

UiO : **Institutt for informatikk**

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Magiske høyttalerkabler

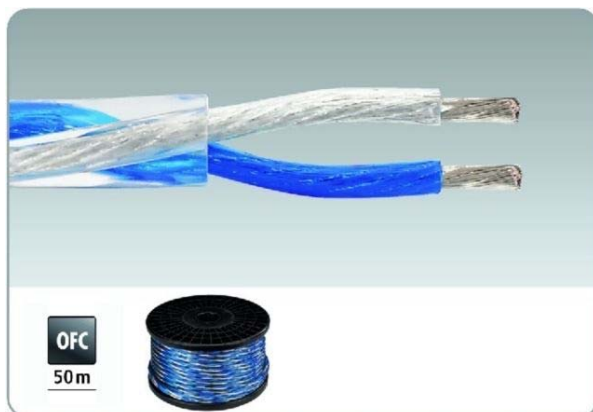
Sverre Holm



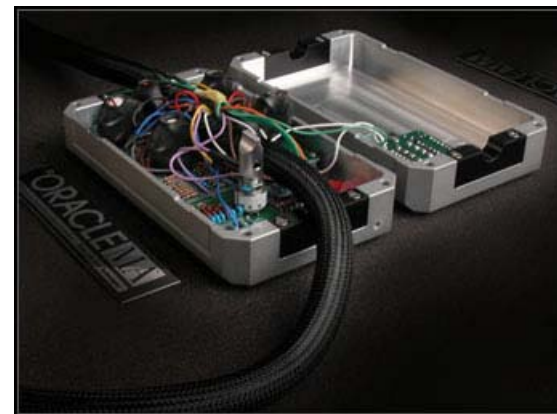
@Sverre_Holm



Tynn og tjukk – parallell eller tvunnet



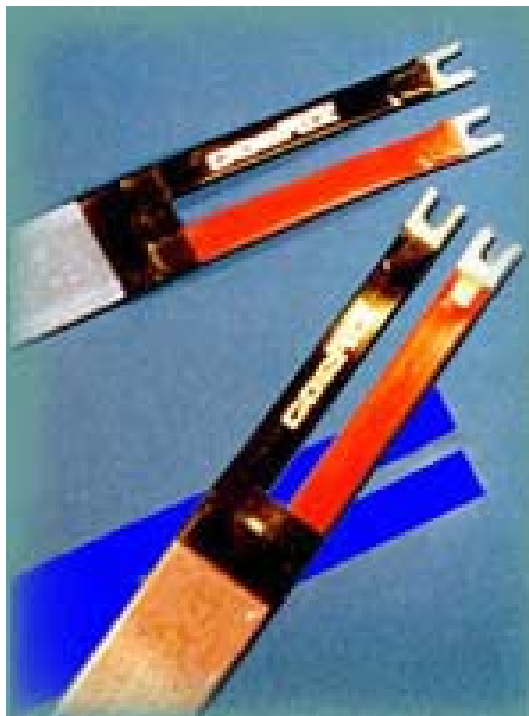
«Lur klump» og terminering



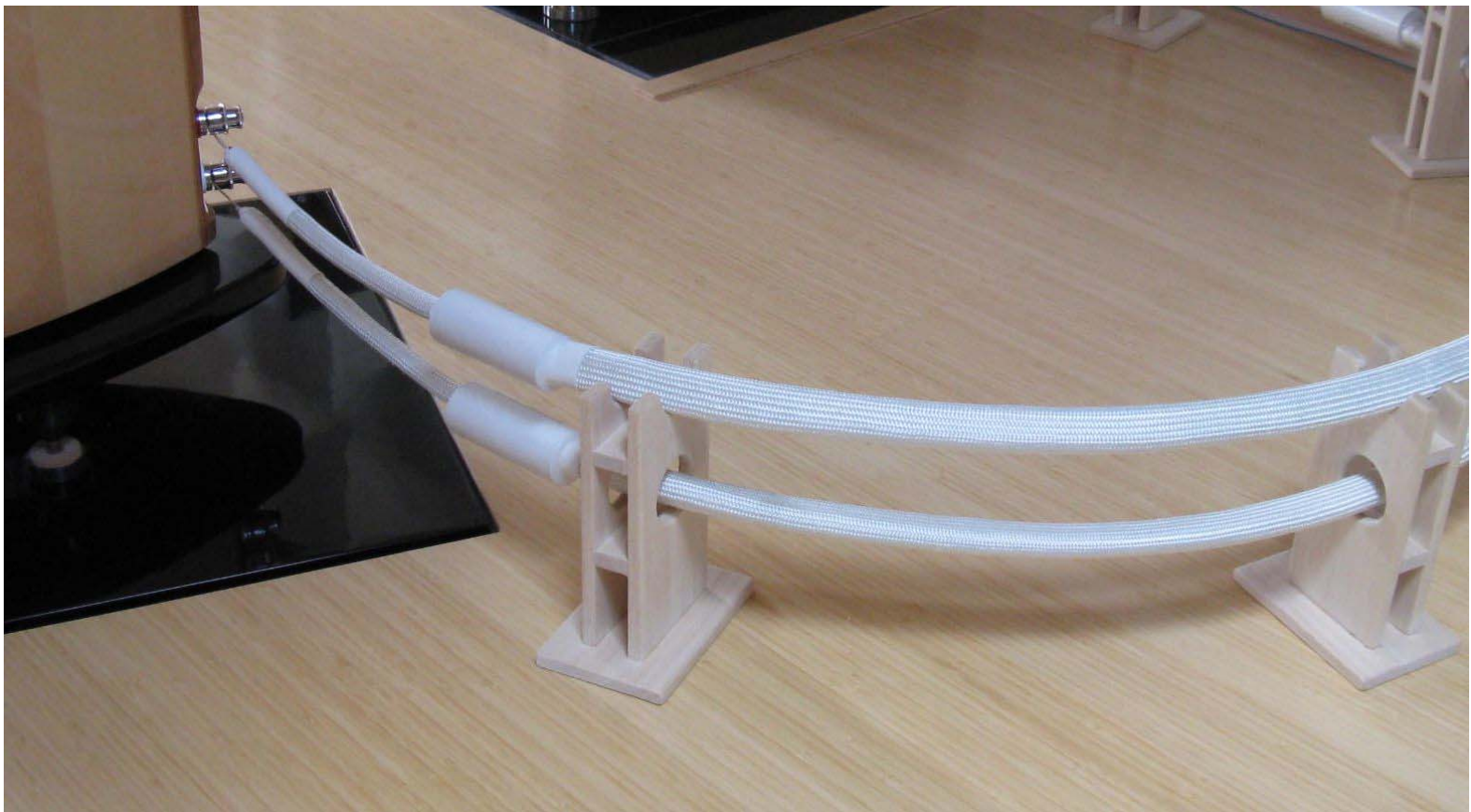
Flat - ledere ved siden av hverandre



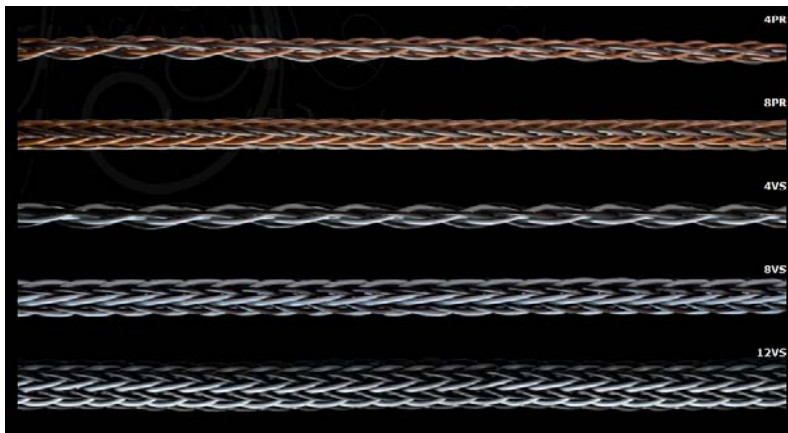
Flat - ledere over hverandre



Lang avstand, på avstandsstykker



Flertrådet



Koaksial



Cardas SE-9

Finnes en del erfaring ...



Hensikt

- Hva ligger bak de forskjellige prinsippene for design av høyttalerkabler?
- Har dette en god basis i fysikk og elektrofag?
- Er disse designprinsippene viktige sett ut fra en høyttalerkabels oppgave?
- Ikke ambisjon om å kåre den beste kabel
- Ikke ønske om å forsøke å (bort)forklare hva en del hevder å høre av forskjeller

Innhold

- Bakgrunn:
 - HiFi vs pro-audio
 - Ideal for lydgjengivelse
 - Måling vs lytting
- 0. ordens modell: Motstand R
- 1. ordens modell: R, L, C, G
 - Tilpasning, resonans
- 2. ordens modell: R og C er ikke hva du tror
 - Skinneffekter, overganger, renhet, mikrofoni, hukommelse
- RF innstråling

Blant de mest leste på kollokvium.no

Web

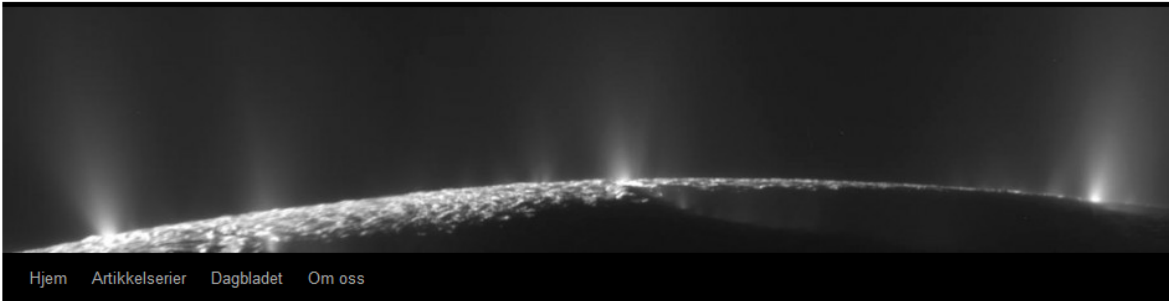
kollokvium.no/2013/08/12/magiske-hoyttalerkabler/

Søk med Google

ReaderFollowLikReblogNew Post

Kollokvium

backstage naturvitenskap



HjemArtikkelserierDagbladetOm oss

← [Video] Naturens hemmelige partikler

Ørkenstormens gåte – snart løst? →

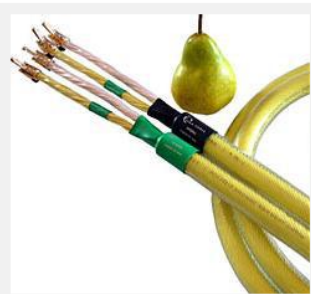
Søk

Magiske høyttalerkabler

Postet den 12. august 2013 by Sverre Holm

Du har sikkert sett reklame for super-høyttalerkabler til tusenvis av kroner. Noen tar dette veldig alvorlig og andre mener det er pseudovitenskap. Hva skal man tro? Her skjærer vi gjennom og klargjør begrepene – ut fra vårt utgangspunkt som er ”backstage naturvitenskap”.

