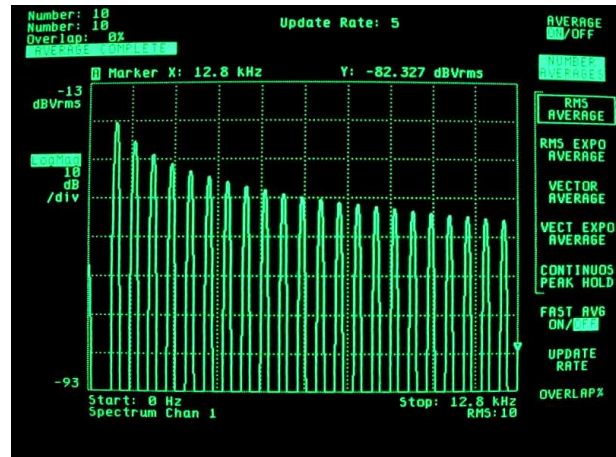
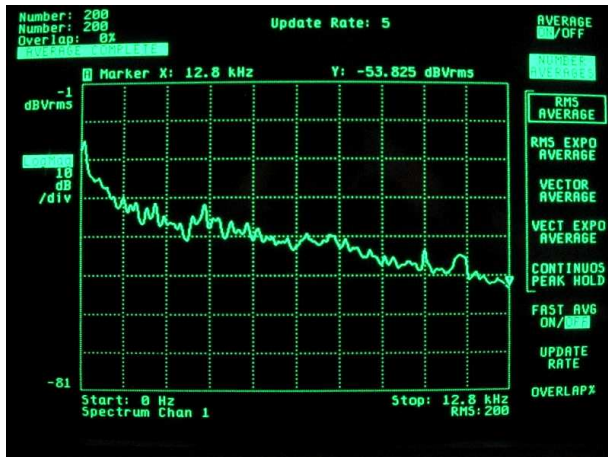


LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI

Teoria ja mittausesimerkkejä

© Kalervo Kuikka



1

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Yleisiä ominaisuuksia

Luonnollinen mittasignaali on äänitaajuuslaitteiden laatumittauksiin tarkoitettu laajakaistainen synkroninen multitone mittasignaali, joka vastaa tajuus- että tehojakaumaltaan mahdollisimman paljon normaalia musiikkia.

Luonnollinen mittasignaali on selvästi jaksollinen signaali, jossa jokaisen signaalikomponentin taajuus ja vaihe on jokaisena hetkenä tarkoin matemaattisesti määritelty ja kiinteässä suhteessa signaalin perustaajuuteen. Tämän ominaisuuden vuoksi karkeita toistovirheitä voidaan helposti tutkia perustaajuuteen trigatulla oskilloskoopillakin. Vähäisempien toistovirheidien tarkasteluun tarvitaan tavallista spektrianalysaattoria.

Luonnollinen mittasignaali on matemaattisesti mahdollisimman luonnollinen ja yksinkertainen, joten mittaustulosten analysointi on helppoa.

2

Luonnollisen mittasignaalin generointi

Luonnollinen mittasignaali generoidaan erittäin yksinkertaisella ja luonnollisella tavalla.

Mittasignaalin ”**äitisignaali**” saadaan summaamalla perustaajuudella olevaan ideaaliseen suorakaideaaltoon vastakkaisvaiheisena täysin särötön perustaajuinen siniaalto, jonka amplitudi on säädetty sellaiseksi, että summaimessa siniaalto kumoo täysin suorakaideaallon perustaajuisen komponentin.

Vastaava lopputulos saadaan myös silloin, kun virheetön suorakaideaalto ajetaan ideaalisen perustaajuudelle viritetyn kaistanestosuodattimen läpi, joka poistaa täydellisesti perustaajuisen komponentin.

3

Luonnollisen mittasignaalin generointi

Suorakaideaalto, jonka tasajännitekomponentti on 0 ja jonka huippuarvo on \hat{U} , voidaan kirjoittaa muotoon:

$$U(t) = \hat{U} \frac{4}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \dots + \frac{1}{n} \sin n\omega t \right)$$

Perustaajuinen siniaalto voidaan ilmaista vastaavasti:

$$U(t) = \hat{U} \sin \omega t$$

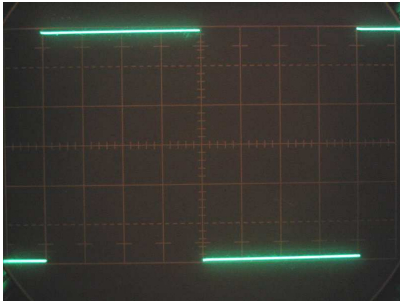
Kun perustaajuiseen suorakaideaaltoon summataan vastakkaisessa vaiheessa oleva perustaajuinen siniaaltokomponentti

$-\hat{U} \frac{4}{\pi} \sin \omega t$ niin tulokseksi saadaan **Luonnollinen mittasignaali**:

$$U(t) = \hat{U} \frac{4}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \dots + \frac{1}{n} \sin n\omega t \right) - \hat{U} \frac{4}{\pi} \sin \omega t =$$

$$\hat{U} \frac{4}{\pi} \left(\frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \dots + \frac{1}{n} \sin n\omega t \right)$$

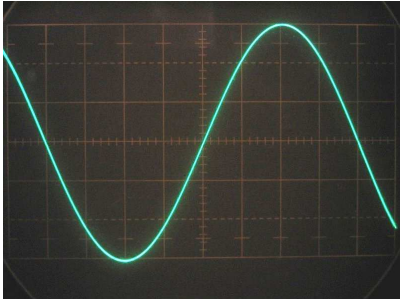
4



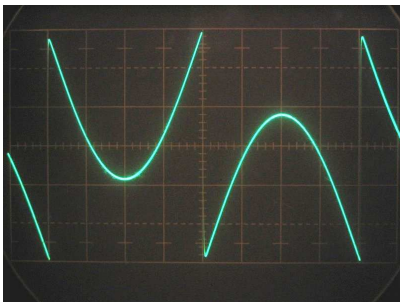
Luonnollisen mittasignaalin generointi

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Kun perustaajuiseen (275 Hz) ideaaliseen suorakaideaaltoon (ylin kuva) summataan vastakkaisessa vaiheessa oleva ja ...



mahdollisimman särötön perustaajuinen (275 Hz) siniaalto (keskimmäinen kuva) sellaisella tasolla, että summasignaalin perustaajuinen komponentti menee nolaksi, niin silloin saadaan tulokseksi ...



Luonnollinen mittasignaali (alin valokuva), joka on erittäin tehokas mittasignaali äänitaajuuslaitteiden testauksessa. Kuvassa on pelkkä **äitisignaali**.

5

Perustaajuuden valinta

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Luonnollisen mittasignaalin perustaajuus voidaan valita vapaasti käyttötarkoituksen mukaisesti. Tässä tapauksessa perustaajuus (suorakaideaalto) on valittu sillä perusteella, että spektri laskee suuremmilla taajuuksilla suunnilleen samassa tahdissa kuin normaalin musiikin spektri. Valinnassa on myös huomioitu se, että perustaajuus ei ole sähköverkon taajuuden (50/60 Hz) harmoninen, jotta vahvistinlaitteiden verkkotasasuuntaajista tulevat häiriöt eivät häiritsisi mittauksia.. **Näillä perusteilla päädyin kokeiluissani taajuuteen 275 Hz.**

Testeissä käyttämäni taajuus soveltuu erittäin hyvin tavallisten vahvistinlaitteiden keskikorkeiden ja korkeiden äänien toiston testaamiseen, mutta bassoalueen tutkiminen näin korkealla perustaajuudella ei onnistu.

Bassoalueen toistoa tutkittaessa perustaajuus pitäisi valita hyvin pieneksi. **Jos perustaajuus olisi luokkaa 20 – 30 Hz, niin tällainen Luonnollinen mittasignaali näyttäisi varmasti erittäin selvästi kaikki jakosuotimien (basso/keskikorkeat) aiheuttamat kulkuaikevirheet.** Testejä bassoalueen Luonnollisella mittasignaalinalla ei ole suoritettu.

6

Äiti- ja tytärsignaalit

Pelkkä **äitisignaalin** on varsin hyvä mittasignaali, mutta **Luonnollisen mittasignaalin** ominaisuuksia voidaan vielä parantaa summaamalla **äitisignaaliin tytärsignaaleja** eli perustaajuutta suuremmalla taajuudella olevia signaaleja.

Tytärsignaalien summaamisessa on huomioitava, että summasignaalin huippuarvo ei suurene liikaa. Summauseriaattena on se, että tytärsignaalien amplitudi on aina 0 äitisignaalin ollessa huippuarvossaan.

7

Äiti- ja tytärsignaalit

”Hyväkäyttöksiset” **tytärsignaalit** saadaan helposti moduloimalla perustaajuuteen vaihelukittu taajuus ($\sin m \omega t$, $m > 4$) **äitisignaalin** muodostamisessa käytetyllä perustaajuisella siniaallolla ($\sin \omega t$), jolloin modulaatitulosena saadaan **tytärsignaalit**. Jos modulaattorissa käytetty kantoaalto on siniaaltoa, niin muodostuu vain kaksi **tytärsignaalia** seuraavasti:

$$\sin m\omega t \cdot \sin \omega t = \frac{1}{2} \cos (m-1)\omega t - \frac{1}{2} \cos (m+1)\omega t$$

Tytärsignaalit muodostuvat siis perustaajuuden verran kantoallon ylä- ja alapuolelle.

8

Äiti- ja tytärsignaalit

Tytärsignaalit voidaan muodostaa myös käyttämällä kantoaaltona suorakaideaaltoa, jolloin **tytärsignaaleita** muodostuu enemmän, koska kantoaalto on siniaaltoa monimutkaisempi.

Kantoaalto on muotoa: $\left(\sin m\omega t + \frac{1}{3} \sin 3m\omega t + \frac{1}{5} \sin 5m\omega t + \dots + \frac{1}{n} \sin nm\omega t \right)$
 Moduloiva taajuus: $\sin \omega t$

Tytärsignaalit muodostuvat nyt seuraavasti:

$$\begin{aligned} & \left(\sin m\omega t + \frac{1}{3} \sin 3m\omega t + \frac{1}{5} \sin 5m\omega t + \dots + \frac{1}{n} \sin nm\omega t \right) \cdot \sin \omega t = \\ & \left(\frac{1}{2} \cos(m-1)\omega t - \frac{1}{2} \cos(m+1)\omega t \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{1}{2} \cos(3m-1)\omega t - \frac{1}{2} \cos(3m+1)\omega t \right) + \\ & \frac{1}{5} \left(\frac{1}{2} \cos(5m-1)\omega t - \frac{1}{2} \cos(5m+1)\omega t \right) + \dots + \frac{1}{n} \left(\frac{1}{2} \cos(nm-1)\omega t - \frac{1}{2} \cos(nm+1)\omega t \right) \end{aligned}$$

9

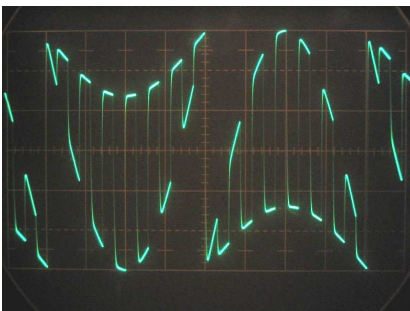
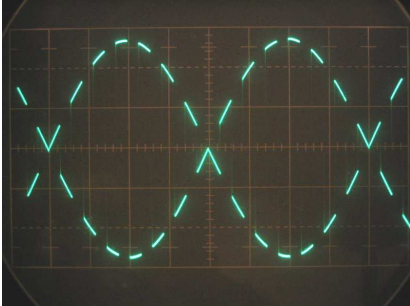
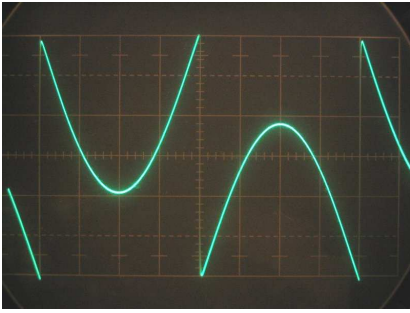
Äiti- ja tytärsignaalit

Suorakaideaallon käyttäminen kantoaaltona **tytärsignaalien** muodostamisessa on edullista, sillä signaalista tulee silloin laajakaistaisempi, ja sillä **näkee silloin helpommin suurilla taajuuksilla olevat kulkuvaikavirheet.**

Tytärsignaalien summa on **äitisignaalin** huippukohdassa aina 0 riippumatta kertoimesta m , koska toinen tulontekijä ($\sin \omega t$) = 0. Tytärsignaalien lisääminen ei siten nosta signaalin huippuarvoa äitisignaalin huippujen kohdalla.

Tytärsignaalien lisäämisellä **Luonnollisen mittasignaalin** voidaan mittaustehoa lisätä halutulle taajuusalueelle, ja samalla **signaalin crest factor saadaan pienemmäksi.**

10



Äiti- ja tytärsignaalit

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Luonnollisen mittasignaalin äitisingaali (ylin kuva) saadaan, kun suorakaideaallosta poistetaan sen perustaajuinen komponentti. Pelkän äitisingaalin **crest factor on vain 2.3**, sillä jännite oleilee pitkiä aikoja nollan läheisyydessä.

Keskimmäisessä kuvassa on moduloimalla saadut **tytärsignaalit**. Tässä tapauksessa kantaaltona on ollut perustaajuuteen vaihelukittu suorakaideaalto

Kun äitisingaaliin summataan **tytärsignaalit** (alin valokuva), niin signaalin ”monttukohtiin” saadaan lisää tehoa. Kun summauksessa tytärsignaalien taso säädetään sellaiseksi, että summasignaali saavuttaa äitisingaalin huippujen tason, niin **signaalin crest factor pienenee arvoon 1.51**.

11

Pyyhkäisevät tytärsignaalit

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Koska tytärsignaalien muodostamisessa tarvittava kantaalto ei tarvitse olla vaihelukittu perustaajuuteen, niin tämä tekee mahdolliseksi käyttää myös pyyhkäisevää kantaaltoa.

Tällöin **Luonnollisessa mittasignaali** on **äitisingaalin** lisäksi kaksi pyyhkäisevää **tytärsignaalia**, joiden taajuusero on joka hetki $2 \times$ perustaajuus. Tytärsignaalien toisen kertaluvun intermodulaatitulos osuu taajuudelle $2 \times$ perustaajuus ihan riippumatta siitä, millä taajuudella tytärsignaalit ovat.

Mitattava kohde voidaan siis ohjata täyteen dynamiikkaan äitisingaaliilla, ja siltikin signaaliin voidaan vielä lisätä pyyhkäisevät tytärsignaalit ilman pelkoa yliohjautumisesta. Samanaikaisesti voidaan mitata pyyhkäisevien tytärsignaalien keskinäinen intermodulaatitulos taajuudelta $2 \times$ perustaajuus.

