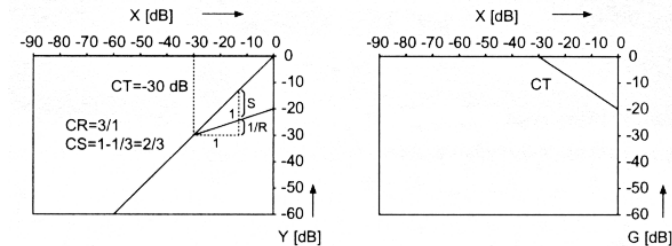
- **Limitteri** rajoittaa ulostulon tasoa, kun sisääntulon taso ylittää kynnyksen  $LT$ 
  - kaikki tasot kynnyksen yläpuolella johtavat vakioulostulotasoon
- **Kompressor** kuvaa *muutoksen* sisääntulotasossa *pienemmäksi muutokseksi* ulostulon tasossa
- **Ekspanderi** kasvattaa sisääntulon muutoksia suuremmiksi muutoksiksi ulostulon tasossa
- **Kohinaporttia** käytetään matalatasoisten signaalien tukahduttamiseen ja kohinan vähentämisen
- Kynnysarvot eri kohdissa staattista käyrää määräävät alarajan limitterille ja kompressorin toiminta-alueelle, sekä ylärajan ekspanderin ja kohinaportin toiminta-alueelle

## 2.2 Kompressiosuhde

- **Kompressiosuhde** voidaan lukea staattisen käyrän logaritmisesta esitysmuodosta: sisääntulon tason muutoksen  $\Delta P_i$  suhde ulostulon tason muutokseen  $\Delta P_o$

$$R = \Delta P_i / \Delta P_o$$

- Tyypillisiä kompressiosuhteita:  $R = \infty$  (limitteri),  $R > 1$  (kompressor),  $0 < R < 1$  (ekspanderi),  $R = 0$  (kohinaportti kynnyksen kohdalla)



## Kompressiosuhde

- Kuvasta: suoran yhtälö  $Y = CT + (1/R) \cdot (X - CT)$  ja kompressiosuhde  $R = (X - CT) / (Y - CT)$ 
  - CT on sisääntulon kynnystaso (dB), josta kompressio alkaa
- Siirtymällä logaritmisesta lineaariseen esitykseen saadaan

$$R = \frac{\log_{10}(x/c_T)}{\log_{10}(y/c_T)}$$

missä  $x$  ja  $y$  ovat lineaariset tasot, ja  $c_T$  on lineaarinen kompressiokynnys

- Tästä voidaan ratkaista lineaarinen ulostulotaso  $y$  sisääntulotason  $x$  funktiona

$$y/c_T = 10^{(1/R) \cdot \log_{10}(x/c_T)} = (x/c_T)^{1/R}$$

$$y = c_T^{1-1/R} \cdot x^{1/R}$$

- Sääteökijä  $g(n)$  saadaan laskettua osamäärästä

$$g(n) = y/x = (x/c_T)^{1/R-1}$$

## 3 Ajallinen käyttäytyminen

- Staattisen käyrän mukaisen tason säädön ohella dynamiikan aikakäyttäytymisellä (*nousu- ja laskuaika*) on merkittävä rooli äänenlaadussa
- Kaksi seikkaa vaikuttaa ajalliseen käyttäytymiseen:
  1. eksplisiittinen nousu- ja laskuaikojen implementointi osaksi dynamiikan säätöä
  2. sisääntulosignaalin tason mittaamisen nopeus PEAK- tai RMS-algoritmeilla vaikuttaa suoraan myös dynamiikan hallinnan nopeuteen kokonaisuutena
- Näistä tarkastellaan ensin jälkimmäistä kohtaa: tason mittaamista, sitten nousu- ja laskuaikojen hallintaa suodattamalla säätötekijän arvoja ajan yli