Et høydepunkt i kabler ble vel nådd i 2007 da [skeptikeren James Randi utlovet en dusør på 1 million dollar](#) hvis noen kunne bevise at høyttalerkabler til 7250 dollar for et par å 4 m var




Pear Anjou kabel – bare 50 000 kr/par

Siste innlegg

- Hvordan vet vi at vi ikke er på vei mot en istid?
- Verdenshavene: Hvor går varmen?
- I natt har Saaben samtalt med universet
- To hundre år bare for å vise at jorda roterer
- Tullball om svarte hull

Følg oss på Facebook

kollokvium.no

LikerDu liker dette.

HiFi/audiofil: 3-5 meter



- Centaur power amp (\$24,000)
- Von Schweikert's VR-44 Aktive loudspeakers (\$26,000)
- \$2,495 for the Reference Anaconda bi-wire speaker cables

<http://parttimeaudiophile.com/2013/10/25/rmaf-2013-your-final-system/>

Pro-audio: 30-50 meter

- Hva har det å si for effekten av kabel?
- Analyserer eksempler med 5 m og 50 m kabler

Ideal for lydgjengivelse

- HiFi: nøytral gjengivelse
- Kabel, forsterker skal ikke merkes
- NB! Gitar-forsterker er en «del av instrumentet»



Hvordan evaluere?

- Objektivister: bare det som kan måles
- Subjektivister: bare det som kan høres
- Min posisjon:
 - Det som kan høres kan måles, bare vi forstår det
 - Dagens målemetode trenger ikke være siste ord
 - Mye som kan måles, som ikke kan høres
- Overrasket over å finne vektlegging av målbare ting som ikke kan være særlig viktige

Eks: TIM: Transient intermodulasjonsforvrengning (Slew rate distortion)

- 1973: Matti Otala, Jan Lohstroh kunne analysere det
- Svein Erik Børja kunne høre det
- Nils J. Kjærnet, Terje Sandstrøm, Per Abrahamsen kunne bygge noe som ikke hadde det
- 1976 The Audio Critic: “Audio freaks – eat your hearts out. This is the world’s best sounding amplifier.”
- Les [Hi-Fi News, Dec 2011](#)

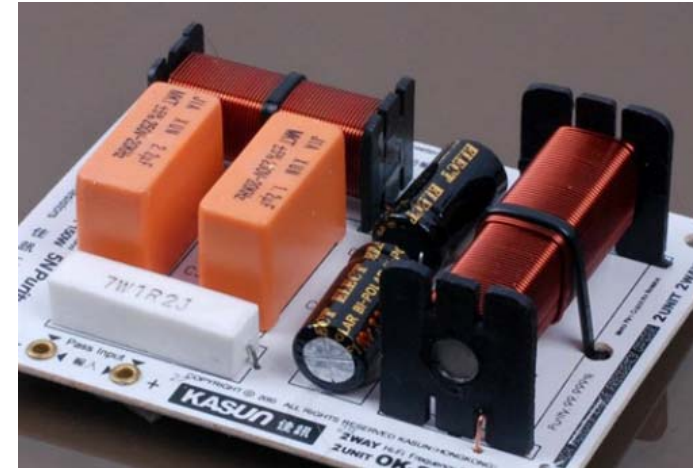
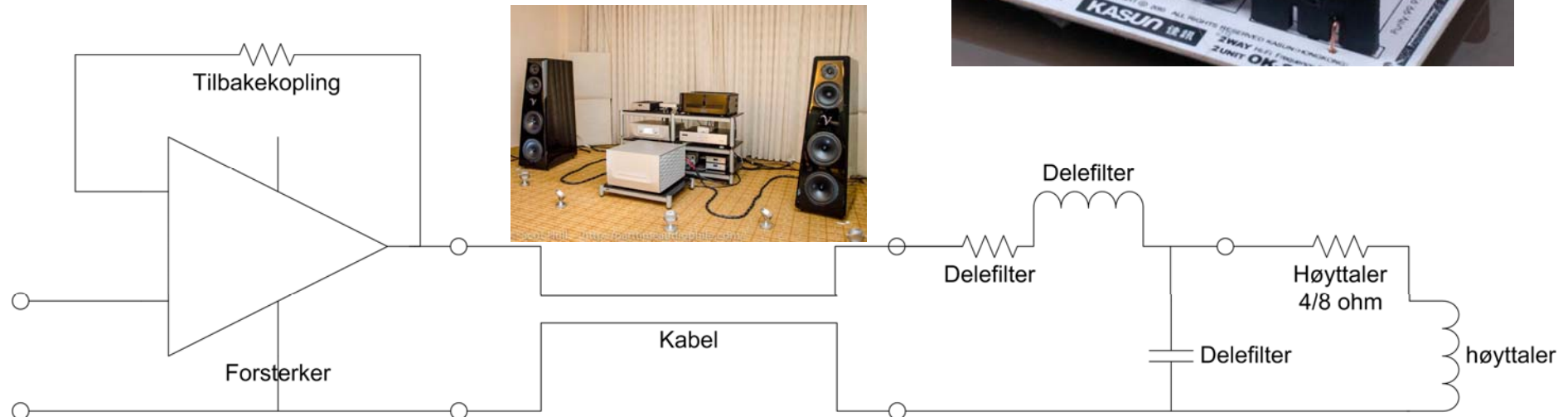


Electrocompagniet: The 2 Channel Audio Power Amplifier

McGurk-effekten

- [BBC: Is seeing believing?](#) 0:31-1:10
- McGurk H., MacDonald J. "Hearing lips and seeing voices." Nature, 1976

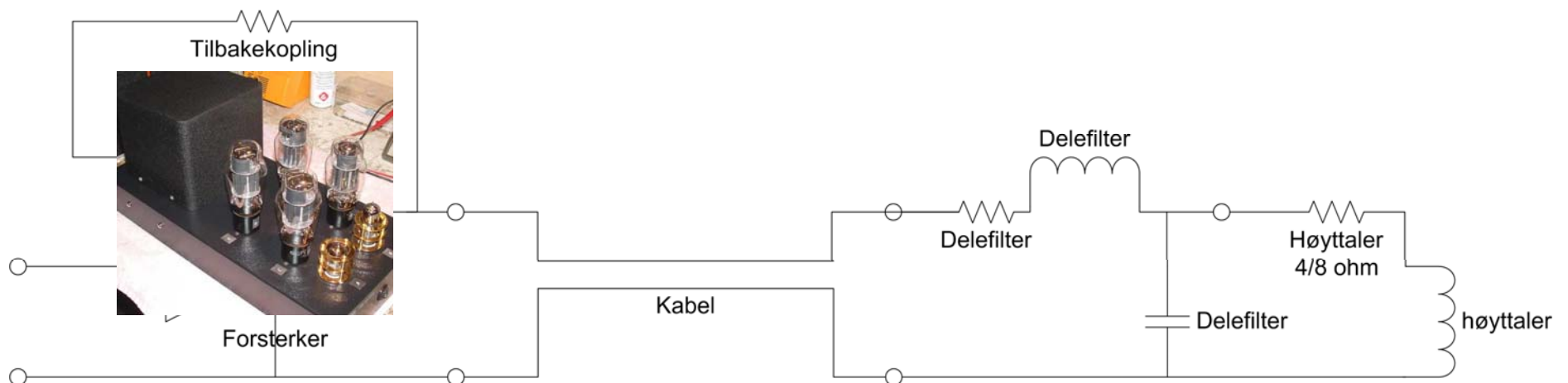
Forsterker – kabel – delefilter – høyttaler



- Ikke bare kabel som har R, L, C
- Innstråling av høyfrekvens (radio - RF) via negativ tilbakekopling?
- Realistiske forsterkere blir ustabile med for kapasitiv last <100 nF
- Kabel er lettest å gjøre noe med, men ikke sikkert det er viktigst!