12

Ylivertaiset ominaisuudet

Luonnollisella mittasignaalilla on moniin perinteisiin mittasignaaleihin verrattuna monia ylivertaisia ominaisuuksia:

Spektri ja tehojakauma vastaa normaalia musiikkia, mutta signaali on kuitenkin selkeästi jaksollinen, joka helpottaa suuresti mittaustulosten analysointia. Pelkällä oskilloskoopillakin näkee pikaisesti karkeat toistovirheet laajalla taajuusalueella.

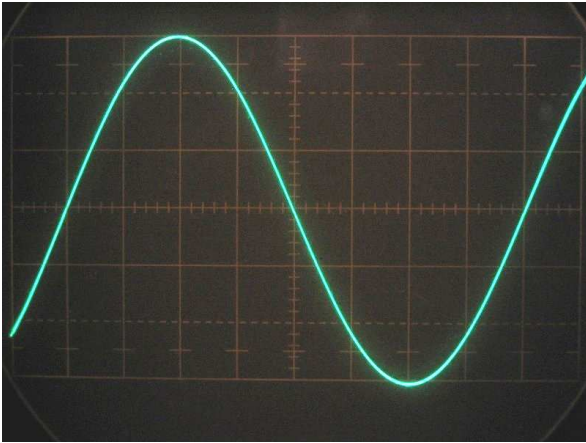
Luonnollisen mittasignaalin alimman taajuuskomponentin ($3 \cdot f$) alapuolelle jää vapaata tilaa (taajuudet f ja $2 \cdot f$) intermodulaatiotuloksille. Toisen kertaluvun intermodulaatiotulokset muodostuvat perustaajuuden parillisten harmonisten kohdalle, joten ne osuvat mittasignaalin omien parittomien taajuuskomponenttien väliin myös suuremmilla taajuuksilla.

Ylivertaiset ominaisuudet

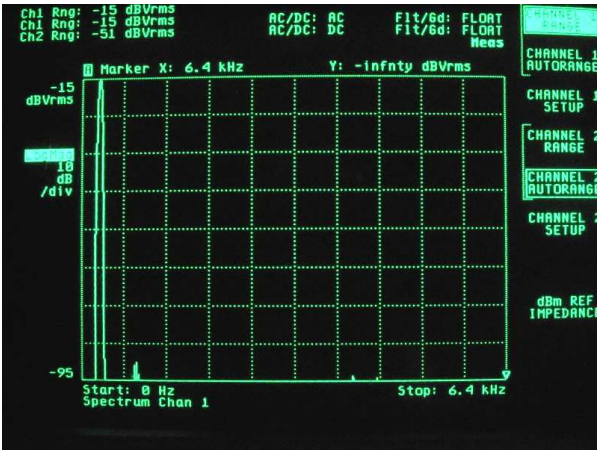
Tytärsignaaleilla voidaan lisätä mittaustehoa halutuilla perustaajutta suuremmilla taajuuksilla. **Tytärsignaalien generoinnissa käytetyn kantoaallon ei tarvitse olla perustaajuuteen vaihelukittu**, mutta monessa tapauksessa vaihelukitus on kuitenkin järkevää. Jos vaihelukitusta ei ole, niin oskilloskoopissa tytärsignaalien kuva ei pysy paikallaan.

Luonnollinen mittasignaali ilmaisee erittäin herkästi kulkuaikevirheet. Jos kaikki ”palikat” eivät ole oikeassa järjestyksessä, niin aaltomuoto vääristyy herkästi.

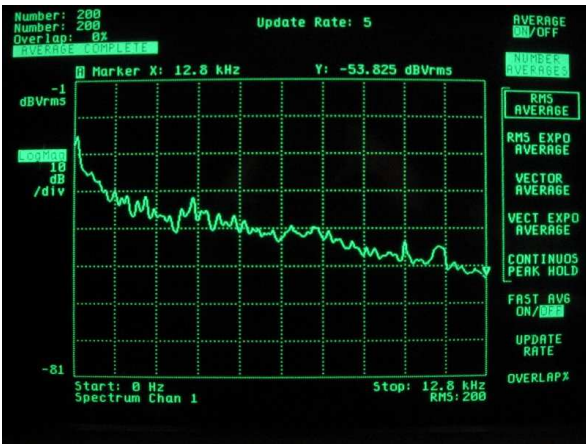
Luonnollisen mittasignaalin generointi on helppoa.



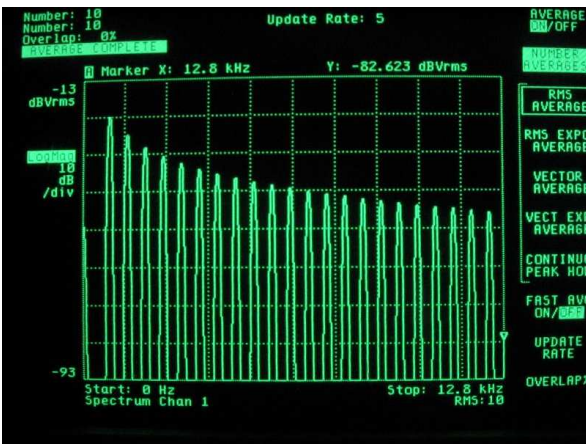
Perustaajuinen siniaalto $f = 275 \text{ Hz}$



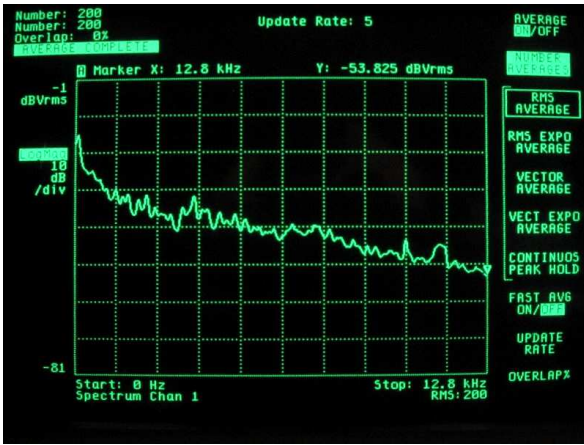
Siniaallon spektri
Span = 6.4 KHz



Normaalin musiikin spektri.
Mittaustulos on 200 mittauksen keskimääräistetty tulos.
Span = 12.8 KHz Y = 10 dB/div

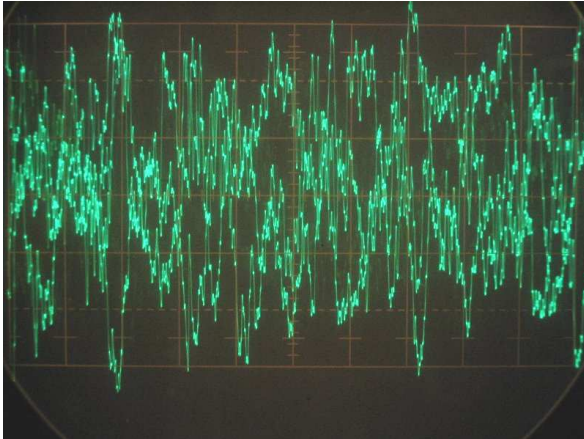


Luonnollisen mittasignaalin spektri (perustaajuus = 275 Hz)
Perustaajuus on poistettu, joten alin taajuus signaalissa on $3 \cdot 275 = 825 \text{ Hz}$
Span = 12.8 KHz Y = 10 dB/div

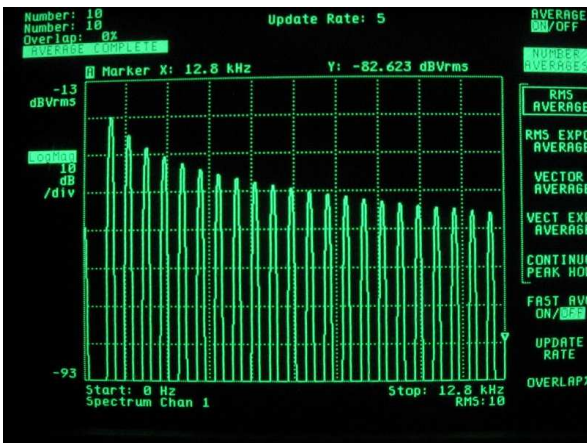


Normaalin musiikin spektri. 200 mittauksen keskimääräistetty tulos.

Span = 12.8 KHz Y = 10 dB/div



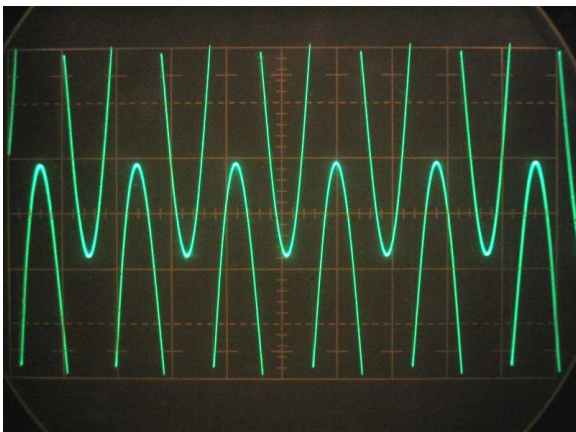
Oskilloskooppikuva musiikkisignaalista. Musiikin satunnaisuuteen vuoksi selvää jaksollisuutta kuvasta ei voi nähdä.



Luonnollisen mittasignaalin spektri

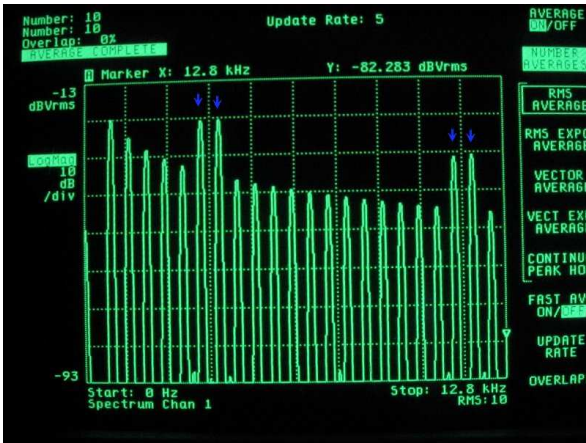
Spektri on puhdas, sillä kaikkien spektrikomponenttien amplitudit ja vaiheet ovat aina täysin määrättyjä eivätkä ne vaihtelevat satunnaisesti

Span = 12.8 KHz Y = 10 dB/div



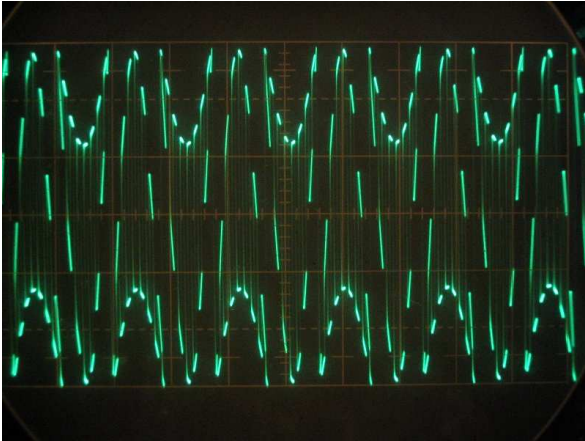
Luonnollisen mittasignaalin oskilloskooppikuva

Kuvasta näkyy selvästi, miten perustaajuisen (275 Hz) suorakaideaallon perustajainen komponentti kokonaan puuttuu. Tässä kuvassa signaalin nousuaikaa on rajoitettu ($t_r = 5.3 \mu s$), ja siksi signaali on hieman kallistunut.



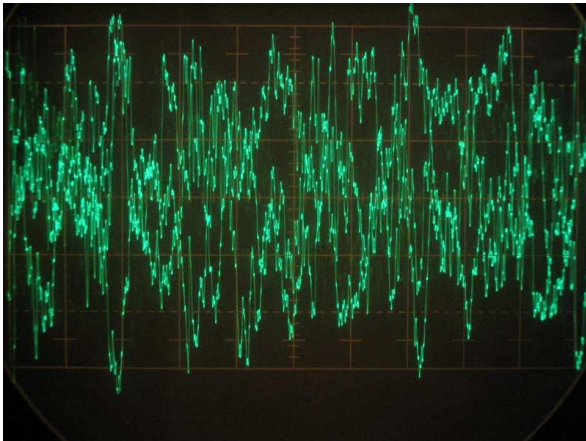
Luonnollisen mittasignaalin ”äitisignaaliin” on lisätty ”tytärsignaali”. Perustaajuudella (275 Hz) moduloitu $14 \cdot 275$ Hz:n signaali (suorakaideaalto), muodostaa tytärsignaali ttaajuuksille $(14 \cdot 275 - 275)$ Hz ja $(14 \cdot 275 + 275)$ Hz. Koska kantaalta on suorakaideaalto, niin tytärsignaaleja muodostuu myös korkeammille taajuuksille. Kuvassa näkyy myös taajuuksilla $(3 \cdot 14 \cdot 275 - 275)$ Hz ja $(3 \cdot 14 \cdot 275 + 275)$ Hz. Tytärsignaaliit merkitty sinisillä nuolilla.

Span = 12.8 KHz Y = 10 dB/div

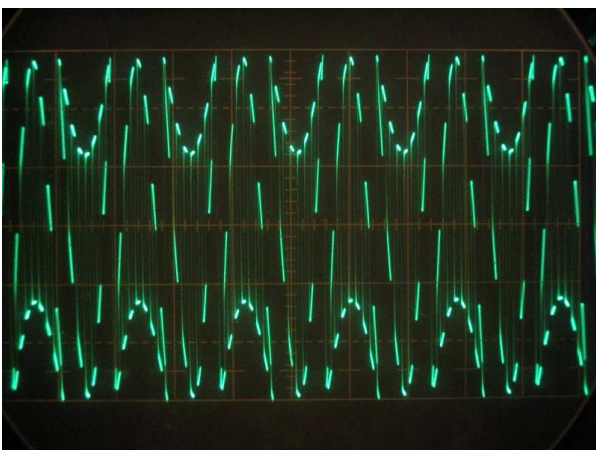


Oskilloskooppikuva tytärsignaalilla vahvistetusta äitisignaalista. Kuva muistuttaa paljon enemmän normaalia musiikkia kuin pelkkä äitisignaali, vaikka signaali onkin aivan selvästi jaksollinen.

19



Oskilloskooppikuva musiikkisignaalista



Oskilloskooppikuva tytärsignaalilla vahvistetusta Luonnollisesta mittasignaalista. Tämä signaali muistuttaa jo melkoisesti tavallista musiikkia, mutta satunnainen luonne kuitenkin puuttuu.