## Ajallinen käyttäytyminen

### 3.1 Tason mittaaminen

Dynamiikka 9  
DA / Klapuri

- Tason mittaamiseen on kaksi yksinkertaista ja laajalti käytössä olevaa menetelmää, PEAK ja RMS
  - funktionaalisesti keskenään vaihdannaisia (sama tehtävä)
  - kuitenkin PEAK:ia käytetään tyypillisesti limiterissä, RMS:ää taas kompressorissa, ekspanderissa ja kohinaportissa
- Sisääntuloa merkitään  $x(n)$
- PEAK-algoritmi** (tuottaa tasosuureen  $x_{peak}(n)$ ):
  - painokerroin  $AT$  määrää nousuajan (attack time), kerroin  $RT$  laskuajan (release time)
  - 1.  $x_{peak}(n) = (1 - RT) \cdot x_{peak}(n - 1)$
  - 2. if  $|x(n)| > x_{peak}(n)$ :  

$$x_{peak}(n) = x_{peak}(n) + AT \cdot [|x(n)| - x_{peak}(n - 1)]$$
- RMS-algoritmi** (tuottaa tasosuureen  $x_{rms}(n)$ ):
  - sisääntulon neliö, keskiarvotus ensimmäisen asteen alipäästösuotimella
  - kerkiarvotuksen ajallisen pituuden määrää kerroin  $TAV$
  - 1.  $x_{rms}(n) = (1 - TAV) \cdot x_{rms}(n - 1) + TAV \cdot [x(n)]^2$

## Ajallinen käyttäytyminen

### 3.2 Tasotekijän pehmentäminen

Dynamiikka 10  
DA / Klapuri

- Nousu- ja laskuajat voidaan toteuttaa eksplisiittisesti siten, että pehennetään säätötekijän arvojen ajallista vaihtelua
- 1. Verrataan sisääntulon säätötekijää  $f(n)$  sen edelliseen arvoon (säätötekijä on laskettu käyttäen staattista käyrää, merkittiin  $g(n)$  edellä)
  - päätetään, onko säätötekijä nousu- vai laskuvaiheessa
  - palautetaan tämän mukaisesti muuttujalle  $k$  joko arvo  $AT$  tai  $RT$
- 2. Tasotekijän arvo saadaan suodattamalla säätötekijän arvoja ensimmäisen asteen alipäästösuotimella:  

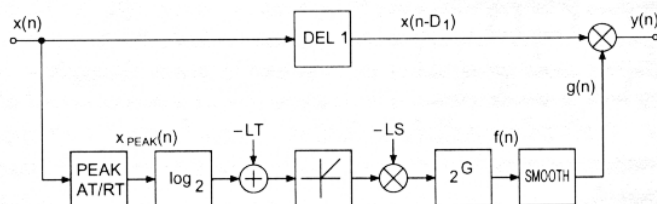
$$g(n) = (1 - k) \cdot g(n - 1) + k \cdot f(n)$$

## 4 Toteutus

### 4.1 Limitteri

Dynamiikka 11  
DA / Klapuri

- Kuva: limiterin lohkokaavio
- 1. sisääntulosignaalista  $x(n)$  mitataan PEAK-algoritilla taso  $x_{peak}(n)$
- 2. arvoa  $\log_2[x_{peak}(n)]$  verrataan limiterin kynnyksarvoon  $LT$
- 3. jos kynnyksarvo ylittyy, eli erotus on positiivinen
  - erotus kerrotaan limiterin negatiivisella kulmakertoimella  $-LS$
  - otetaan käänteinen logaritmi  $2^G$
  - näin saatua säätötekijää  $f(n)$  pehennetään ensimmäisen asteen alipäästösuotimella SMOOTH
- 4. mikäli kynnyksarvo ei ylity, signaali  $f(n)$  asetetaan arvoon 1.
- 5. viivästetty sisääntulo  $x(n - D_1)$  kerrotaan pehennetyllä säätötekijällä  $g(n)$ . Näin saadaan ulostulo  $y(n)$