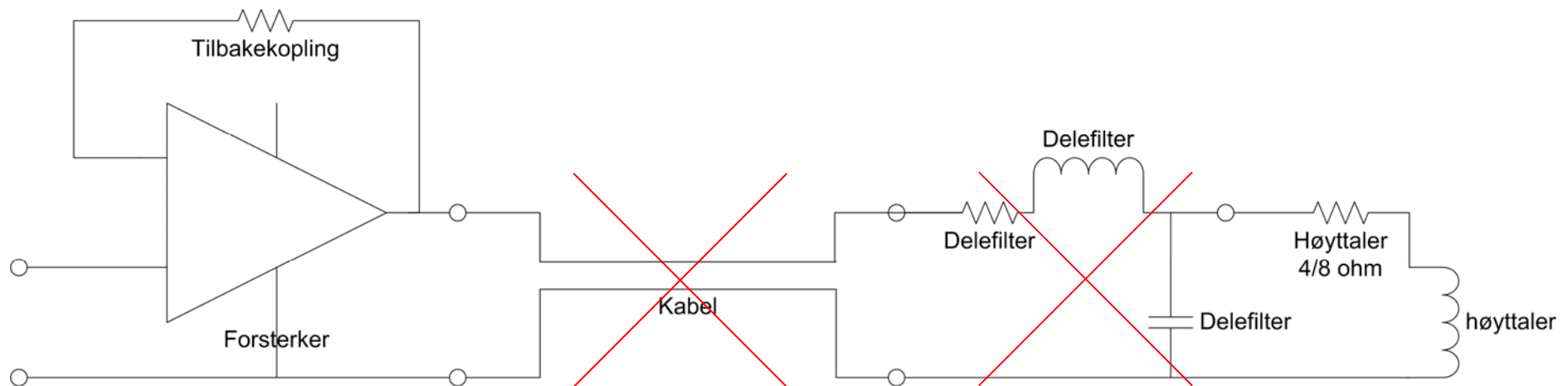
Rørforsterkere

- Rør og utgangstransformator
- Mye høyere utgangsimpedans
- Betyr enda mer interaksjon mellom forsterker, kabel, delefilter og høyttaler

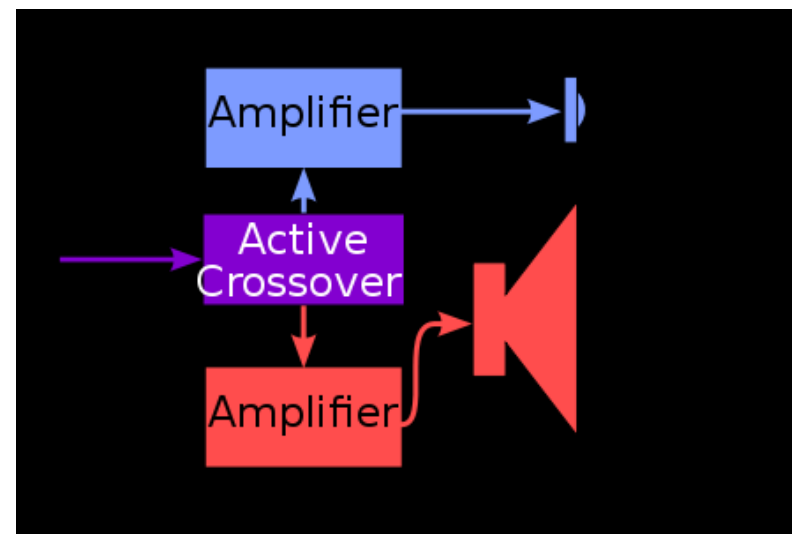
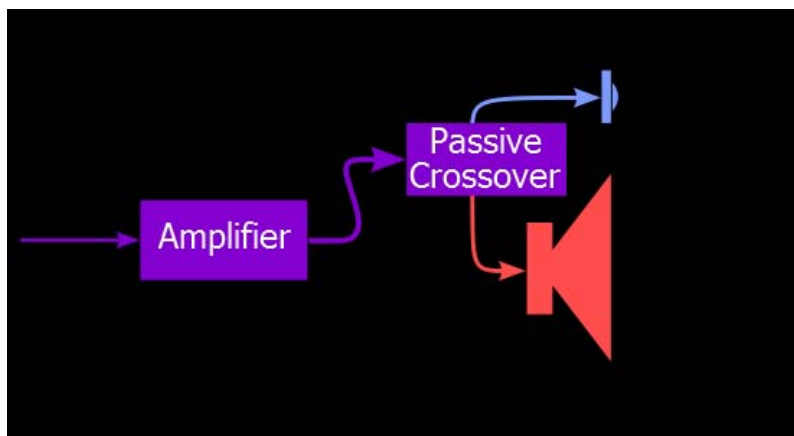


Hvis du er redd for effekt av kabel ...

1. Ut med passivt delefilter – aktive filter og individuelle forsterkere!
2. Ut med kabel også – aktivt system med forsterker nær høyttaler!



Fra passiv til aktiv høyttaler



Mine høyttalere

- Aktive
- [Linkwitzlab](#) Pluto+
- 2 x 3 forsterkere
- Bare kabel for subwoofer



Modeller

- 0., 1. og 2. ordens modeller for kabel

En kabel er jo bare ...

- En motstand i serie
- 0. ordens modell

- Mange med ingeniør/teknisk bakgrunn:
Mer er det ikke å si om den saken

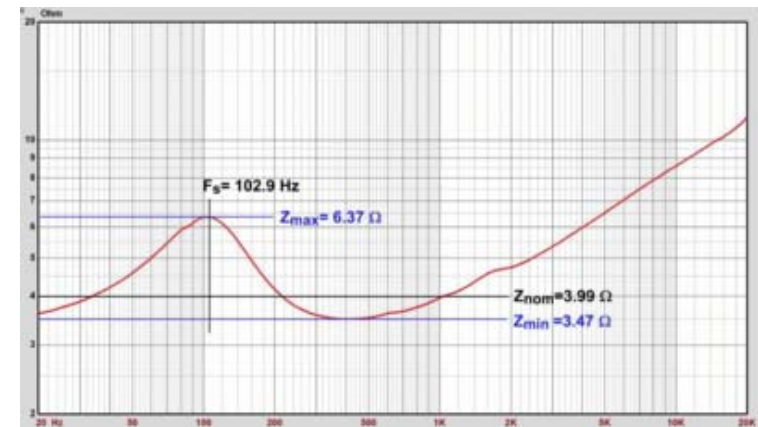
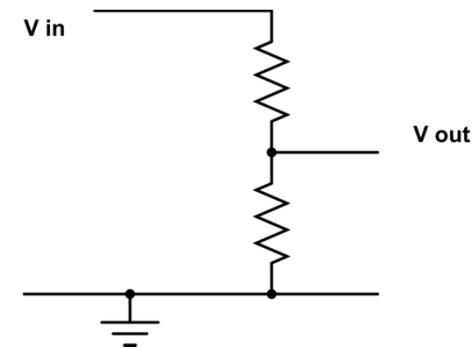
0'te ordens modell: Resistans R

- $R = \rho \cdot l / A$
 - ρ : resistivitet, $\Omega \cdot \text{m}$
 - $1.68 \cdot 10^{-8}$ for kobber (20 C)
 - $1.59 \cdot 10^{-8}$ for sølv; $2.44 \cdot 10^{-8}$ for gull
 - l : lengde i m
 - A : tverrsnittsareal i m^2
- 2.5 mm^2 kobber: 0.00672 Ω/m
 - 5 m: 0.067 Ω (2 ledere); 50 m: 0.672 Ω
- Liten motstand i tjukk, kort kabel!

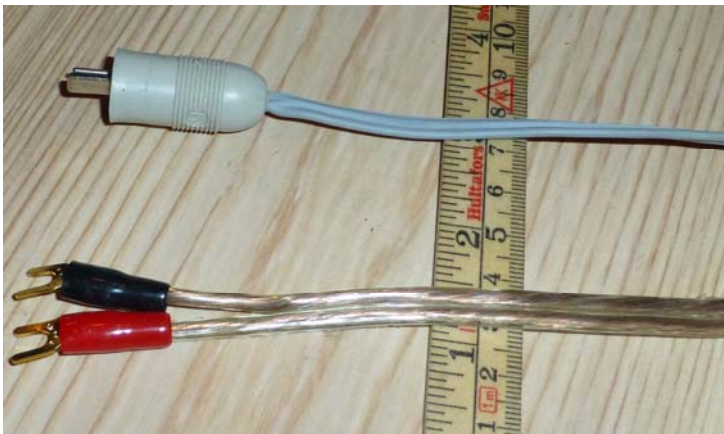


Effekt av tynn/lang kabel

- 0.375 mm²: 0.045 Ω/m: 10 m: 0.9 Ω
- CAT5: 0.176 Ω/m: 2.5 m: 0.88 Ω
- 2.5 mm²: 67 m: 0.9 Ω
- Frekvensavhengig demping da høyttalerimpedans varierer:
 - 110Hz: $6.4/(6.4+0.9) = -1.1$ dB
 - 400 Hz: $3.5/(3.5+0.9) = -2.0$ dB
 - 15 kHz: $10/(10+0.9) = -0.7$ dB



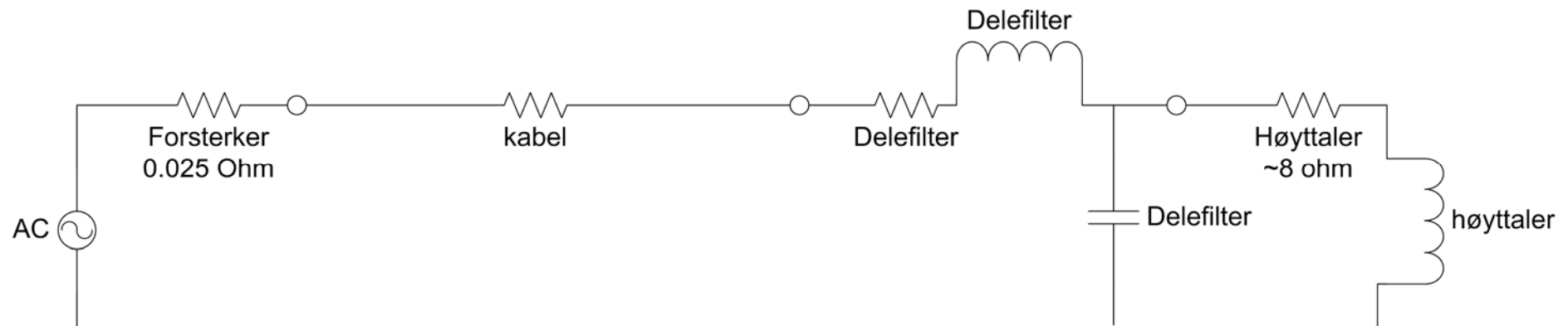
Stor og mindre resistans



2.5, 4, 6 mm²

Dempingsfaktor

- Dempe spenning generert av ht's bevegelse
- Banketest på uterminert/kortsluttet ht
- $DF = 8/0.025 = 320$: misvisende
- All ytre resistans kommer i serie med $4/8 \Omega$