20

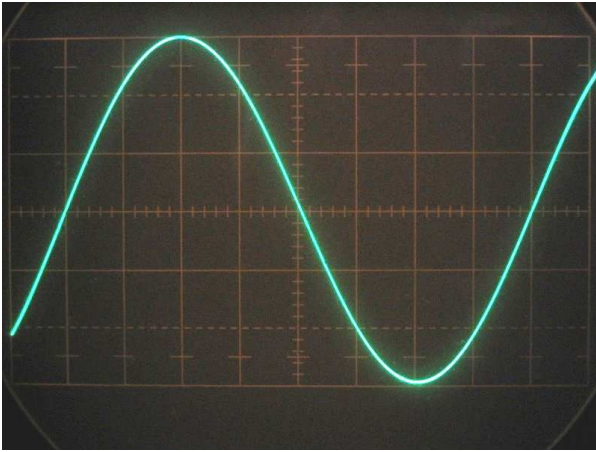
Luonnollisen mittasignaalin käyttäytymistä tutkittiin erilaisia särötyyppejä muodostavan testikytkennän avulla. Mittaus suoritettiin siten, että säädettiin ensin siniaallon ja **Luonnollisen mittasignaalin** huippuarvot täysin yhtäsuuriksi, ja sen jälkeen säädettiin testauskytkennän säröksi 1 % siniaallolla.

Tämän jälkeen piiriin kytkettiin pelkkä **äitisingnaali** ja erilaisilla tytärsignaaleilla varustettu **Luonnollinen mittasignaali**, ja mitattiin näiden signaalien säröytyminen. Kaikista säröytyneistä signaaleista otettiin sekä oskilloskooppi- että spektrianalysaattorikuvat.

Mittauskuvissa **tytärsignaalit** on merkitty sinisellä ja särötulokset punaisella nuolella.

Kaikkiin särömittauksessa otettuihin valokuviin on merkitty mittauksessa käytetyt mittasignaalit seuraavalla tavalla:

- | | |
|----------------------|--|
| sine275 | 275 Hz:n perustaajuus eli puhdas siniaalto |
| natural | Luonnollisen mittasignaalin äitisingnaali |
| natural_13_15 | Luonnollinen mittasignaali, jossa mukana myös 13- ja 15-kertaisella perustaajuudella olevat tytärsignaalit |
| natural_14_16 | Luonnollinen mittasignaali, jossa mukana myös 14- ja 16-kertaisella perustaajuudella olevat tytärsignaalit |



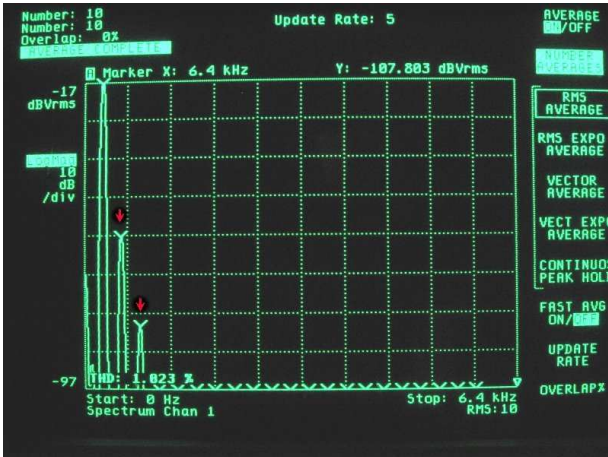
Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Neliöllinen särö 1 %

Signaali: **Sine275**

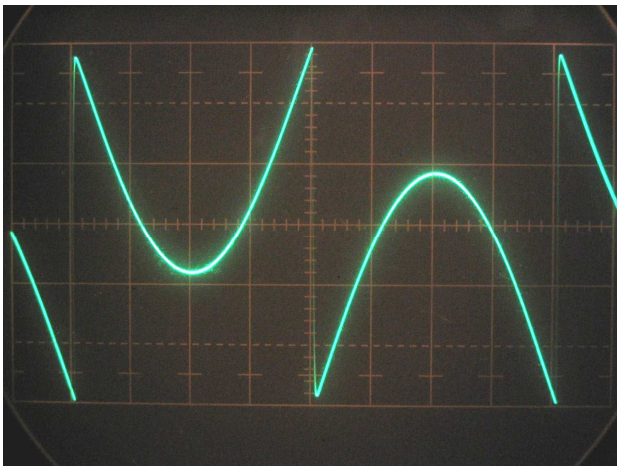
Näin pientä säröä ei oskilloskooppi-
kuvassa huomaa



Spektrikuvasta näkyy, että perustaajuuden toinen harmoninen 550 Hz on yli 20 dB vahvempi kuin kolmas harmoninen 825 Hz. Särökomponentin merkitty punaisella nuolella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

23



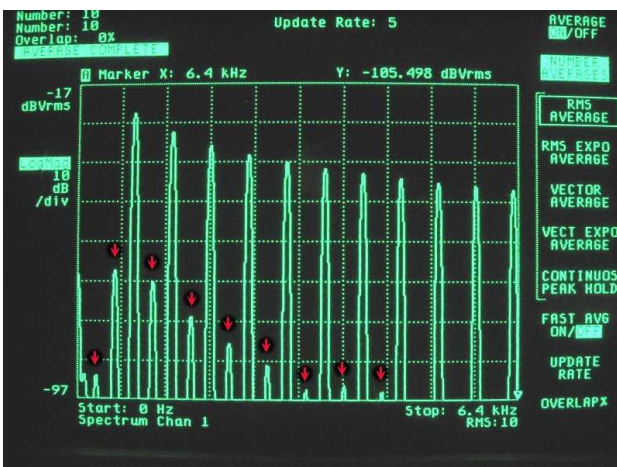
Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Neliöllinen särö 1%

Signaali: **Natural**

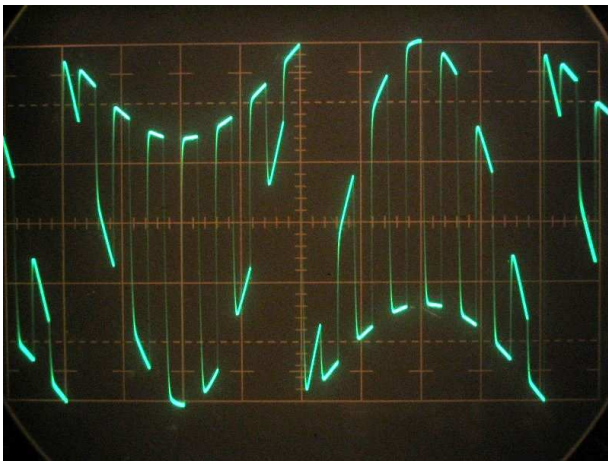
Näin pientä virhettä ei myöskään
Luonnollisesen mittasignaalin kuvassa
huomaa



Perustaajuutta (275 Hz) muodostuu hieman, mutta perustaajuuden parillisia harmonisia (550 Hz, 1100 Hz, 1650Hz ...) huomattavasti enemmän. Särökomponentit merkitty punaisella nuolella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

24



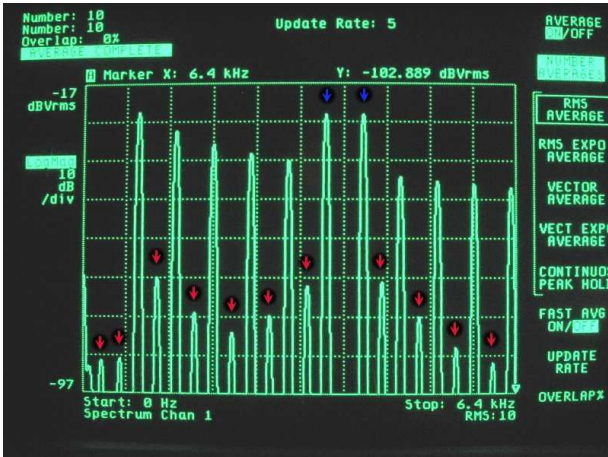
Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Neliöllinen särö 1%

Signaali: [Natural_13_15](#)

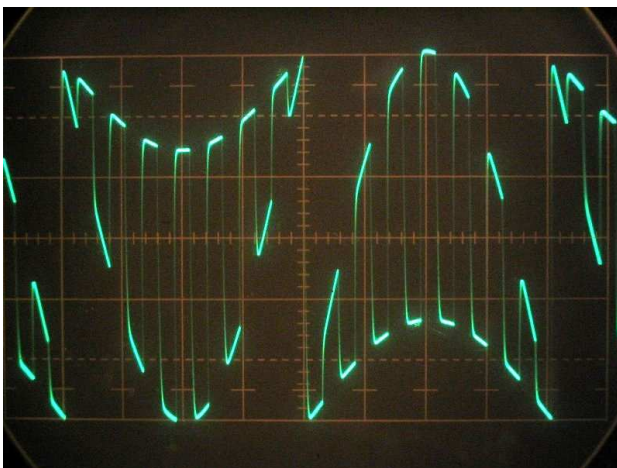
Oskilloskooppikuvasta ei näe näin pientä virhettä.



Tytärsignaalit merkitty sinisellä. Tytärsignaalien ympärille syntyy runsaasti intermodulaatiotuloksia. Särökomponentit merkitty punaisella nuolella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

25



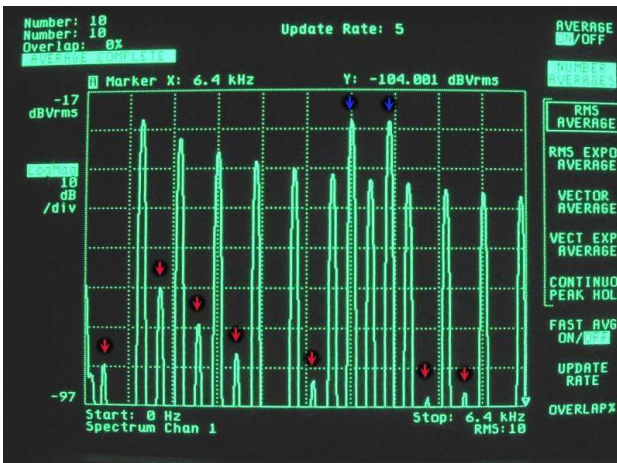
Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Neliöllinen särö 1%

Signaali: [Natural_14_16](#)

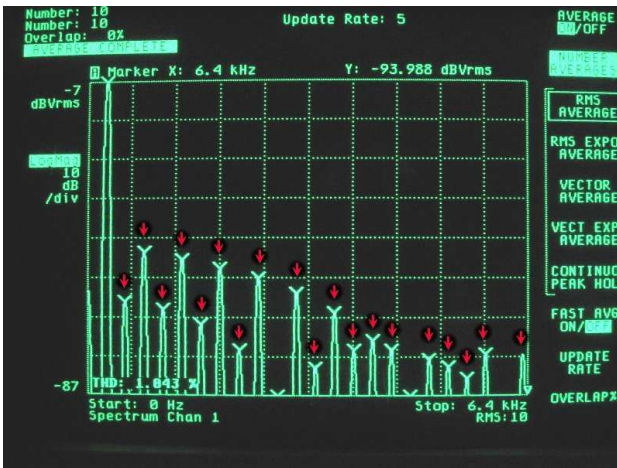
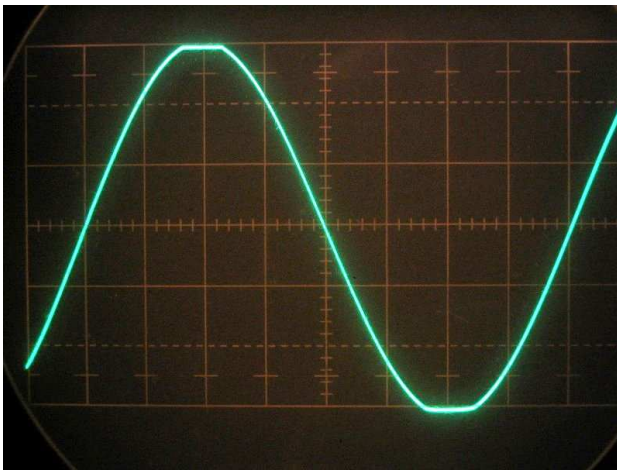
Oskilloskooppikuvasta ei näe näin pientä virhettä.



Tytärsignaalit merkitty kuvaan sinisellä nuolella. Tytärsignaalien lisääminen vaimentanut voimakkaan 550 Hz:n särökomponentin, joka esiintyi pelkällä äitisignaalilla. Särötulokset merkitty punaisella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

26



Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Leikkautumissärö 1%
(molemminpuolinen)

Signaali: **Sine275**

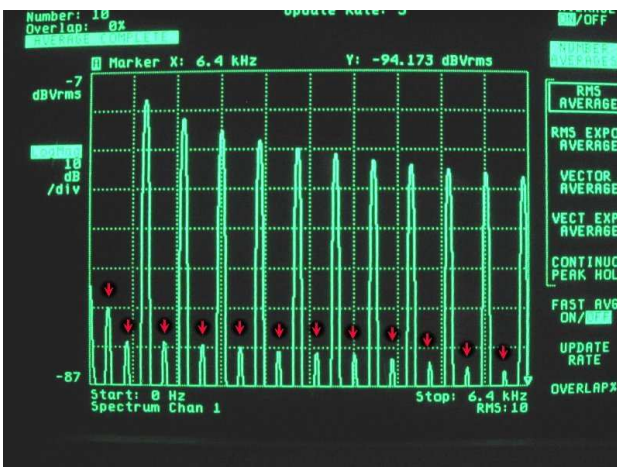
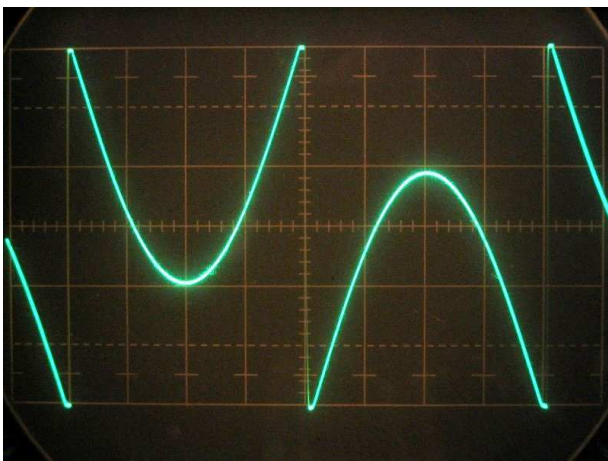
Oskilloskooppikuvasta näkee helposti molempien huippujen leikkautumisen.

Spektrikuvasta näkee selvästi, että molempien huippujen leikkautuminen aiheuttaa enemmän parittomia kuin parillisia harmonisia. Jos leikkautuminen olisi aivan symmetristä, niin parilliset harmoniset menisivät olemattomiin.