## Toteutus

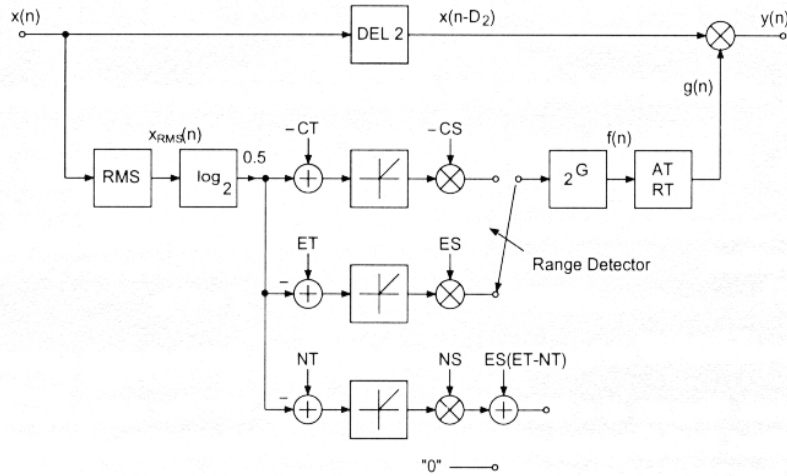
### 4.2 Kompressor, ekspanderi, kohinaportti

Dynamiikka 12  
DA / Klapuri

- Kuva seuraavalla sivulla: kompressorin/ ekspanderin/ kohinaportin lohkokaavio
- Perusrakenne on sama kuin limiterin tapauksessa
- Erona on, että tasosuurena käytetään RMS-pohjaista arvoa  $0.5 \cdot \log_2[x_{rms}(n)]$ 
  - tasoa verrataan kolmeen kynnyksarvoon, jotta saadaan määrättyä staattisen käyrän *toiminta-alue*
  - tästä määräytyy kompressiosuhde, josta voidaan johtaa säätötekijän painotus  $CS / ES / NS$
  - käänteinen logaritmi ja säätötekijän pehmentäminen ensimmäisen asteen alipäästösuotimella

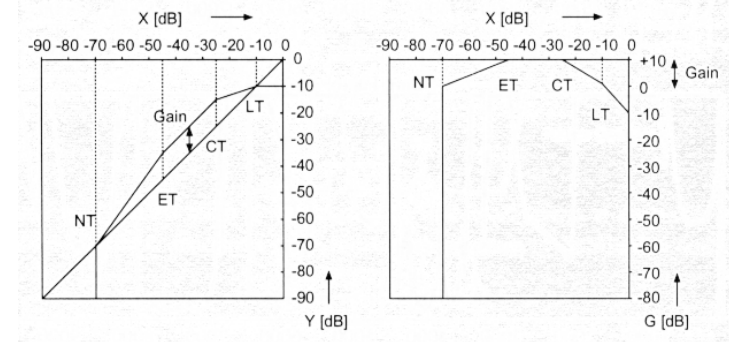
# Kompressor, ekspanderi, kohinaportti

- Kompressorin/ ekspanderin/ kohinaportin lohkokaavio



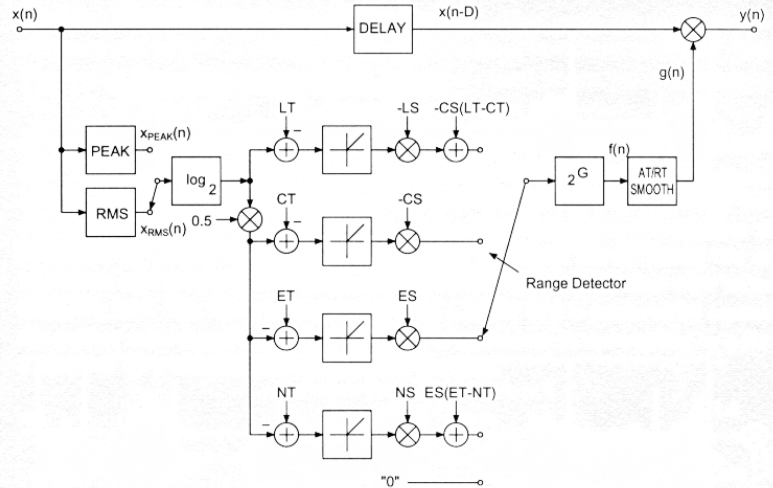
# 4.3 Kokonaisjärjestelmä

- Mitataan yhtäaikaaisesti PEAK- ja RMS-tasot
  - jos limiterin kynnsarvo ylittyy, valitaan limiterin polku
  - muutoin RMS-taso määrää jonkun kolmesta muusta toiminta-alueesta
  - koska maksimitasoa rajoitetaan limiterillä, staattista käyrää kokonaisuudessaan voidaan siirtää ylöspäin vakiovahvistuksella
- Kuva: staattista käyrää on nostettu 10 dB:n verran