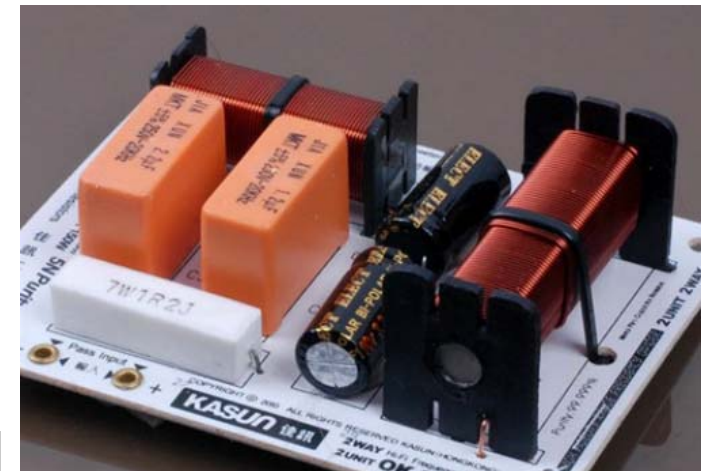


0. ordens modell er for enkel

- Betydningen av liten resistans er det mest entydige resultatet fra lyttetester
- Mange kabelleverandører har oppdaget noe lurt i tillegg ...
 - Forklares som regel i en **fysisk modell/effekt**
 - Beskrives som regel med effekt på lydbilde
- Her: 1. ordens og 2. ordens modeller

Kretselementer i 1., 2. ordens modeller

- R – resistans, motstand, Ω
- L – induktans, spole, $Z = j2\pi fL$
 - Impedans øker med frekvens
- C – kapasitans, kondensator
 $Z = 1/(j2\pi fC)$
 - Impedans avtar med frekvens
- G – konduktans Siemens [mho]
 - Invers resistans

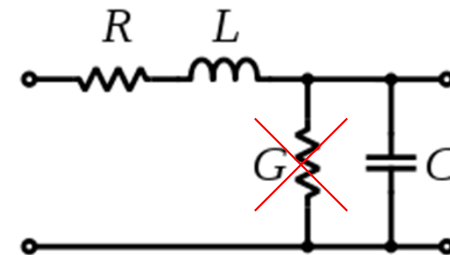
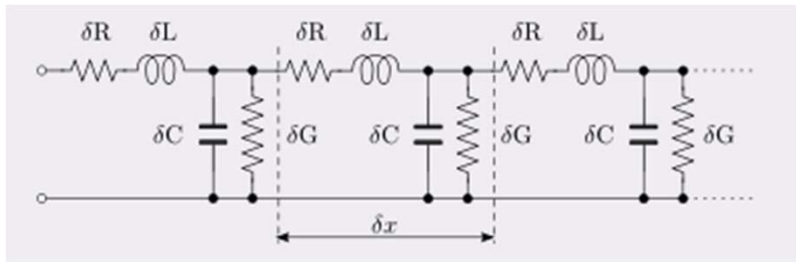


1. ordens modell

1. ordens modeller: L, C, G også

Transmisjonslinje: Eksakt

**Diskrete komponenter:
 Når kabel \ll bølgelengde**



$$c_p = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

20 Hz

20 kHz

200 kHz

2 MHz

Elektrisk bølgelengde

10 000 km

10 km

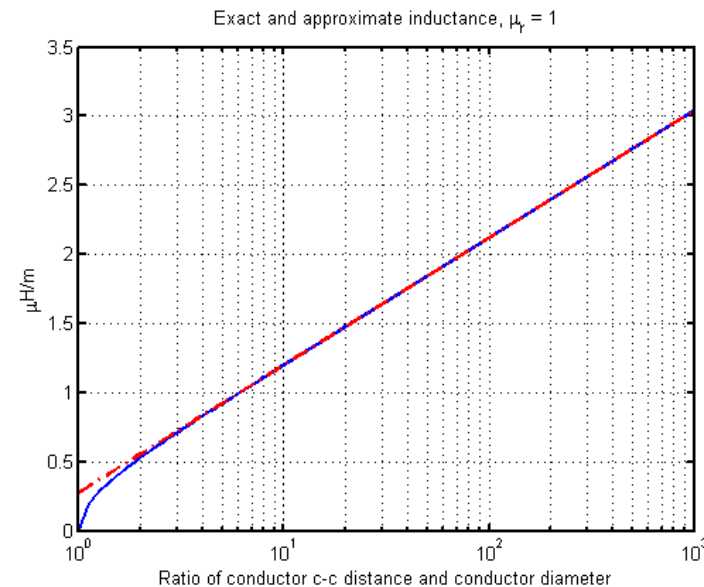
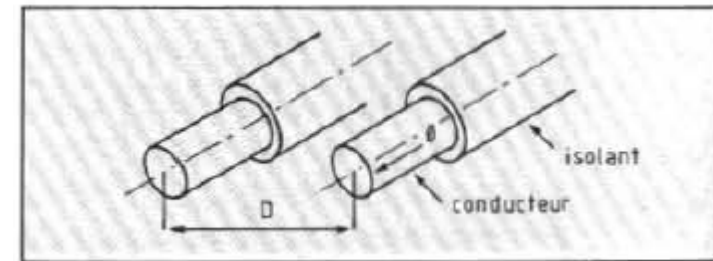
1 km

100 m

Induktans L

$$L = \frac{\mu_R \mu_0}{\pi} \operatorname{arccosh}\left(\frac{D}{d}\right) \approx \frac{\mu_R \mu_0}{\pi} \ln \frac{2D}{d} \text{ H/m}$$

- D: senter-senter avstand
- d: diameter av leder
- μ_0 : Permeabilitet i vakuum
 - μ_R : Relativ permeabilitet for magnetiske materialer
- Mye induktans ved stor avstand mellom ledere

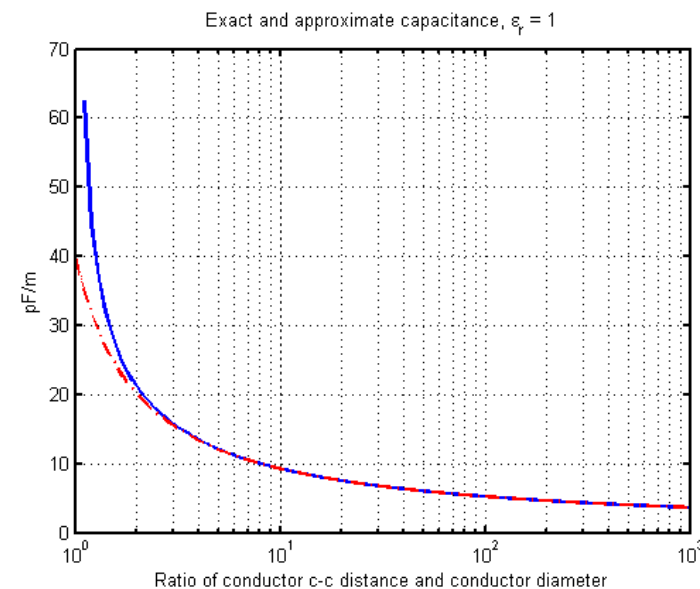
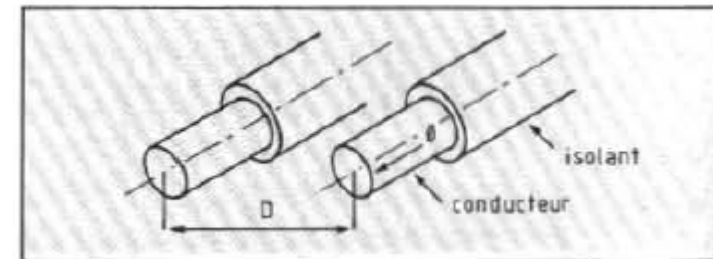


12 AWG = 2mm Ø, 3.3 mm²
=> 2mm – 2m avstand

Kapasitans C

$$C = \frac{\pi \epsilon_R \epsilon_0}{\operatorname{arccosh}(\frac{D}{d})} \approx \frac{\pi \epsilon_R \epsilon_0}{\ln \frac{2D}{d}} \text{ F/m}$$

- D: senter-senter avstand
- d: diameter av leder
- ϵ_0 : permittivitet vakuum
- ϵ_R : relativ permittivitet,
 - PTFE/Teflon $\epsilon_R = 2.1$
 - Luft gir minst kapasitans
- Mye kapasitans ved liten avstand