Särökomponentit merkitty punaisella nuolella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

27



Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Leikkautumissärö 1%
(molemminpuolinen)

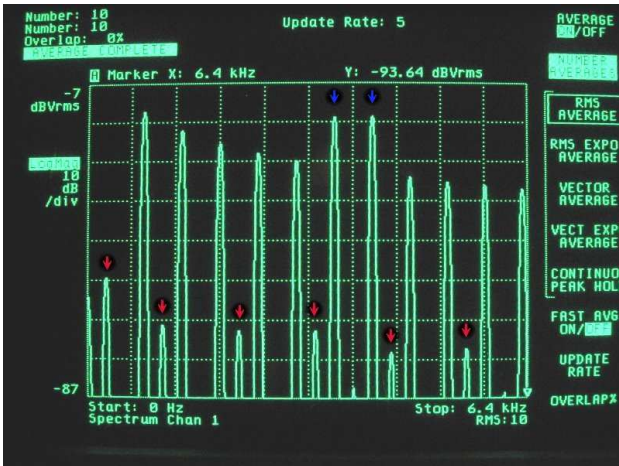
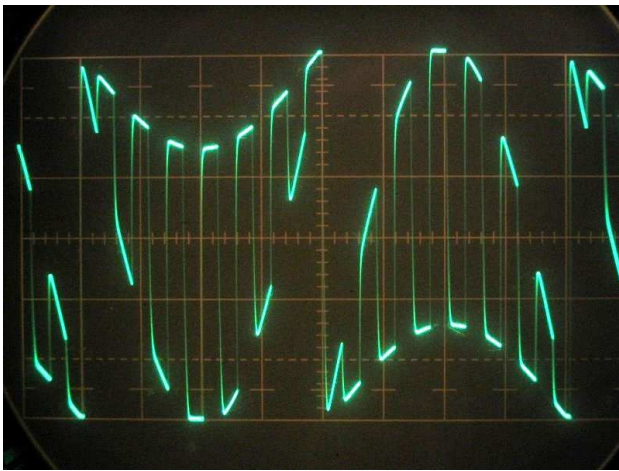
Signaali: **Natural**

Oskilloskooppikuvasta näkee helposti Luonnollisen mittasignaalin (pelkkä äätisignaali) huippujen leikkautumisen.

Spektrikuvasta näkyy, että leikkautuminen saa aikaan hyvin paljon heikkoja särökomponentteja. Särökomponentit merkitty punaisella nuolella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

28



Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Leikkautumissärö 1%
(molemminpuolinen)

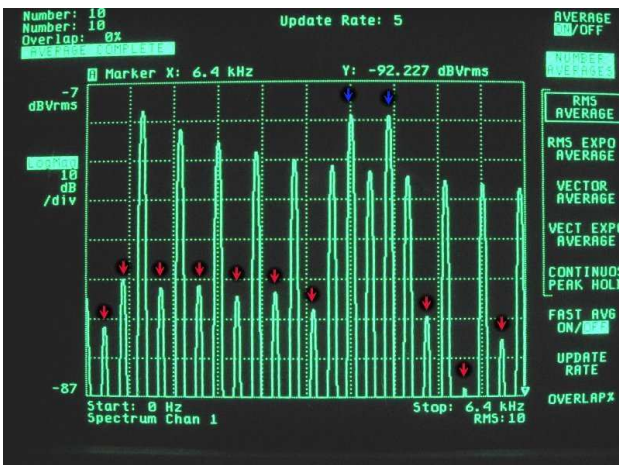
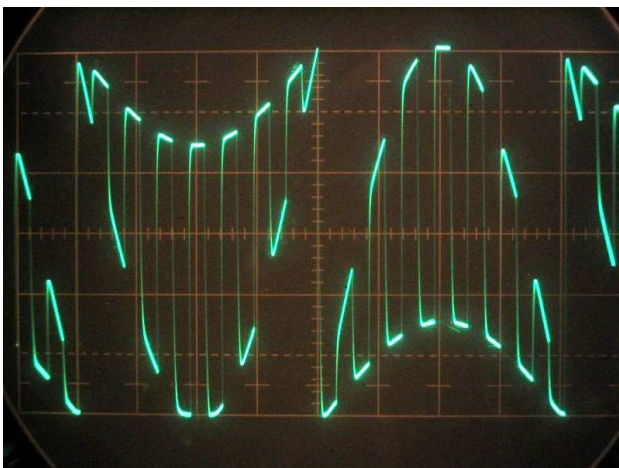
Signaali: [Natural_13_15](#)

Oskilloskooppikuvasta näkee helposti [Luonnollisen mittasignaalin](#) huippujen leikkautumisen.

Tytärsignaalit merkitty sinisellä nuolella. Voimakkain intermodulaatio-tulos on perustaaajuudella 275 Hz. Särökomponentit merkitty punaisella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

29



Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Leikkautumissärö 1%
(molemminpuolinen)

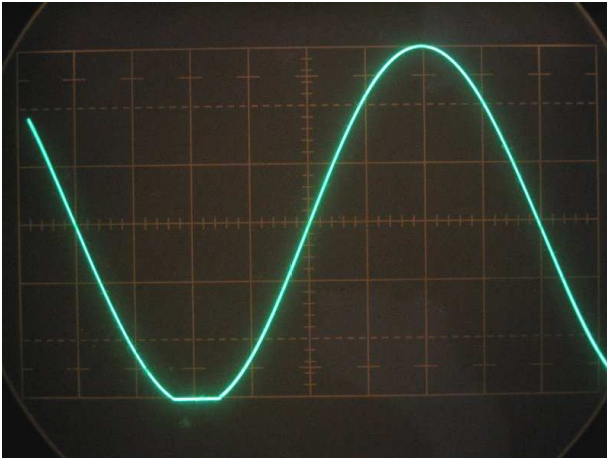
Signaali: [Natural_14_16](#)

Oskilloskooppikuvasta näkee helposti [Luonnollisen mittasignaalin](#) huippujen leikkautumisen.

Tytärsignaali on merkitty sinisellä nuolella. Tytärsignaalien lisääminen lisää suuresti intermodulaatiotuloksia. Särökomponentit merkitty punaisella nuolella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

30



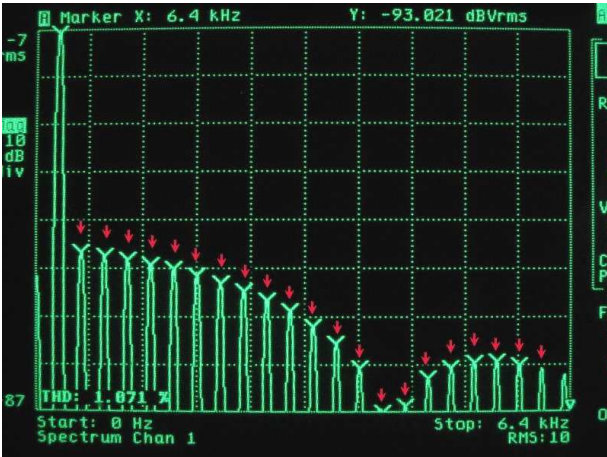
Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Leikkautumissärö 1% (toispuolinen)

Signaali: **Sine275**

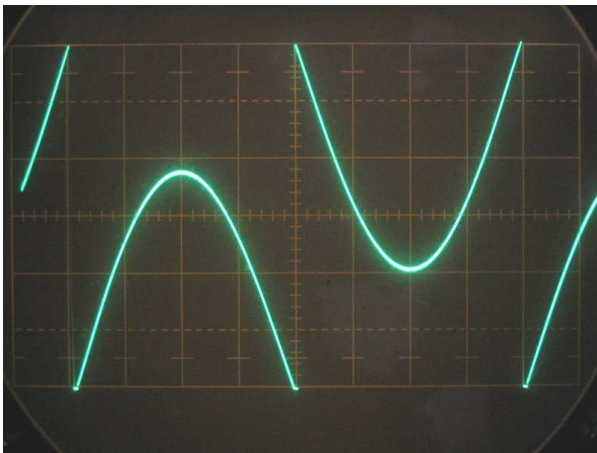
Oskilloskooppikuvassa leikkautuminen on helposti nähtävissä.



Spektrikuvasta näkyy, että sekä parillisia että parittomia särökomponenttejä syntyy runsaasti. Särökomponentit merkitty punaisella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

31



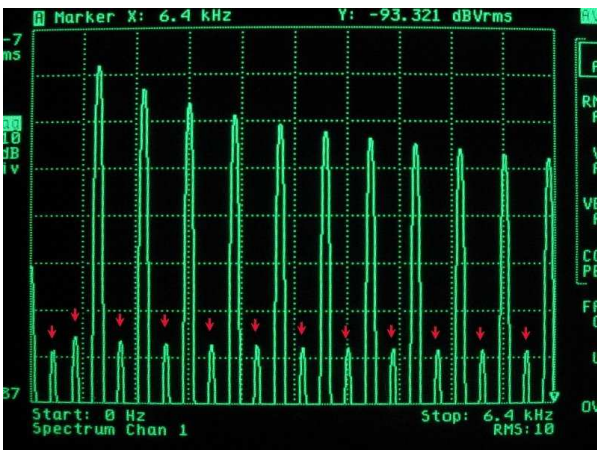
Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Leikkautumissärö 1% (toispuolinen)

Signaali: **Natural**

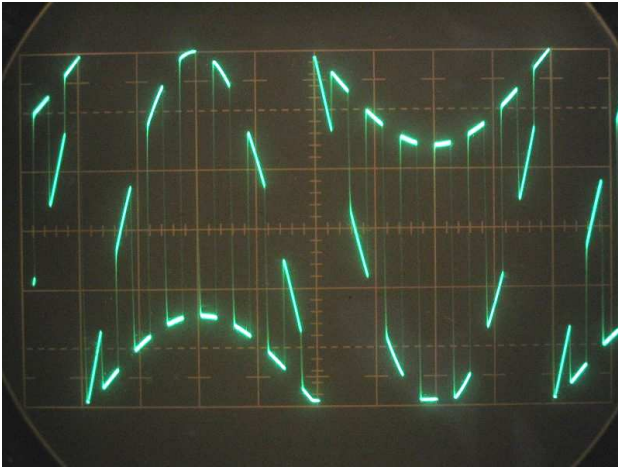
Oskilloskooppikuvasta näkyy, että **Luonnollisen mittasignaalin** negatiiviset huiput ovat leikkaantuneet.



Spektrikuvasta nähdään, että terävien huippujen leikkaantuminen aiheuttaa intermodulaatiotuloksia laajalle taajuusalueelle. Särökomponentit merkitty punaisella nuolella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

32



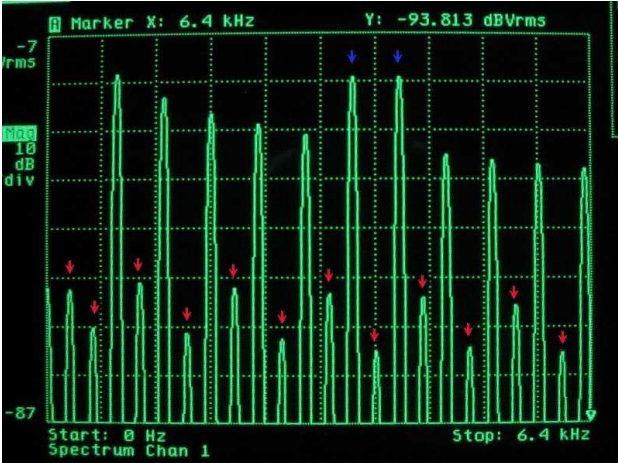
Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Leikkautumissärö 1% (toispuolinen)

Signaali: [Natural_13_15](#)

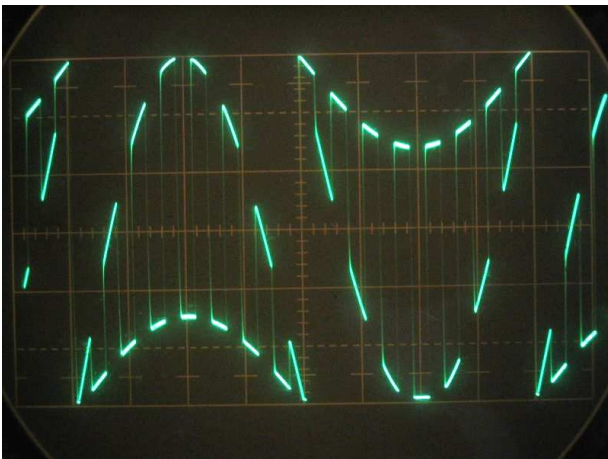
Oskilloskooppikuvassa negatiivisten huippujen lievä leikkautuminen on selvästi nähtävissä.



Spektrikuvasta nähdään, että tytärsignaalien lisääminen lisää intermodulaatiotuloksia. Tytärsignaalit on merkitty sinisellä. Särökomponentit on merkitty punaisella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

33



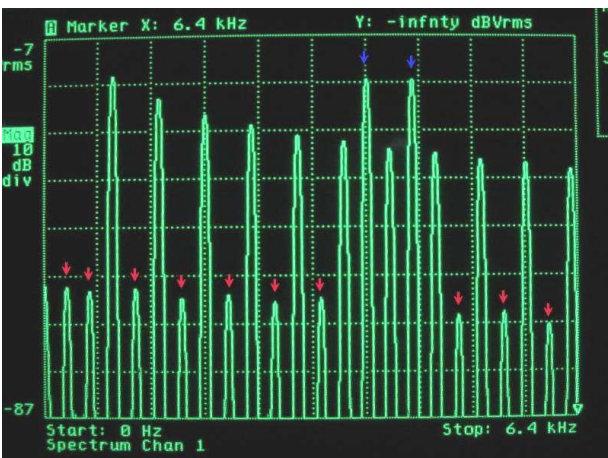
Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Leikkautumissärö 1% (toispuolinen)

Signaali: [Natural_14_16](#)

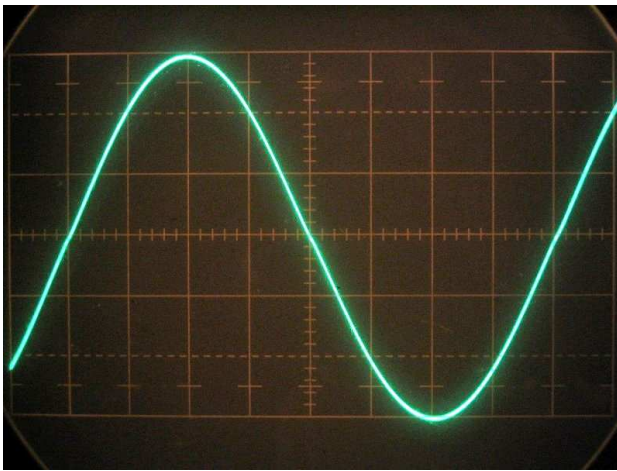
Oskilloskooppikuvasta negatiivisten huippujen leikkautuminen on selvästi nähtävissä.