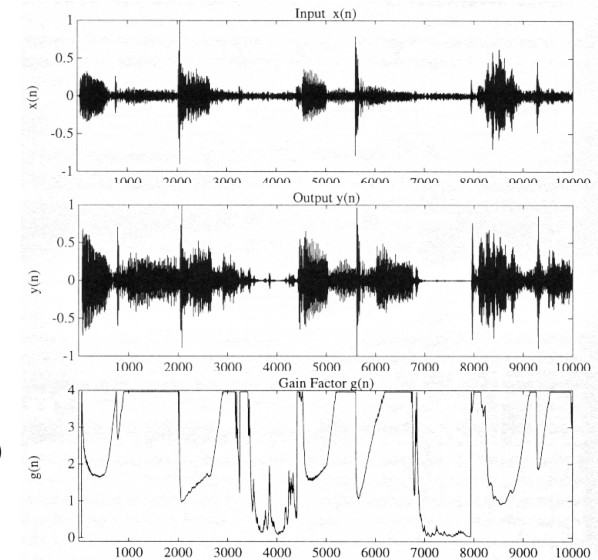
# Kokonaisjärjestelmä

- Limitteri/ kompressor/ ekspanderi/ kohinaportti



# Kokonaisjärjestelmä: esimerkki

- Kuva:
  - sisääntulo  $x(n)$
  - ulostulo  $y(n)$
  - säätötekijä  $g(n)$



## Kokonaisjärjestelmä: esimerkki

- Havaitaan, että korkeilla amplitudeilla järjestelmä kompressoii, ja matalilla amplitudeilla ekspandoi
  - lisäksi saadaan vahvistusta 12 dB (säätötekijän maksimiarvo 4)
  - $g(n) = 4$  : toimitaan *lineaarisella* alueella
  - $1 < g(n) < 4$  : *kompressoidaan*
    - saavutetaan kokonaisuudessaan äänekkäämpi signaali
  - $0 < g(n) < 1$  : *ekspandoidaan*
    - pieniampitudisten signaalien dynaaminen alue laajenee
  - kohinaportin toimintaa ei näy esimerkissä
- Huomaa: säätötekijä todellakin *vaimentaa* myös ekspandoitavaa osaa signaalista (jollei kokonaistason +12 dB vahvistusta huomioida)
  - näin kompressiosuhde  $R = \Delta P_I / \Delta P_O$  saadaan 1:stä suuremmaksi, eli *muutokset* sisääntulossa kuvautuvat suuremmiksi muutoksiksi
  - tämä käy ilmi  $G$  [dB]:n kuvaajasta sivulla 4.3

## 4.4 Laskennallisia näkökohtia

- Tasosignaalien  $x_{\text{peak}}(n)$  ja  $x_{\text{rms}}(n)$  näytteistystaajuutta voidaan huoletta laskea kertoimella neljä
  - koska signaalit ovat luonteeltaan valmiiksi kaistarajoittuneita, voidaan yksinkertaisesti poimia joka neljäs arvo
- Laskenta voidaan lomittaa seuraavasti:
  - tasot PEAK/RMS päivitetään jokaiselle sisääntulonäytteelle
  - seuraavia moduleita suoritetaan vuorotellen joka neljäs jakso:
    - (1) LD(x): logaritmi, (2) CURVE: staattinen käyrä,
    - (3)  $2^x$  : käänteinen logaritmi, (4) SMO : säätötekijän pehennys
  - säätötekijän arvoja interpoloidaan toistamalla kutakin 4 kertaa, ja tekemällä sisääntulosignaalin kertominen (MULT) ulostuloon

## 5 Stereosignaalit

- Stereokanaville tarvitaan yhteinen säätötekijä  $g(n)$ 
  - näin stereotasapaino ei vinoudu
  - sisääntulosignaalin taso mitataan kanavien keskiarvosta
- Kuva: stereon dynamiikan säätö