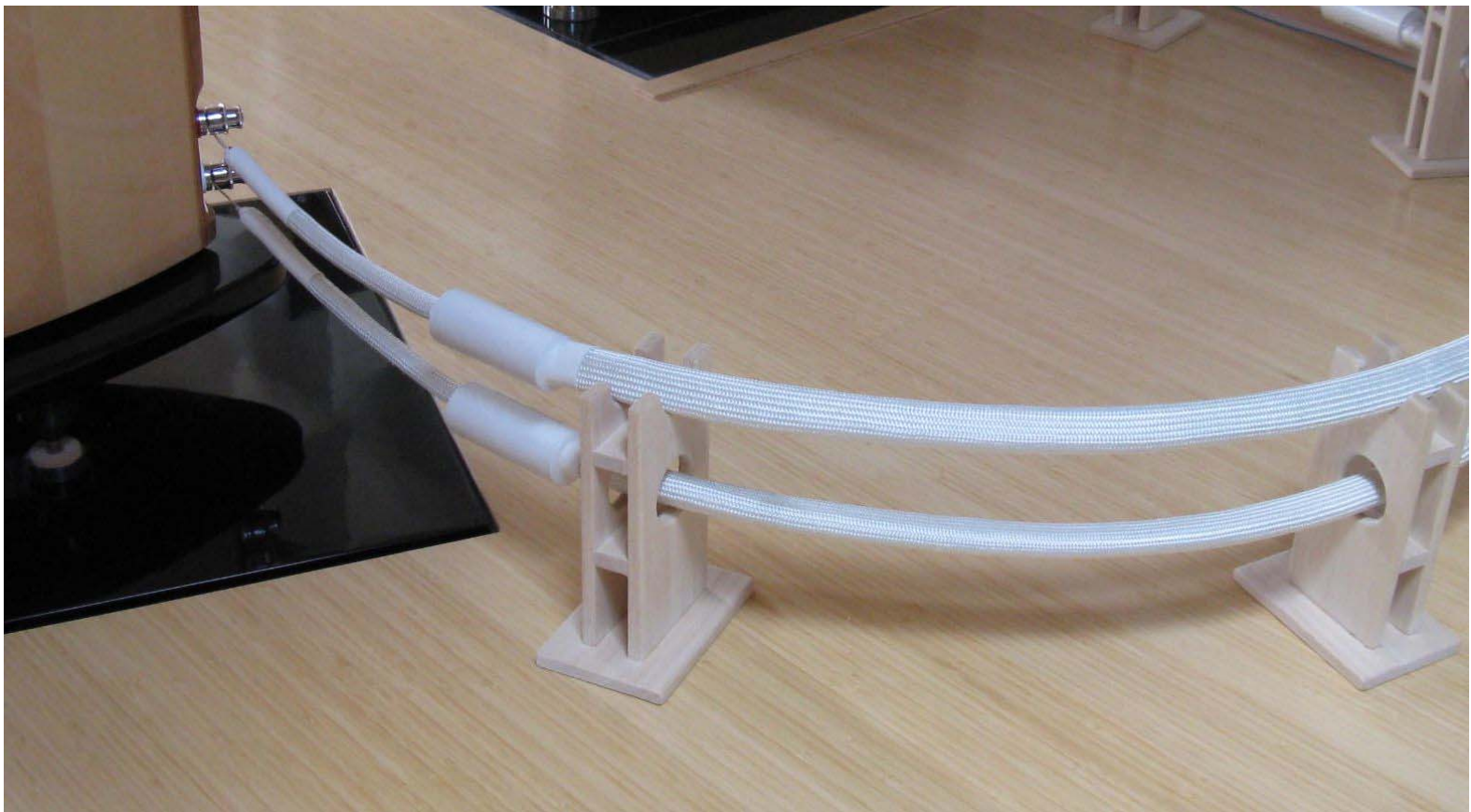


12 AWG = 2mm Ø, 3.3 mm²
=> 2mm – 2m avstand

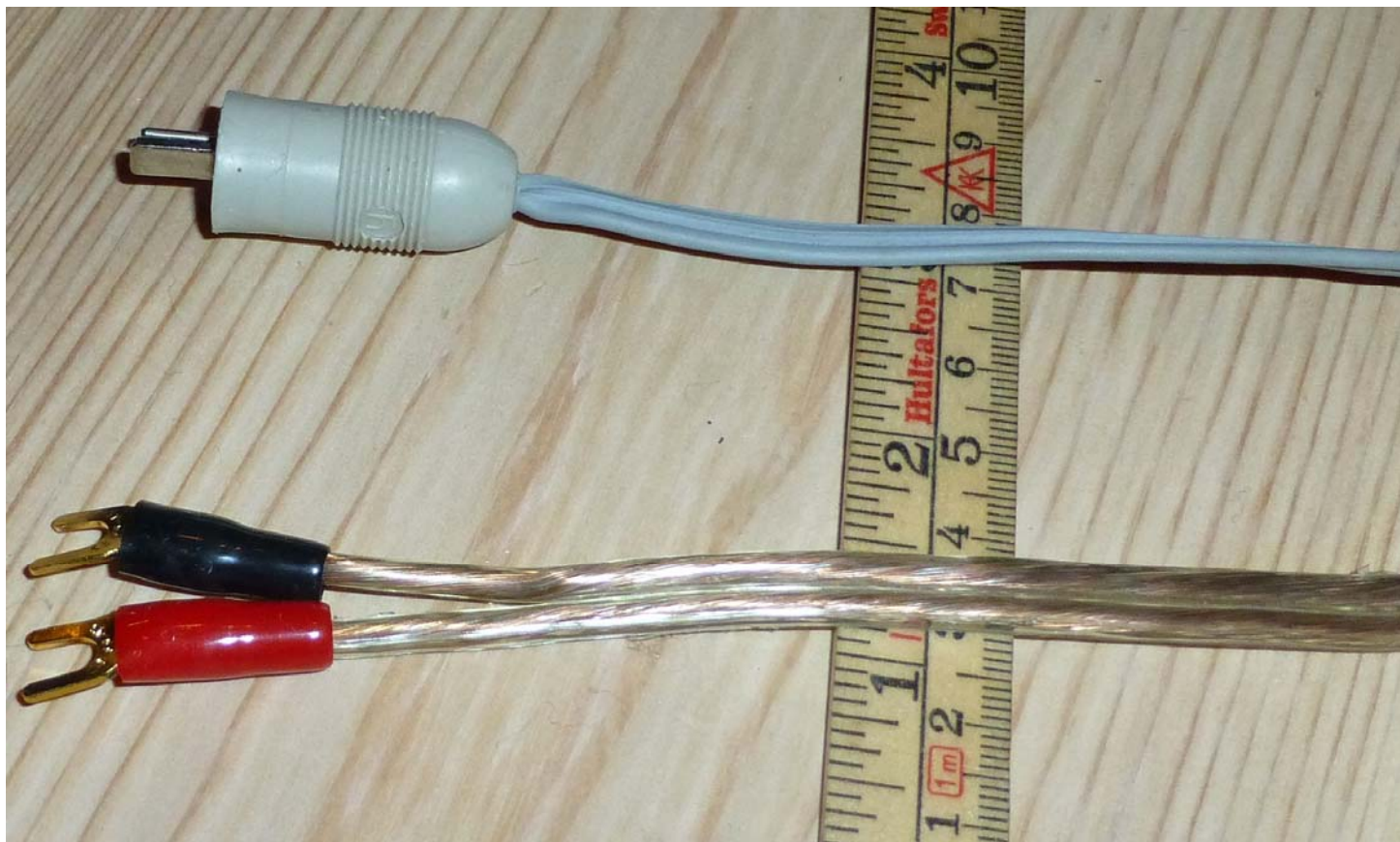
Konduktans G

- Invers motstand, målt i Siemens [mho]
- Lekkasje i isolasjonen
- Eks: CAT5: $2 \text{ nS/km} \Leftrightarrow 500 \text{ M}\Omega$
- Kan ofte neglisjeres

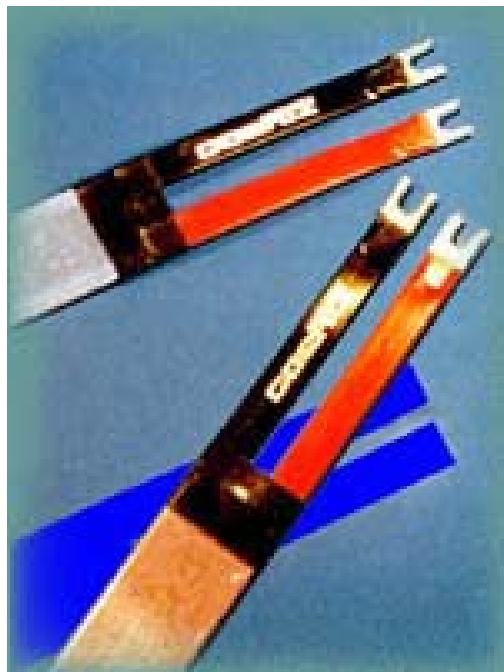
Liten kapasitans => stor induktans



Middels kapasitans & middels induktans



Stor kapasitans => liten induktans



Måter å få liten induktans uten å øke kapasitans for mye

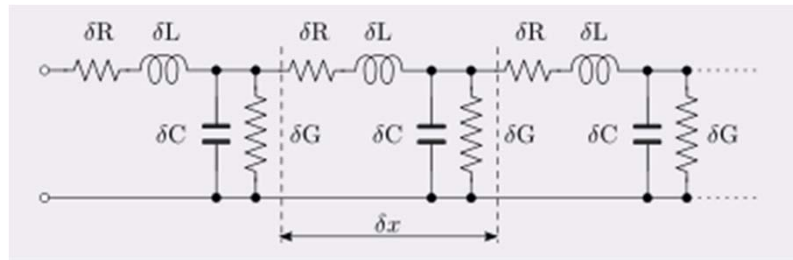


Sammenligning (etter stigende R)

	Nordost Odin Supreme	Cardas SE-9 coaxial	AWG 12 3.3 mm ²	Goertz MI1	Kimber 4PR	CAT5
R ohm/m	0.0028	0.0029	0.01	0.014	0.016	0.176
L uH/m	0.49	0.121	0.39	0.033	0.27	0.49
C pF/m	30	1145	76	1640	120	49
G nS/km	0	0	0	0	0	2