Spektrikuvasta nähdään, että tytärsignaalit (merkitty sinisellä) aiheuttavat intermodulaatiotuloksia hyvin laajalle taajuusalueelle. Särökomponentit merkitty punaisella nuolella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

34



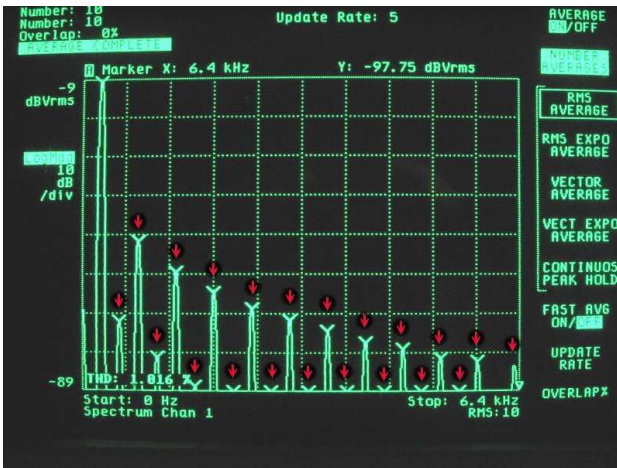
Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Ylimenosärö 1%

Signaali: Sine275

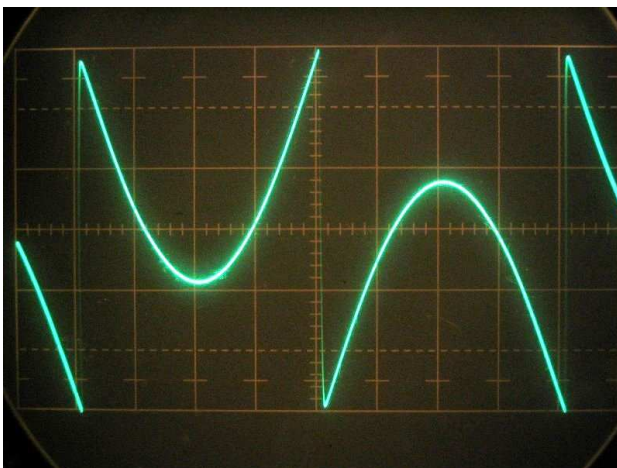
Oskilloskooppikuvasta ylimenosärö on juuri ja juuri huomattavissa.



Spektrikuvasta nähdään, että ylimenosärö muodostaa pääasiassa parittomia harmonisia. Särökomponentit merkitty punaisella nuolella.

Span = 6.4 KHz Y = 10dB/div

35



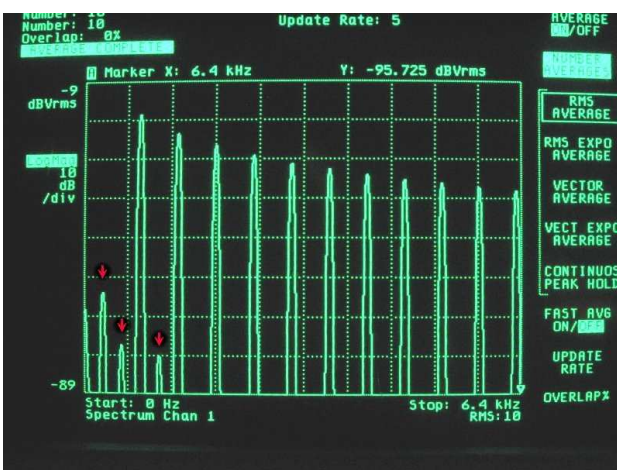
Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Ylimenosärö 1%

Signaali: Natural

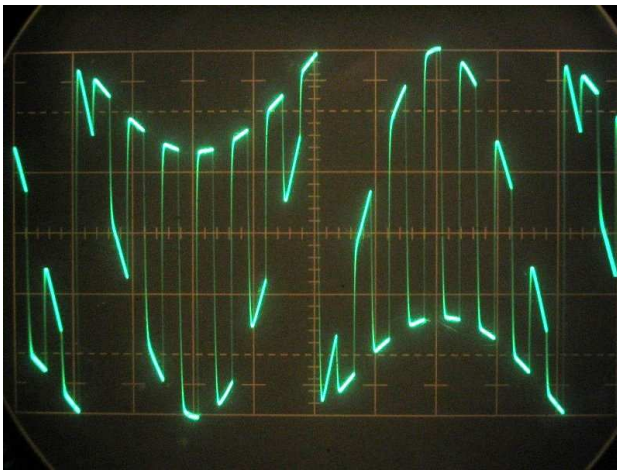
Oskilloskooppikuvasta Luonnollisen mittasignaalin (pelkkä äitisignaali) säröytymistä ei juuri huomaa.



Spektrikuvasta nähdään, että voimakkein särökomponentti muodostuu perustaajuujelle 275 Hz. Särökomponentit merkitty punaisella nuolella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

36



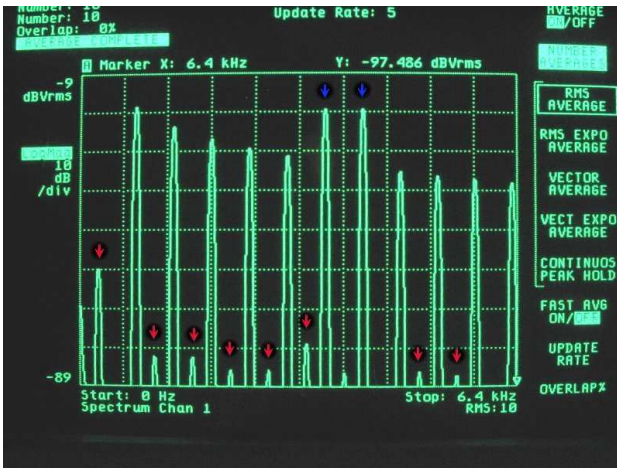
Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Ylimenosärö 1%

Signaali: [Natural_13_15](#)

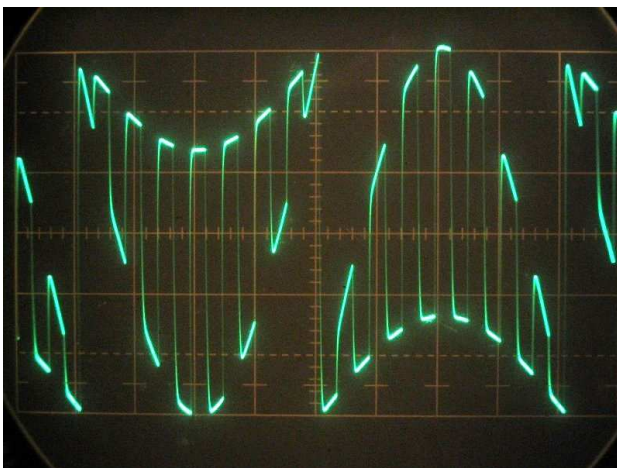
Oskilloskooppikuvasta tytärsignaaleilla vahvistetun Luonnollisen mittasignaalin säröytymistä ei huomaa.



Tytärsignaalit merkitty sinisellä. Tytärsignaalien lisääminen vahvistaa perustaajuudelle 275 Hz syntyvää särökomponenttia. Särökomponentit merkitty punaisella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

37



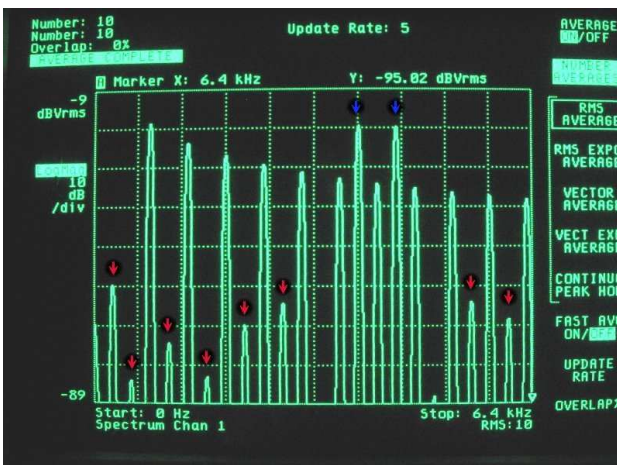
Särömittauksia

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Ylimenosärö 1%

Signaali: [Natural_14_16](#)

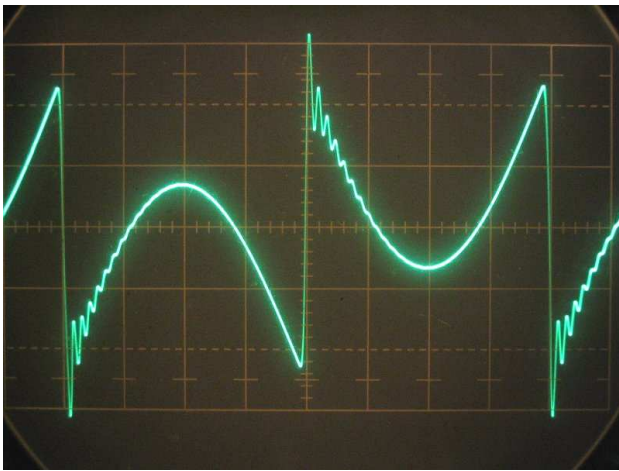
Oskilloskooppikuvasta tytärsignaaleilla vahvistetun Luonnollisen mittasignaalin säröytymistä ei huomaa.



Tytärsignaalit merkitty sinisellä. Särökomponentit merkitty punaisella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

38

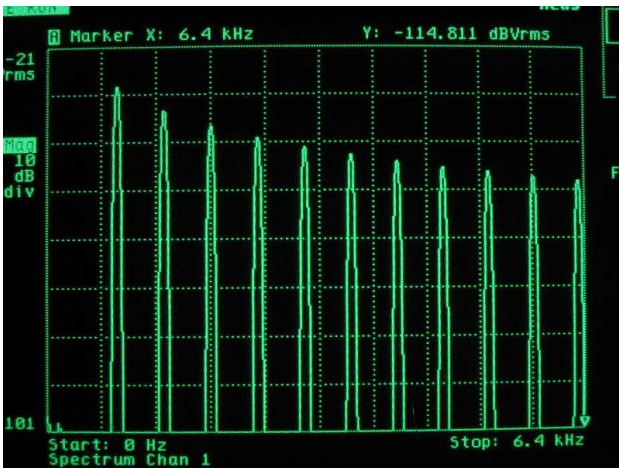


LPF 16 KHz

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Signaali: **Natural**

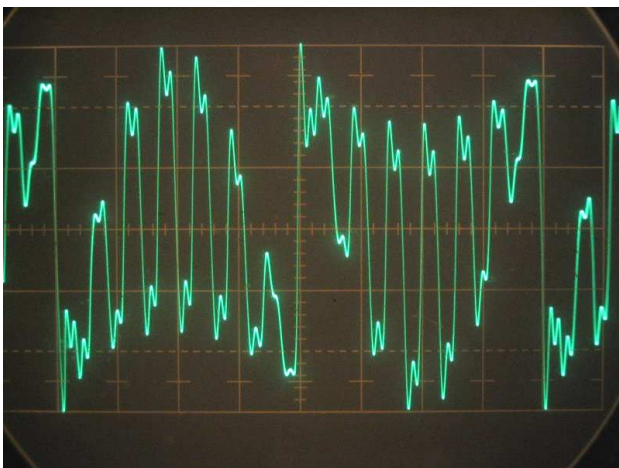
Koska **Luonnollinen mittasignaali** on laajakaistainen, niin 16 KHz:n passiivinen jyrkkä alipäästösuodin vääristää pelkkää **äitisignaaliakin**. Vääristyminen johtuu siitä, että yli 16 KHz:n taajuudet eivät pääse suotimen läpi, ja jyrkkä suodin aiheuttaa kulkuvaikavirheen.



Spektrikuvassa ei näy mitään erityistä, sillä passiivinen suodin ei voi aiheuttaa epälineaarista säröä.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

39

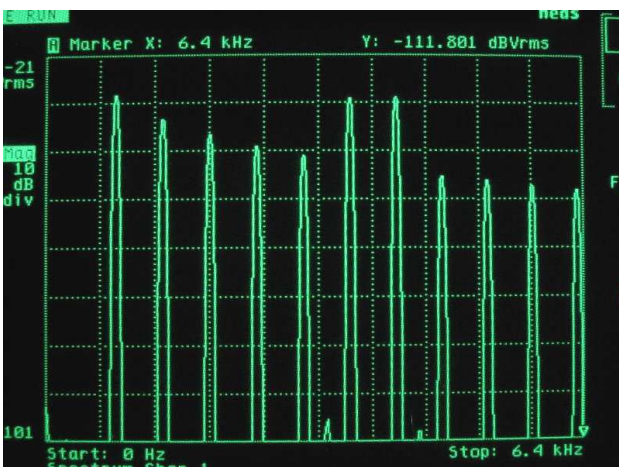


LPF 16 KHz

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Signaali: **Natural_13_15**

Tytärsignaalien lisääminen tekee vääristymän vieläkin helpommin havaittavaksi, koska suuret taajuudet eivät pääse suotimen läpi.



Spektrikuva kertoo, että mitään intermodulaatiotuloksia ei synny, vaikka oskilloskoopikuva onkin aika "kiharainen".

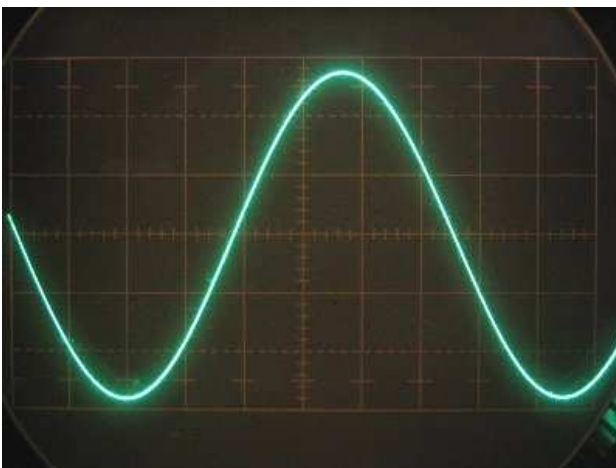
Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

40

Luonnollisen mittasignaalin käyttäytyminen digitaalisessa tallennuksessa ja MP3-pakkauksessa

Testi suoritettiin siten, että tallennettiin signaalit **sine275**, **natural** ja **natural_13_15** **44.1 KHz**:n näytteenottotaajudella tietokoneen kovalevyille. Pakkaamattomat **WAV**-tiedostot konvertoitiin **192 Kbps**, **128 Kbps** ja **96 Kbps MP3**-tiedostoiksi, ja tutkittiin sitten oskilloskoopilla sekä spektrianalysaattorilla digitaalisessa tallennuksessa ja pakkauksessa **Luonnolliseen mittasignaaliin** syntyneitä vääristymiä.