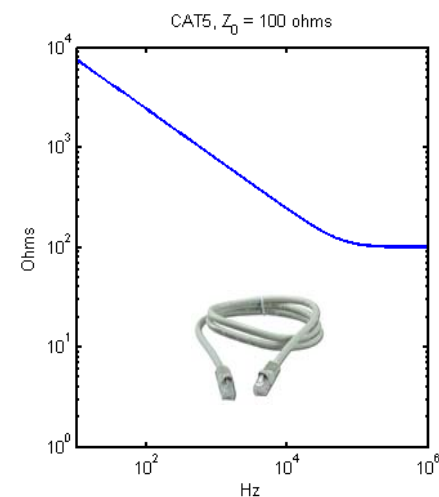
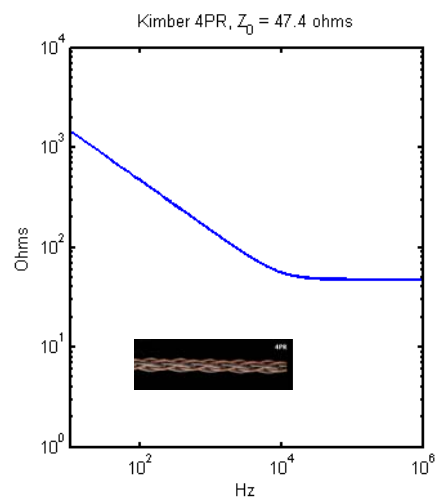
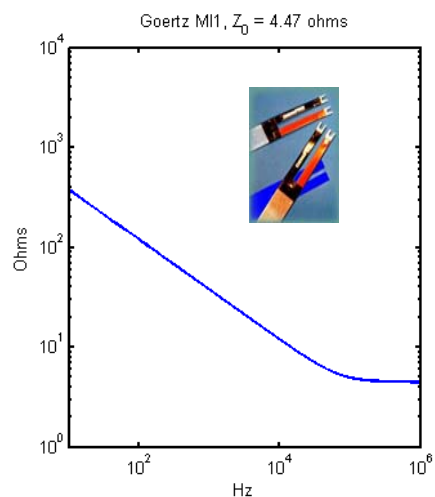
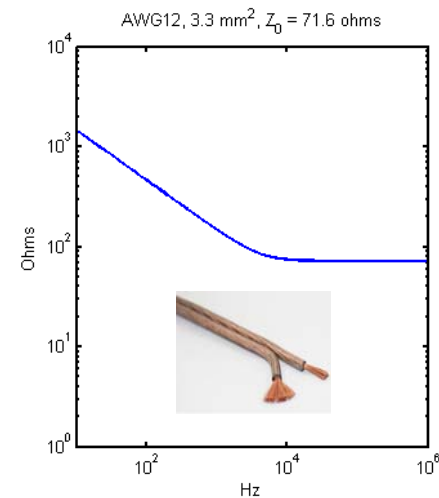
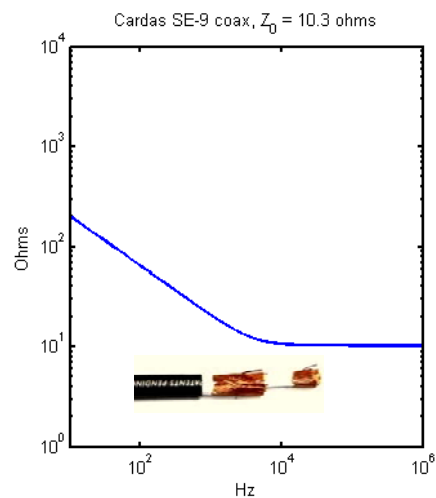
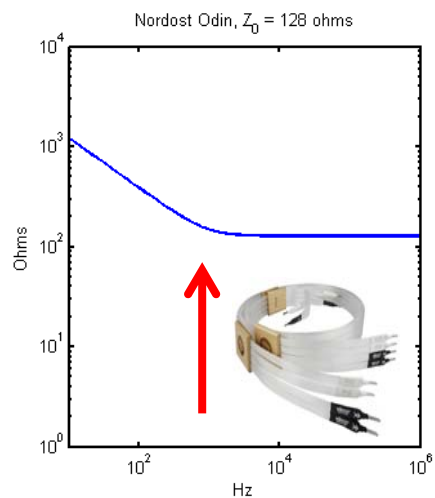


Transmisjonslinje (eksakt)

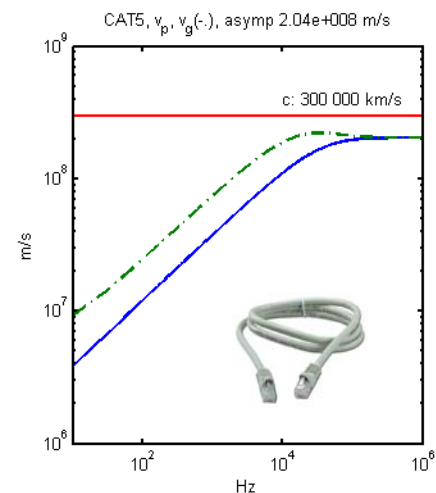
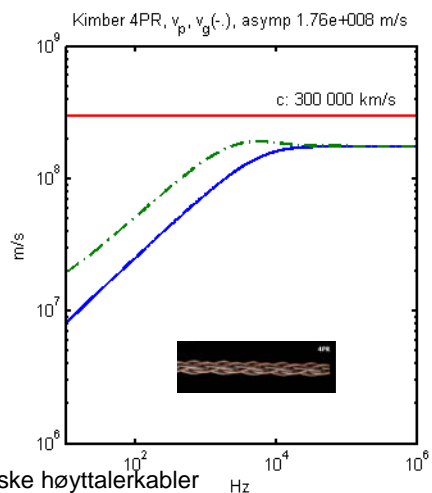
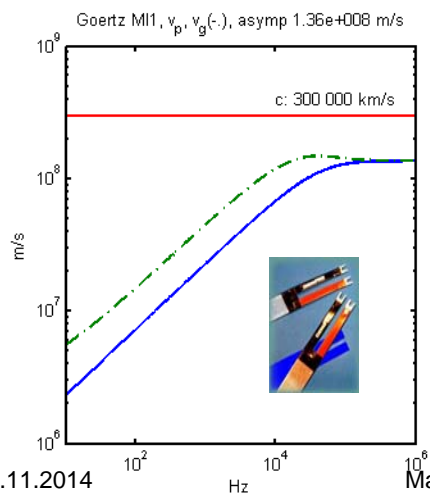
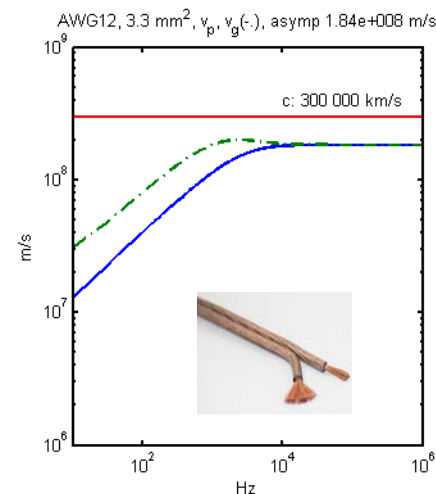
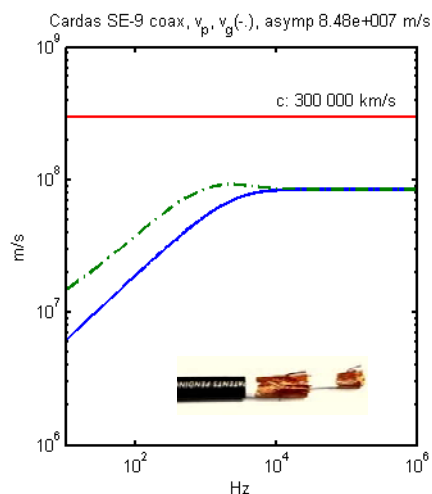
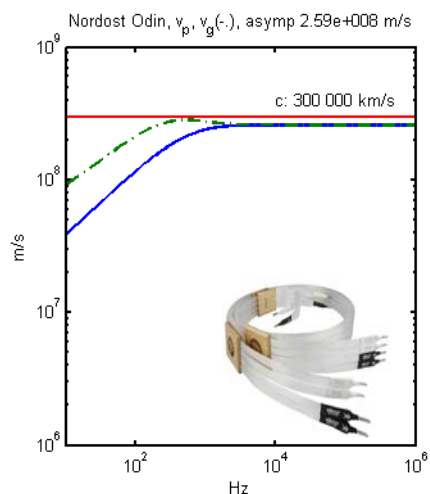


- Karakteristisk impedans: $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \sqrt{\frac{R/L + j2\pi f}{G/C + j2\pi f}}$
- Konstant $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ hvis:
 - Høye frekvenser: $R \ll j2\pi fL$, $G \ll j2\pi fC$
 - Heaviside (1850–1925): $R/L = G/C$
- Asymptotisk fasehastighet: $c_p(\infty) = \sqrt{\frac{1}{LC}}$
 - Nærmere $c=3 \cdot 10^8$ for kabler med både lite L og C

Karakteristisk impedans



Fase/gruppe-hastighet (v/ tilpasset kabel)



Transmisjonslinje

- Tilpasning:
kildeimpedans = lastimpedans = kabels
karakteristiske impedans
=> ingen refleksjoner



- Ikke relevant for kabel med lengde \ll
bølgelengde

Tilpasning?

- Stor C, liten L $\Rightarrow Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \approx 4 \text{ ohm}$
- Goertz Audio:
 - The Lowest Inductance on the market
 - Alpha-Core's Goertz MI wire presents 2 to 4 ohms characteristic impedance as opposed to 50 to 200 ohms
- Tilpasset for HF, ikke for LF
- Stor C: tøft for noen forsterkere: ustabilitet
- Flate: går under teppet



1. Ordens modell

- R, L, G, C
- Diskret lavfrekvensmodell som går over i transmisjonslinje for høye frekvenser
- Misforståelser kan oppstå hvis:
 - Transmisjonslinje brukes ved lave frekvenser
 - Diskret modell brukes ved høye frekvenser

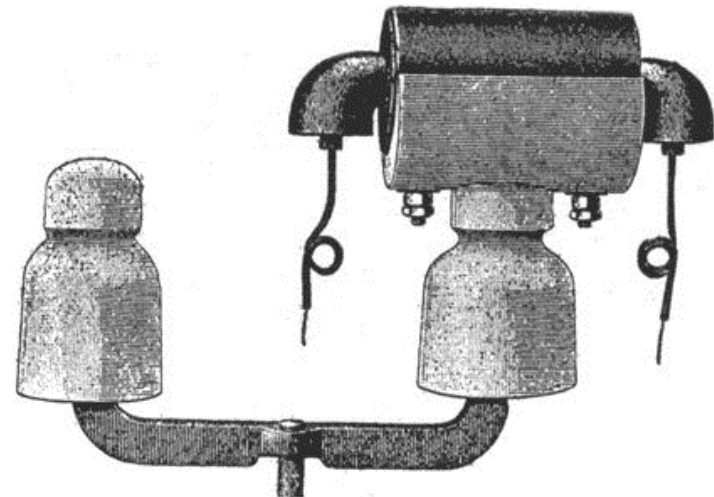
Heaviside-betingelsen for å få samme hastighet (0 dispersjon)

- $R/L = G/C$
- Da $G \approx 0$ må
 - Enten R eller C gjøres liten – er gitt av kabel
 - Eller L gjøres stor: Seriespole
- Pupin 1858 -1935: Pupin-spole på telekabel



15.11.2014

Magiske høyttalerkabler



Transparent Audio: pupin-spole



Men kablen er ikke tilpasset – en forutsetning for Heaviside-betingelsen

Øket induktans er ikke ønskelig da det demper diskant

Sammenligning (etter stigende R)

	Nordost Odin Supreme	Cardas SE-9 coaxial	AWG 12 3.3 mm ²	Goertz MI1	Kimber 4PR	CAT5
R ohm/m	0.0028	0.0029	0.01	0.014	0.016	0.176
L uH/m	0.49	0.121	0.39	0.033	0.27	0.49
C pF/m	30	1145	76	1640	120	49
G nS/km	0	0	0	0	0	2
HF: $\sqrt{\frac{L}{C}}$ ohm	128	10	72	4.5	47	100
HF: $\frac{1}{c\sqrt{LC}}$ %	86	28	61	45	59	68



15.11.2014



Magiske høyttalerkabler



51

Karakteristisk impedans og asymptotisk fasehastighet

- Parallele ledere:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\mu_R \mu_0}{\epsilon_R \epsilon_0}} \operatorname{arccosh}\left(\frac{D}{d}\right) \approx \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\mu_R \mu_0}{\epsilon_R \epsilon_0}} \ln \frac{2D}{d}$$

- Koaksial:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_R \mu_0}{\epsilon_R \epsilon_0}} \ln \frac{D}{d}$$

- Begge:

$$c_p(\infty) = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \sqrt{\frac{1}{\mu_R \mu_0 \epsilon_R \epsilon_0}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_R \epsilon_R}}$$

- ϵ_R : relativ permittivitet (E)
- μ_R : relativ permeabilitet (H)

Paradox-ale parameterverdier

- $L=0.43 \text{ uH/m}$
- $C=6.2 \text{ pF/m}$

Fysisk mulig?


$$c_p = (LC)^{-0.5} = 6.12e8 - 204\% \text{ av lys-hastigheten}$$

PARADOX AUDIO
NORWEGIAN HIGH END

“Probably the world's most honest cables.”

Home Products Shop Para? Why buy Para? Trade in Comparison chart Support center News Cart: 0

Paradox Audio - Limited Edition



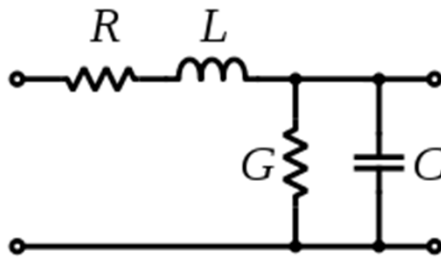
Limited Edition is not for sale. It can only be obtained through winning contests which makes it totally unique. It's made of high quality materials and comes with 2x4mm conductors. Limited edition has incredibly low resistance and inductance all wrapped in a high end design to compliment your high end setup.

Specifications:

Conductors:	2x11 AWG (4mm) 99.99% pure solid OFC
Insulation:	PVC layers covered with high quality braided sleeving
Measurements:	11.5 mm OD
Resistance:	0.00126 Ohm pr/ft
Inductance:	0.13 uH pr/ft
Capacitance:	1.9 pF pr/ft
Max current:	62 Amps

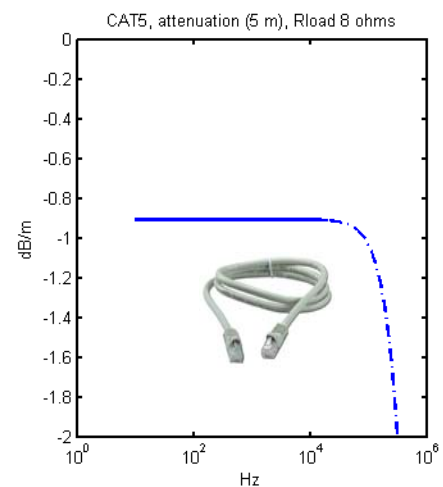
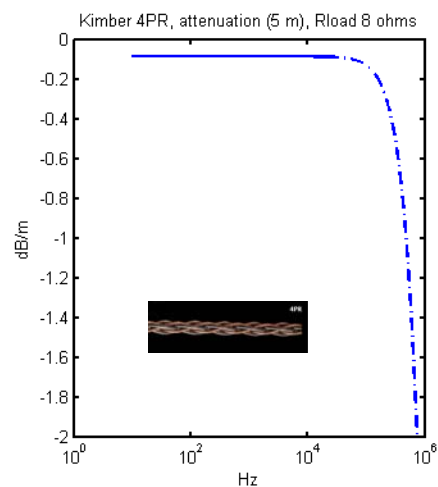
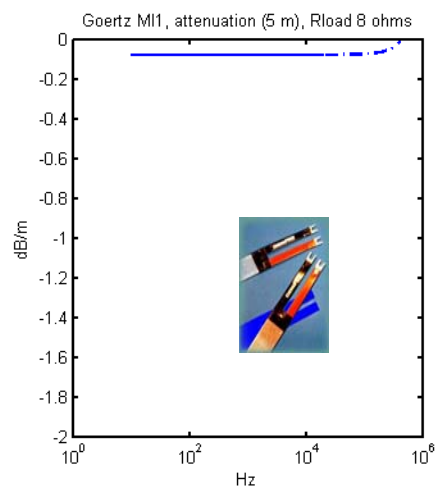
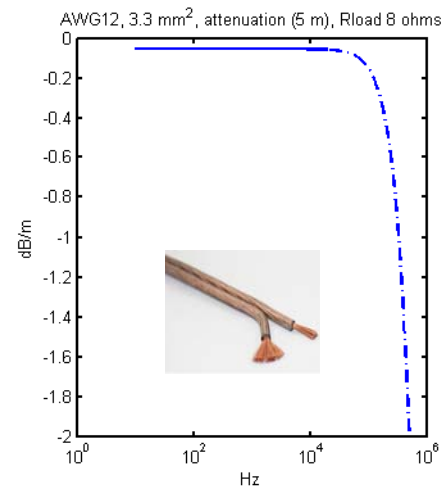
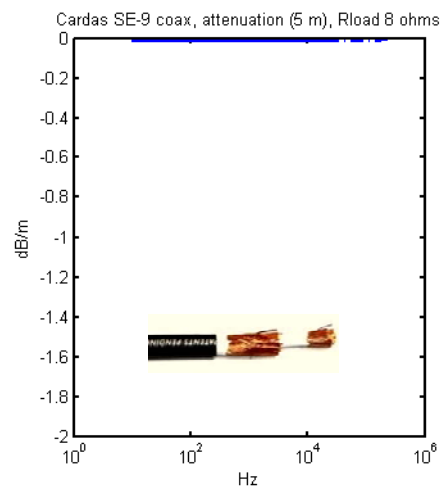
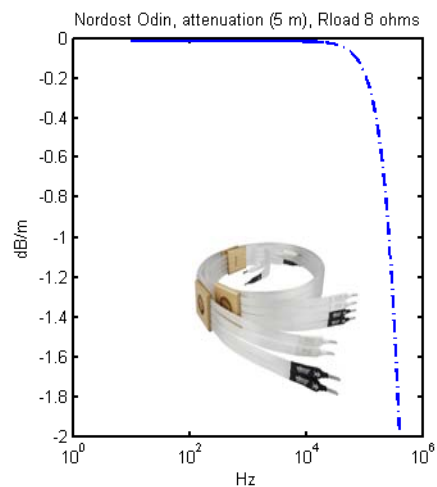
Hva sier en 1. ordens modell?

- Både L og C demper høye frekvenser

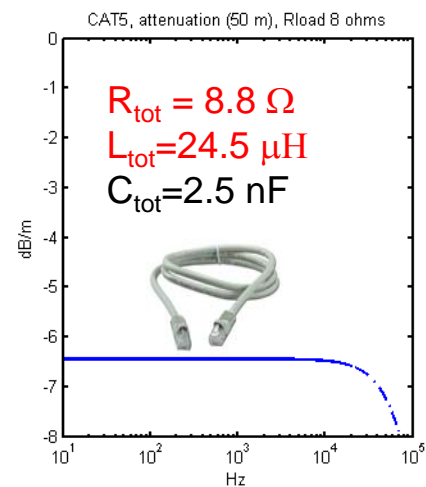
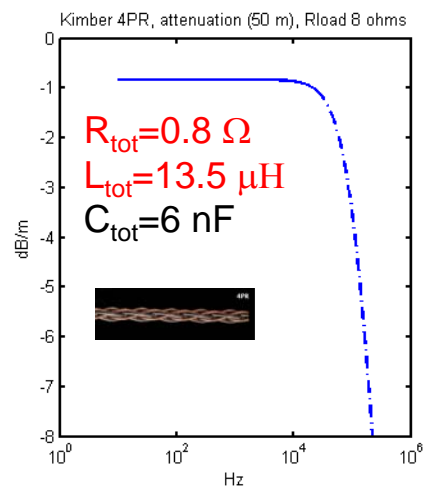
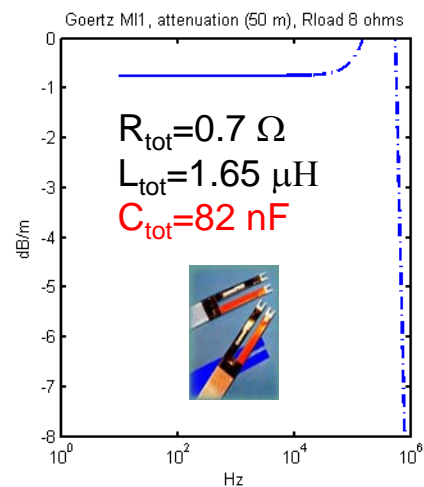
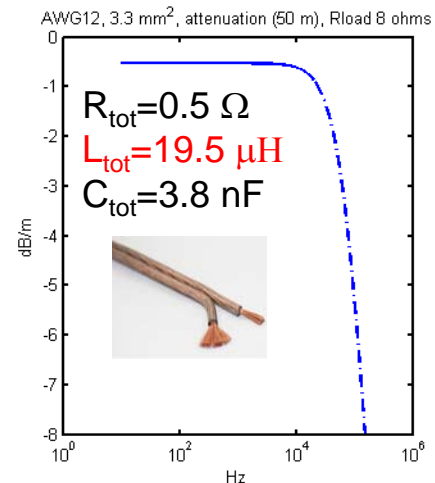
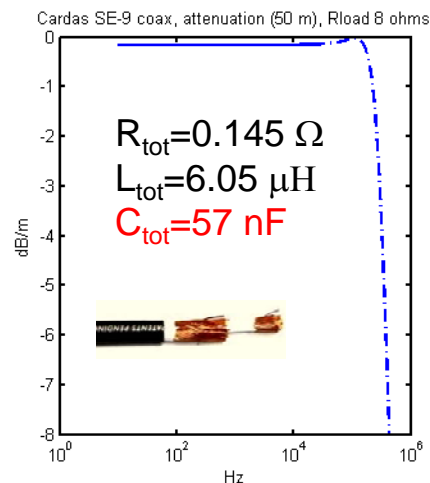
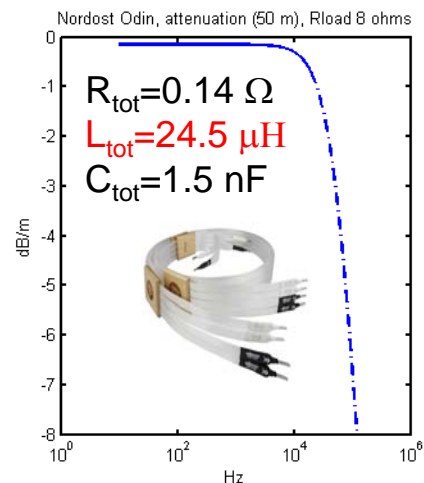