41

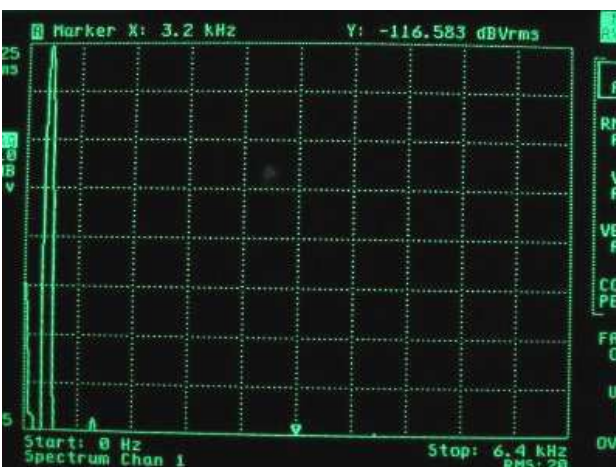


Tallennus ja pakkaus

44.1 KHz:n näytteenottotaajudella tallennettu pakkaamaton **WAV**-tiedosto

Signaali: **Sine275**

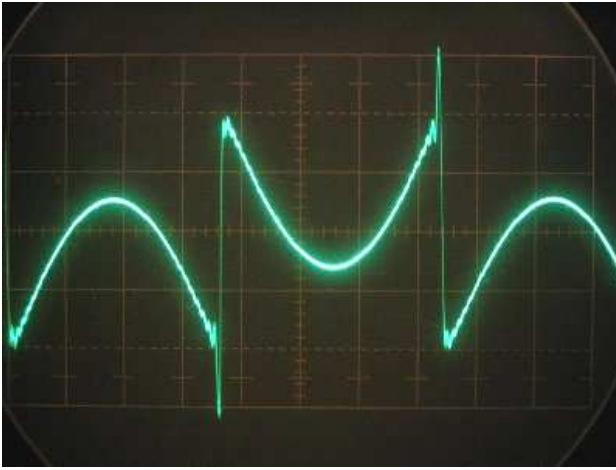
Perustaajuinen siniaalto toistuu täysin virheettömänä



Spektrikuvakin on yhtä puhdas kuin generaattorista saatava signaali

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

42



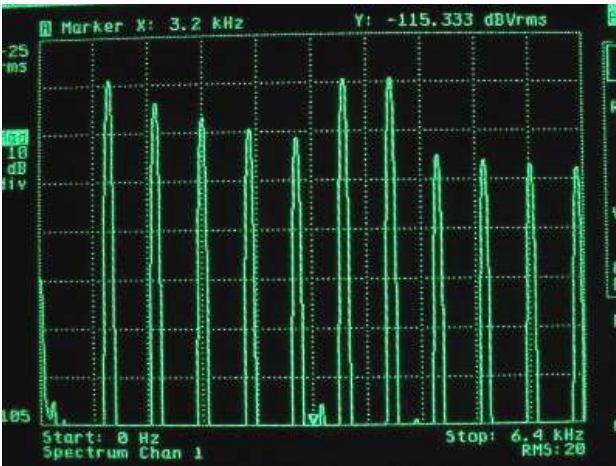
Tallennus ja pakkaus

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

44.1 KHz:n näytteenottotaajuudella tallennettu pakkaamaton WAV-tiedosto

Signaali: **Natural**

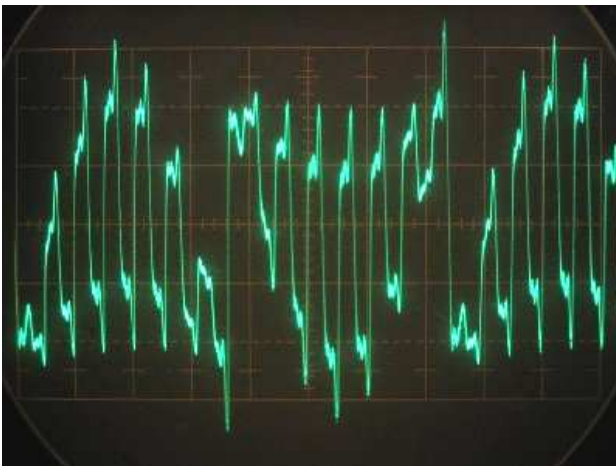
Luonnollisen mittasignaalin äätisignaali toistuu puhtaasti, mutta rajoitetusta kaistasta (näytteenottotaajuus) johtuen signaaliin syntyy piikkejä



Äätisignaalin spektrikuva on yhtä puhdas kuin generaattorista saatava signaali. Digitaalinen tallennus ei siis aiheuta mittasignaalille mitään ongelmia.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

43



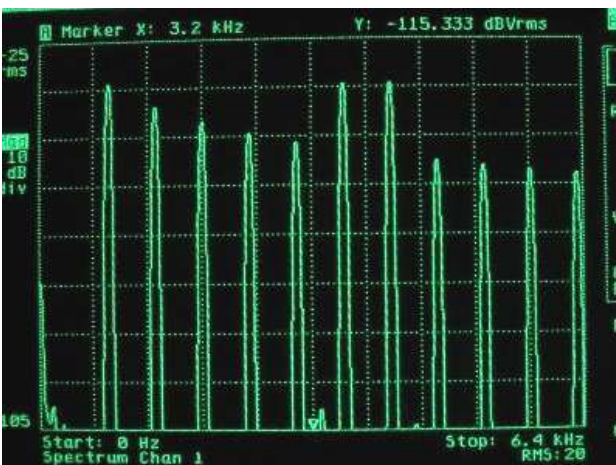
Tallennus ja pakkaus

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

44.1 KHz:n näytteenottotaajuudella tallennettu pakkaamaton WAV-tiedosto

Signaali: **Natural_13_15**

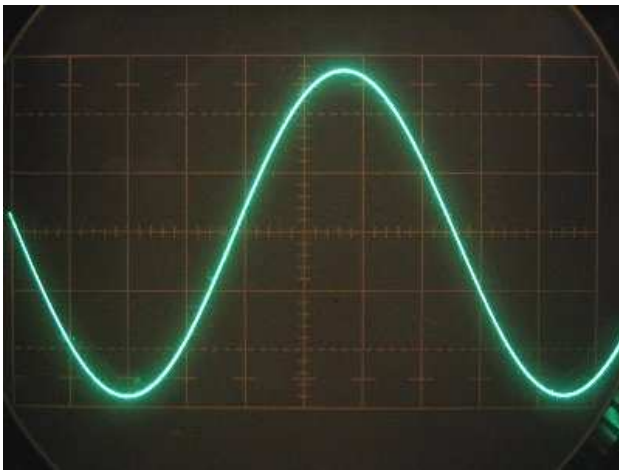
Luonnollinen mittasignaali piikittyä reilusti rajoitetun kaistan vuoksi, mutta muita toistovirheitä ei ole.



Spektrikuva on täysin puhdas, joten signaali ei vääristy tallennuksessa.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

44



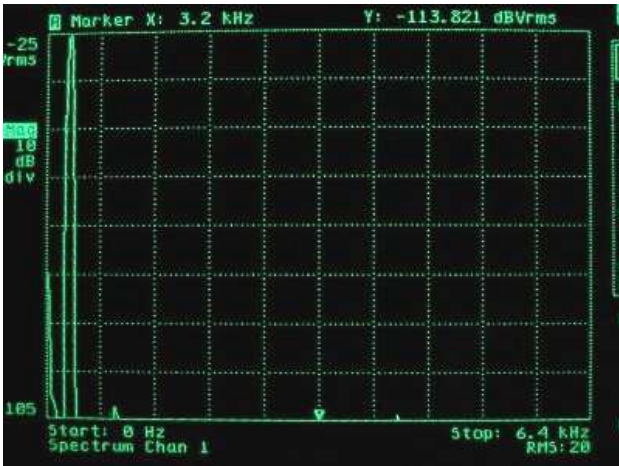
Tallennus ja pakkaus

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

192 Kbps nopeuteen konvertoitu MP3-tiedosto

Signaali: [Sine275](#)

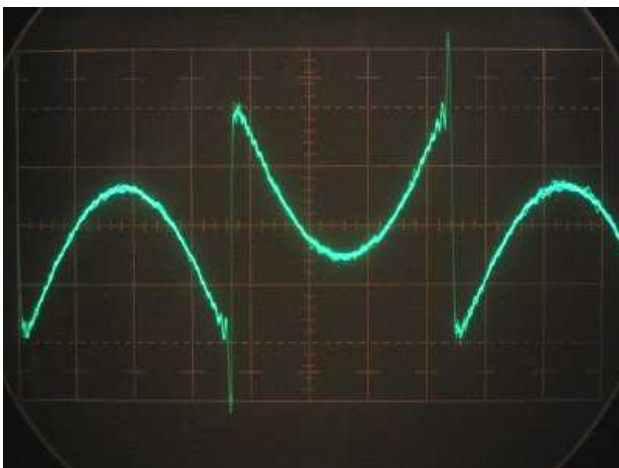
Pakkaaminen ei huononna lainkaan perustaajuisen siniaallon laatua. Signaali on aivan yhtä puhdas kuin suoraan generaattorista saatu signaali



Perustaajuisen siniaallon Spektrikuvakin on aivan yhtä puhdas kuin generaattorin signaali.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

45



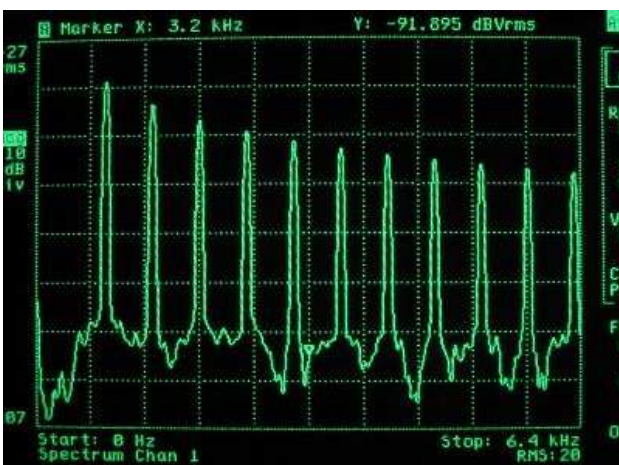
Tallennus ja pakkaus

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

192 Kbps nopeuteen konvertoitu MP3-tiedosto

Signaali: [Natural](#)

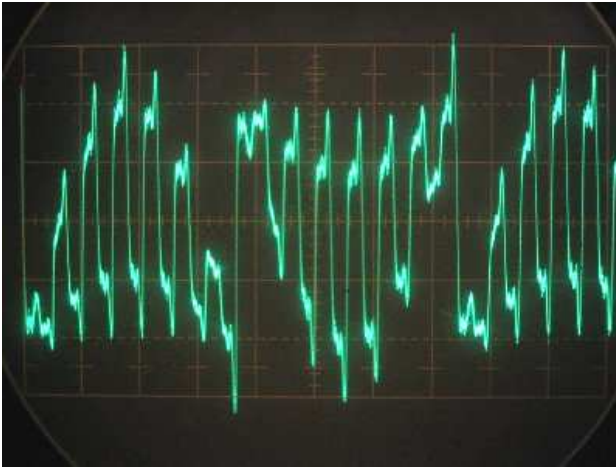
Luonnollisen mittasignaalin äätisignaali kärsii pakkauksesta. Oskilloskooppi-kuvassa äätisignaalinä näkyy selvää kohinaa.



Spektrikuvassa näkyy pahoja toistovirheitä. Signaali on mennyt suttuiseksi, ja koko toistokaistalla on voimakas pohjakohina. Kuva on 30 mittauksen keskimääräistetty tulos.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

46



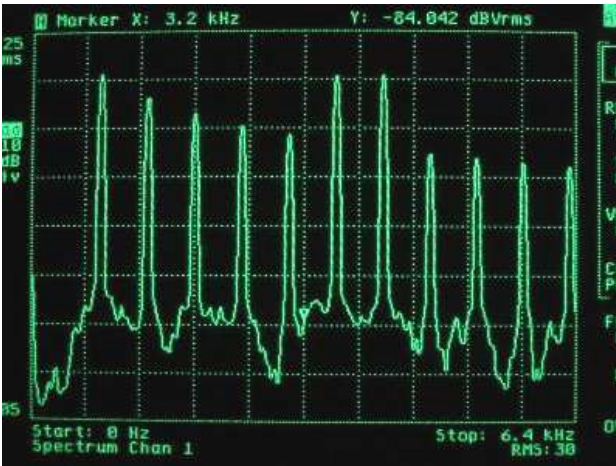
Tallennus ja pakkaus

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

192 Kbps nopeuteen konvertoitu MP3-tiedosto

Signaali: [Natural_13_15](#)

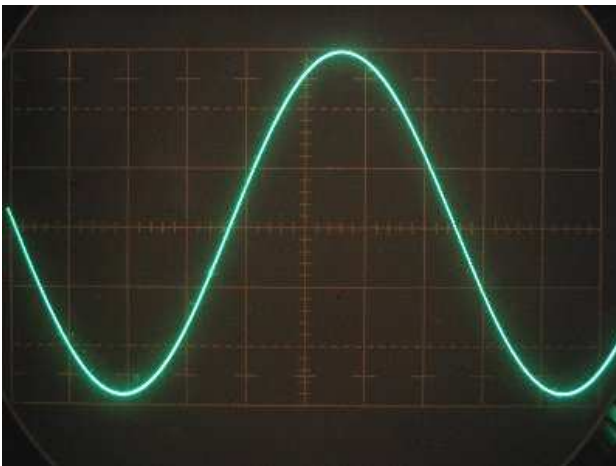
Luonnollinen mittasignaali menee pakkauksessa kohinaiseksi.



Spektrikuvassa pakkauksessa syntyvä pohjakohina näkyy erittäin selvästi. Kuva on 30 mittauksen keskimääräistetty tulos.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

47



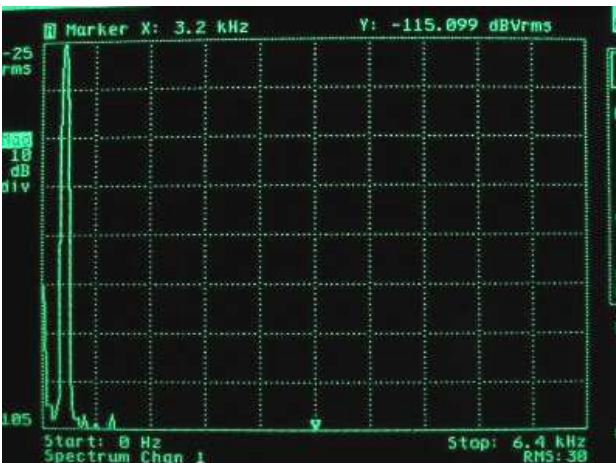
Tallennus ja pakkaus

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

128 Kbps nopeuteen konvertoitu MP3-tiedosto

Signaali: [Sine275](#)

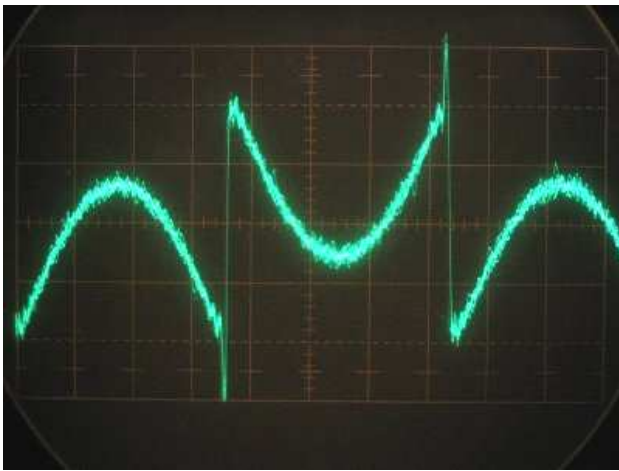
Pakkaus ei huononna ollenkaan perustaajuista siniaaltoja, vaan signaali on yhtä puhdas kuin generaattorista saatu.



Pakkaus ei näy myöskään spektrissä havaittavassa määrin.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

48



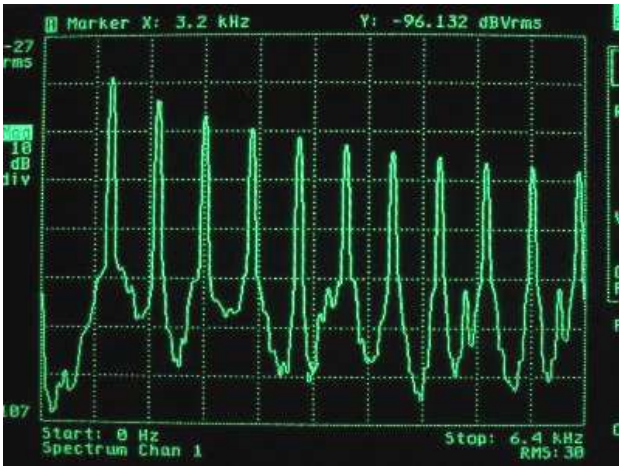
Tallennus ja pakkaus

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

128 Kbps nopeuteen konvertoitu MP3-tiedosto

Signaali: **Natural**

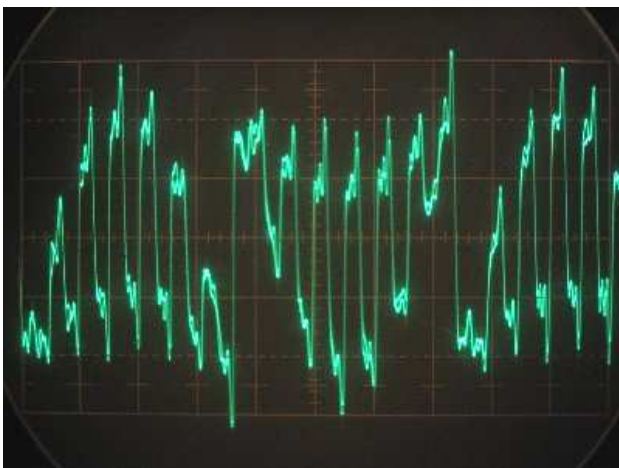
Luonnollisen mittasignaalin äitisignaali menee hyvin kohinaiseksi pakkauksessa. Oskilloskooppikuvassa kohina näkyy hyvin häiritsevästi.



Spektrikuva on hyvin suttuinen. Pakkauksessa syntynyt satunnainen pohjakohina huomattavan korkea. Kuva on 30 mittauksen keskimääräistetty tulos.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

49



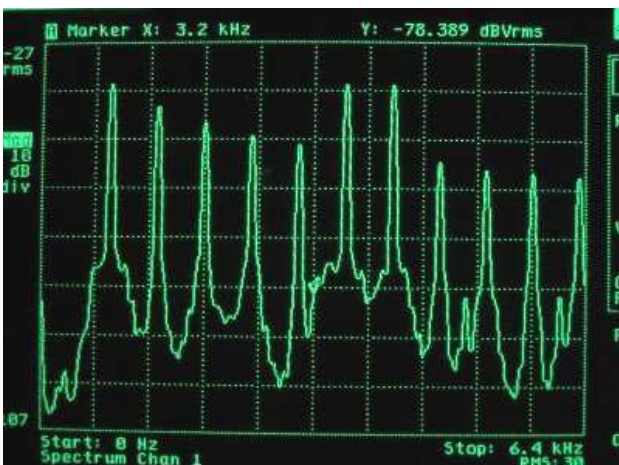
Tallennus ja pakkaus

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

128 Kbps nopeuteen konvertoitu MP3-tiedosto

Signaali: **Natural_13_15**

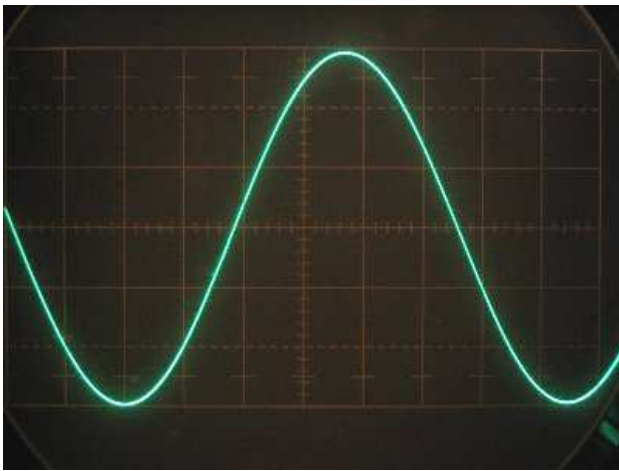
Mittasignaali on pakkauksessa muuttunut hyvin kohinaiseksi.



Spektrikuvassa pakkauksessa syntynyt kohina näkyy erittäin selvästi. Kohina on noin 37 dB alle tytärsignaalien ja 825 Hz:n signaalikomponentin tason. Signaali vääristyy siis pahasti.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

50



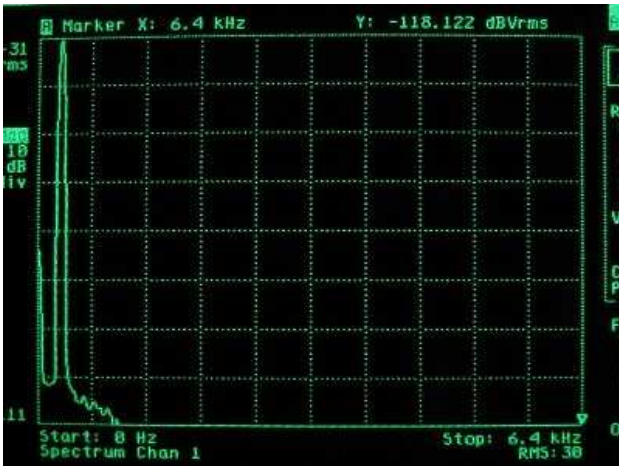
Tallennus ja pakkaus

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

96 Kbps nopeuteen konvertoitu MP3-tiedosto

Signaali: **Sine275**

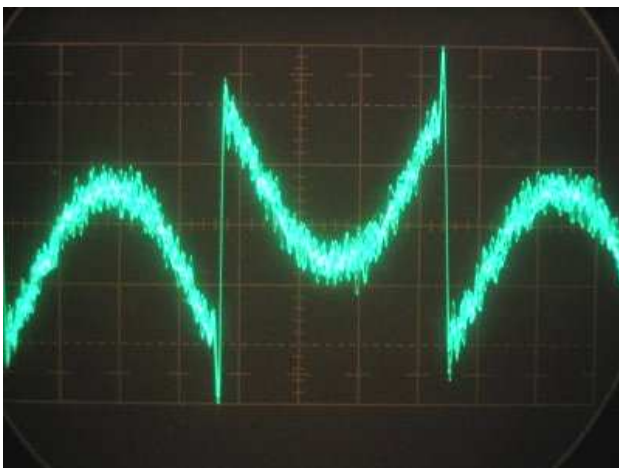
Oskilloskooppikuvassa perustaajuisessa signaalissa ei näy mitään virhettä.



Spektrikuvassa näkyy selvästi, että perustaajuuden ympärille on alkanut muodostua kohinaa. Kuvassa on 30 mittauksen keskimääräistetty mittaustulos.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

51



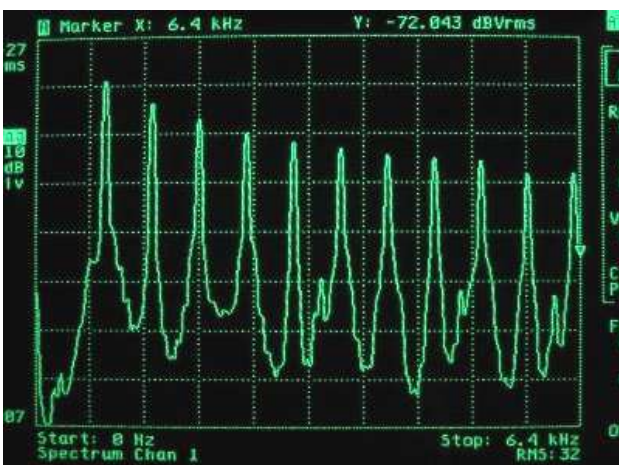
Tallennus ja pakkaus

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

96 Kbps nopeuteen konvertoitu MP3-tiedosto

Signaali: **Natural**

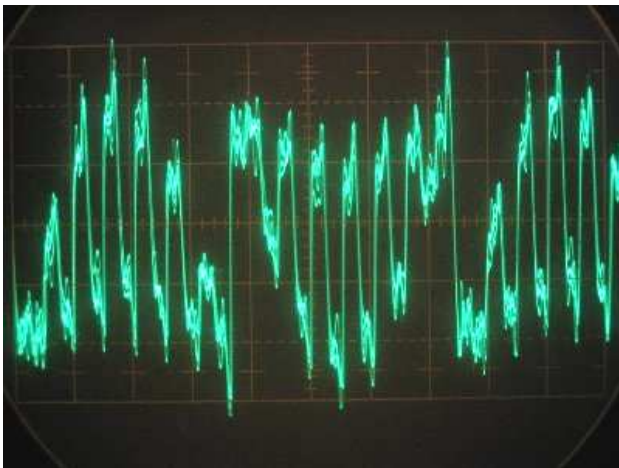
Luonnollisen mittasignaalin äitisingaali on jo erittäin kohinainen.



Spektrikuvasta näkyy selvästi, että kaikki mittasignaalin taajuuskomponentit ovat alkaneet levitä, ja pohjakohinataso on suuri. Nämä virheet ovat erittäin selvästi kuultavissa. Kuva on 30 mittauksen keskimääräistetty mittaustulos.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

52



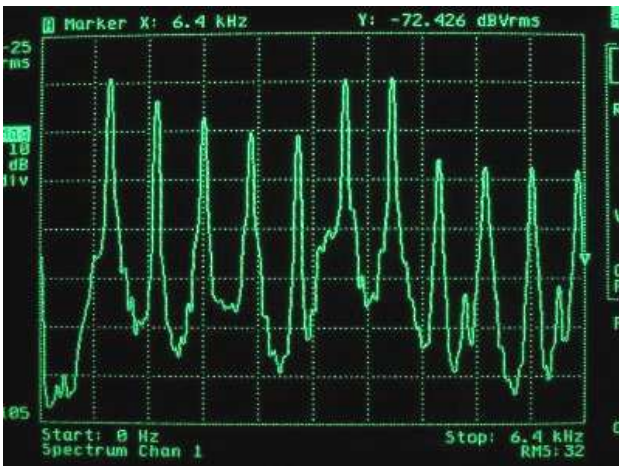
Tallennus ja pakkaus

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

96 Kbps nopeuteen konvertoitu MP3-tiedosto

Signaali: [Natural_13_15](#)

Luonnollinen mittasignaali menee näin kovassa pakkauksessa erittäin kohinaiseksi.



Spektrikuva kertoo, että pakkauksesta johtuvat häiriösignaalit ovat noin 25 –30 dB alle tytärsignaalien tason. Kuvassa on 30 mittauksen keskimääräistetty mittaustulos.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

53

Yksinkertainen kaiutintesti

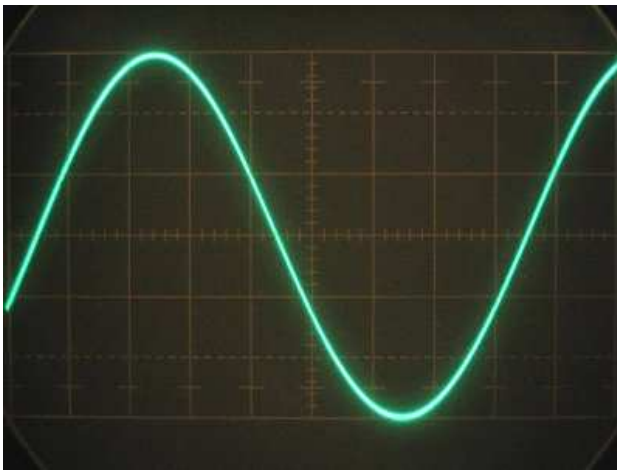
LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Yksinkertaisen kaiutintestin avulla pyrittiin selvittämään, kuinka hyvin halvimman laatuluokan huonot kaiuttimet vääristävät **Luonnollista mittasignaalia**. Kaiuttimet olivat hieman erilaisia. Kaiuttimien puhekelojen resistanssit olivat **7.6** ja **7.8 ohmia** ja pohjaresonanssitaajuudet **110** ja **116 Hz**.

Nämä kaksi 4 x 6 tuuman vaatimatonta ”keittiökaiutinta” (otettu talteen puretuista TV-vastaanottimista) kytkettiin vastakkain noin 15 cm:n etäisyydelle toisistaan. Toiseen kaiuttimeen ajettiin signaali 1 W:n teholla, ja toinen kaiutin toimi mikrofonina. Mitattiin mikrofonikaiutimesta saatu signaali sekä oskilloskoopilla että spektrianalysaattorilla.

Molemmat kaiuttimet oli kiinnitetty tukevaan vanerilevyyn, ja nämä vanerilevyt oli kiinnitetty toisiinsa niin hyvin, että kaiuttimien keskinäinen etäisyys pysyi vakiona koko testin ajan.

54



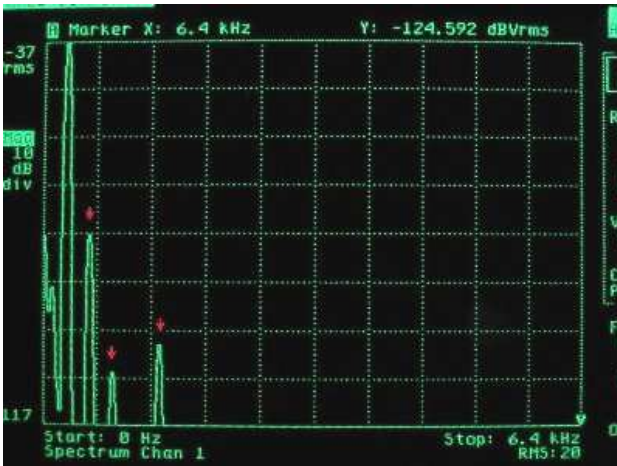
Kaiutintesti

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Signaali: **Sine275**

Mittauspiste: Mikrofonina toimineen kaiuttimen navat

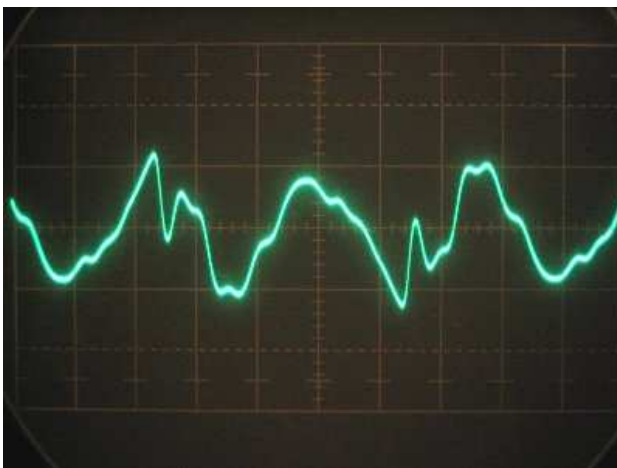
Oskilloskooppi kertoo, että perustaa-juinen siniaalto ei paljoa vääristy näissä halvoissakaan kaiuttimissa.



Spektrikuvan mukaan siniaallolla THD on luokkaa 1%, joka oli yllättävän hyvä tulos. Särökomponentit merkitty punaisella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

55



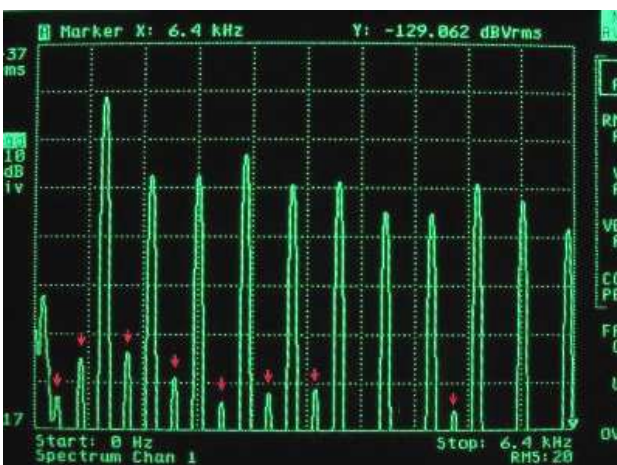
Kaiutintesti

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Signaali: **Natural**

Mittauspiste: Mikrofonina toimineen kaiuttimen navat

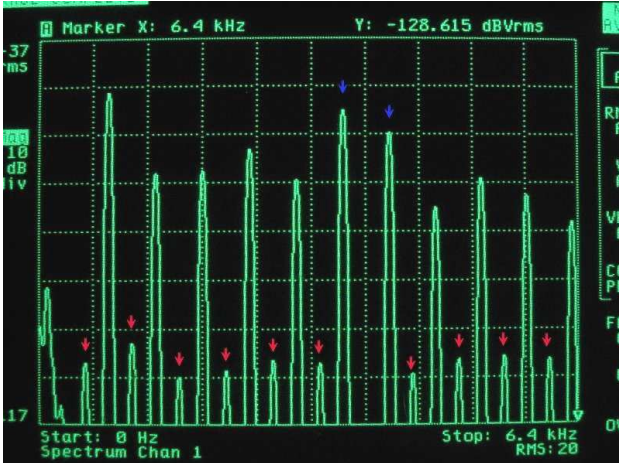
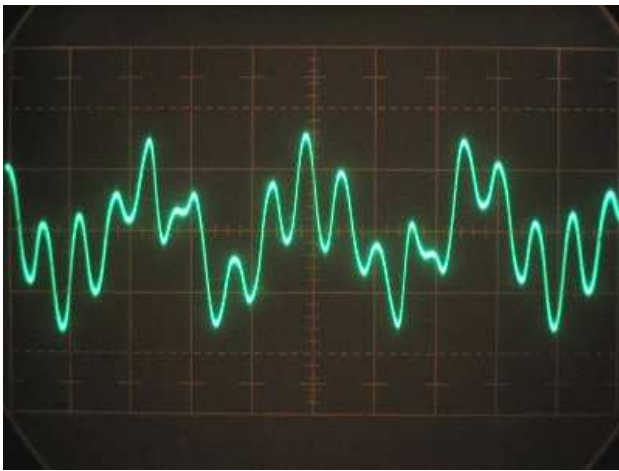
Luonnollisen mittasignaalin äitisignaali muuntuu tunnistamattomaksi. Tämä kertoo siitä, että systeemin taajuus- ja vaihetoistossa on pahoja virheitä.



Spektrikuvasta nähdään selvästi virheet taajuustoistossa, mutta nämä huonotkan kaiuttimet eivät ole kovin epälineaarisia. Intermodulaatiotulokset pysyvät suhteellisen alhaisella tasolla. Särökomponentit merkitty punaisella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

56



Kaiutintesti

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

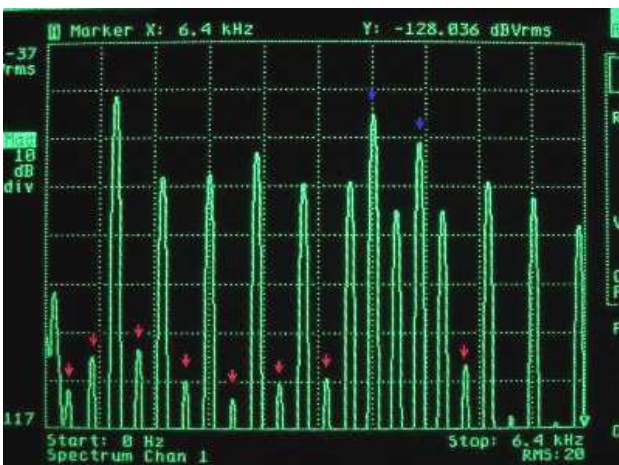
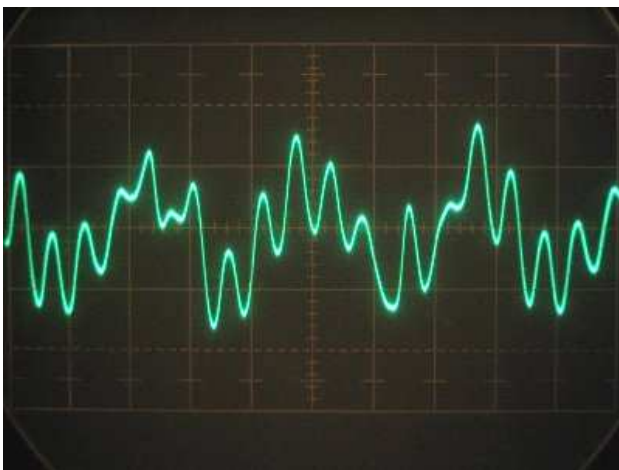
Signaali: [Natural_13_15](#)

Mittauspiste: Mikrofonina toimineen kaiuttimen navat

Taajuus- ja vaihtoisto ovat täysin pielessä. Tytärsignaalit toistuvat sini-aaltolina, joka kertoo siitä, että kaiuttimet eivät toista juuri lainkaan suuria taajuuksia.

Spektrikuvassa näkyy selvästi taajuustoiston virheet, mutta intermodulaatiotulokset pysyvät edelleen suhteellisen matalalla tasolla. Tytärsignaalit merkitty sinisellä ja särötulokset punaisella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div 57



Kaiutintesti

LUONNOLLINEN MITTASIGNAALI
© K.Kuikka 2007

Signaali: [Natural_14_16](#)

Mittauspiste: Mikrofonina toimineen kaiuttimen navat

Taajuus- ja vaihtoistossa virheitä. Tytärsignaalien toistuminen sinimuotoisena kertoo suurten taajuuksien toiston huonoudesta.

Spektrikuva kertoo taajuustoistossa olevat virheet, mutta intermodulaatiotulokset pysyvät alhaisina. Tytärsignaalit merkitty sinisellä ja särökomponentit punaisella.

Span = 6.4 KHz Y = 10 dB/div

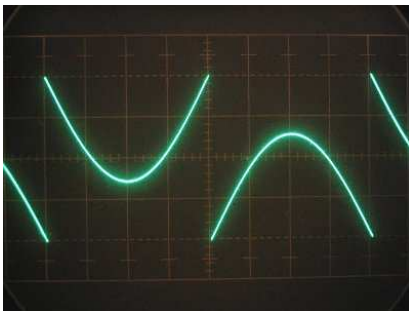
58

”Villit” tytärsignaalit

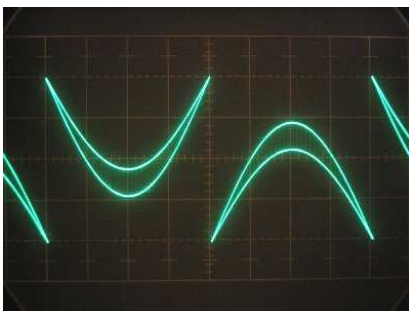
Tytärsignaalit alkavat käyttäytyä vähän ”villisti”, jos niiden muodostamiseen käytetty kantaalto ei ole vaihelukittu perustaajuuteen. Tässä tilanteessa oskilloskoopilla (tahdistettu perustaajuuteen) saadaan hyvin mielenkiintoisia kuvia, jotka kummastuttavat perinteistä siniaaltomiestä.

Näitä ”villejä” tytärsignaaleja voidaan hyödyntää joissakin mittauksissa. Esimerkiksi vahvistimen taajuustoiston säätäminen tasaiseksi diskanttisäätimen avulla on helppo tehtävä, kun mittasignaalinä käytetään ”villeillä” tytärsignaaleilla varustettua **Luonnollista mittasignaalia**.

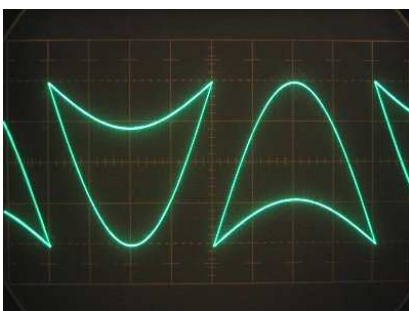
59



Kuva 1



Kuva 2



Kuva 3

”Villit” tytärsignaalit

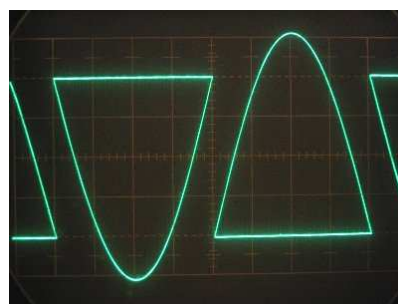
Kuvassa 1 on pelkkä äitisingaali

Kuvassa 2 tytärsignaalien taso on pieni

Kuvassa 3 tytärsignaalit on säädetty äitisingaalin huippujen tasoon

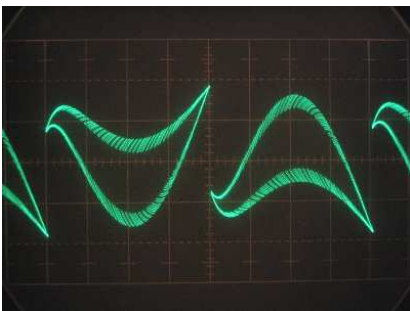
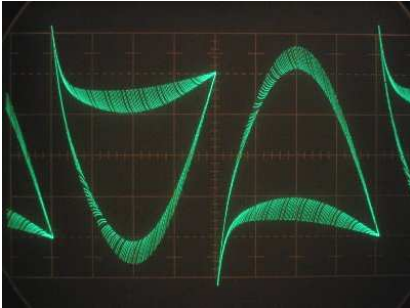
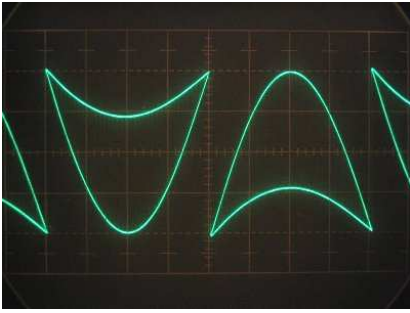
Kuvassa 4 on tytärsignaalit säädetty äitisingaalin huippuja suuremmaksi

Mittaus suoritettu generaattorin ulostulonaivoista, ja oskilloskooppi on ollut tahdistettuna perustaajuuteen



Kuva 4

60



PHILIPS FA141 vahvistimen diskanttisäätimen toimintaa testattiin ”villien” tytärsignaalien avulla. Mittaus tapahtui kaiutinliittimistä 8 ohmin kuormaan.

Ylimmässä kuvassa taajuustoisto on säädetty tasaiseksi, jolloin kuvio on kaikkein terävin ja täysin oikeanmuotoinen.

Keskimmäisessä kuvassa diskanttisäädin korostaa korkeita, jolloin kuvio alkaa laajeta ulospäin ja muuttuu vääränmuotoiseksi.

Alakuvassa diskanttisäädin vaimentaa korkeita, jolloin kuvio alkaa luhistua sisäänpäin ja muuttuu vääränmuotoiseksi.

Mittauksissa havaittua!

Suoritettujen testimittausten aikana tuli ilmi, että **Luonnollinen mittasignaali** on helppokäyttöinen ja tehokas mittasignaali, jolla erilaiset toistovirheet saadaan selvästi esiin. Haittapuolena on se, että indikaattorina täytyy käyttää kallista spektrianalysaattoria.

Tätä mittausmenetelmää kannattaa kehittää edelleen ja samalla tulee selvittää se, miten hyvin eri särötyypit saadaan esiin mittaamalla vain testilaitteessa syntyvää perustaajuista (275 Hz) ja ja kaksinkertaisella perustaajuudella (550 Hz) olevaa särökomponenttia.

Jos näiden kahden särökomponentin mittaaminen riittää, niin silloin indikaattoriksi riittää tavallinen tasomittari varustetuna kahdella (275 Hz ja 550 Hz) terävällä kaistanpäästösuodattimella. Tällöin uusi mittausmenetelmä olisi hyvin taloudellinen, koska kallista spektrianalysaattoriakaan ei tarvita.

Jos **Luonnollinen mittasignaali** saa yleisen hyväksymisen, niin silloin joku varmasti kehittää tavalliseen äänikortilla varustettuun tietokoneeseen halvan ja hyvälaatuisen analysaattoriohjelman, jolloin indikaattorikustannukset olisivat olemattomat, ja menetelmä olisi kaikkien harrastajienkin hyödynnettävissä.

Testauksessa käytetyt mittalaitteet

NATURAL TEST SIGNAL GENERATOR Model: ”**Kuikka 2006**”

TEKTRONIX TYPE 545B OSCILLOSCOPE

HEWLETT PACKARD 35660A DYNAMIC SIGNAL ANALYZER

FLUKE 8520A DIGITAL MULTIMETER

PHILIPS FA141 integrated stereo amplifier

CANON PowerShot A75 digital camera

Mittausten ja testausten suorittaja ja esityksen laatija:

Kalervo Kuikka , **OH6AWN**

gsm: 0400-476231