- Ved lav-ohmig last (4, 8 Ω) teller L mest
- Lav L er mye viktigere enn lav C
- NB! Motsatt ved signalkabler

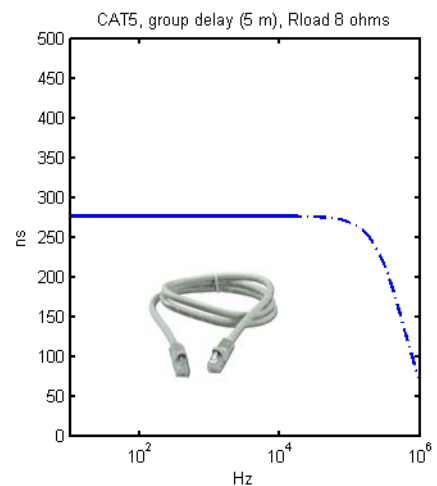
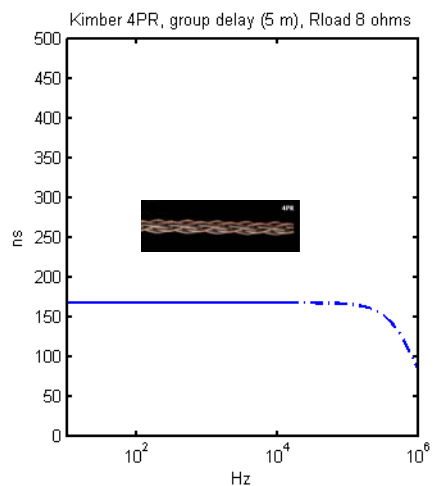
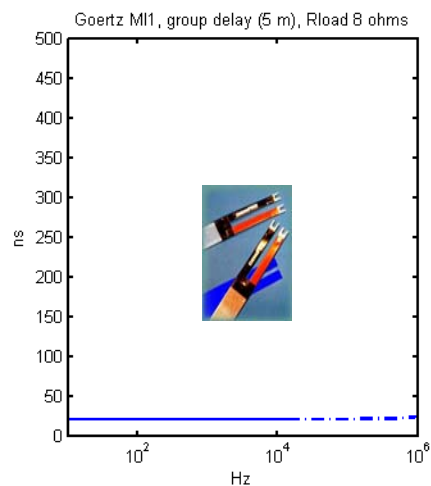
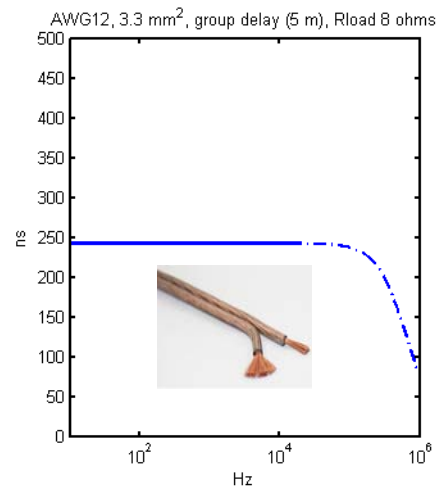
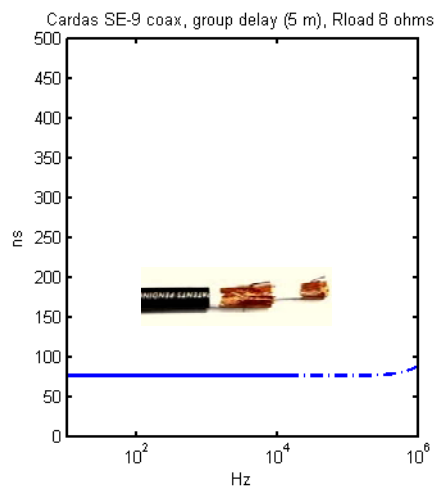
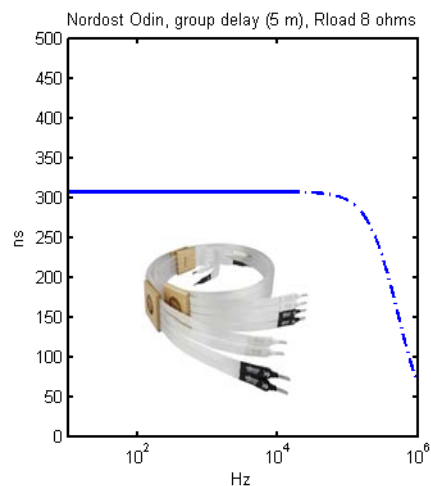
Damping – 5 m kabel



Damping – 50 m kabel

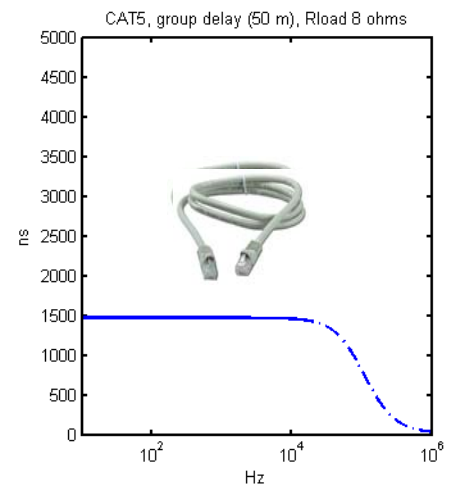
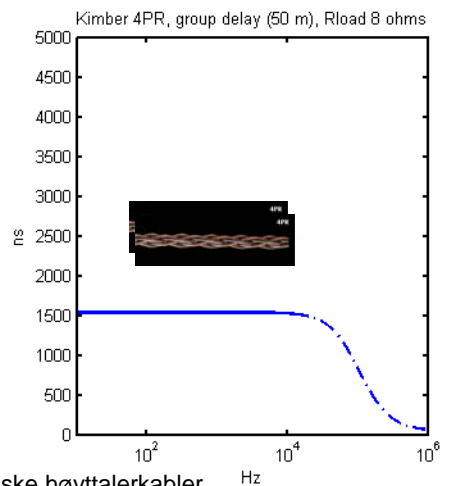
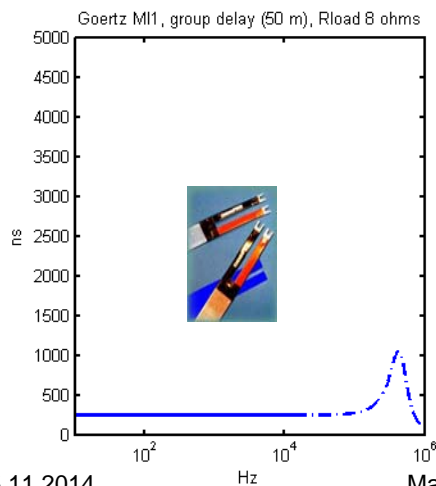
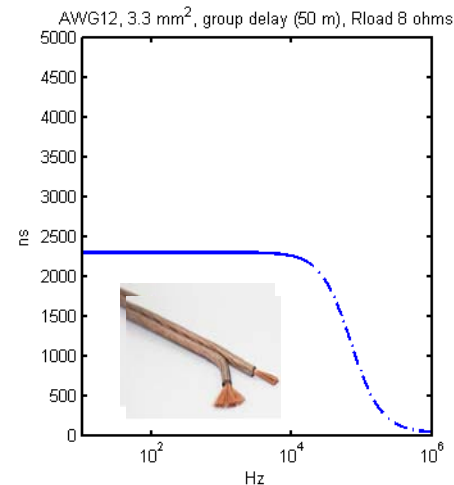
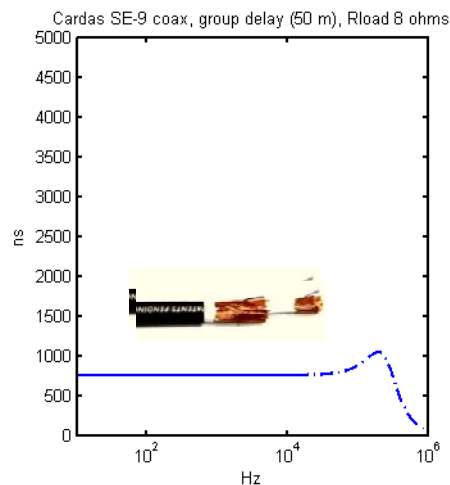
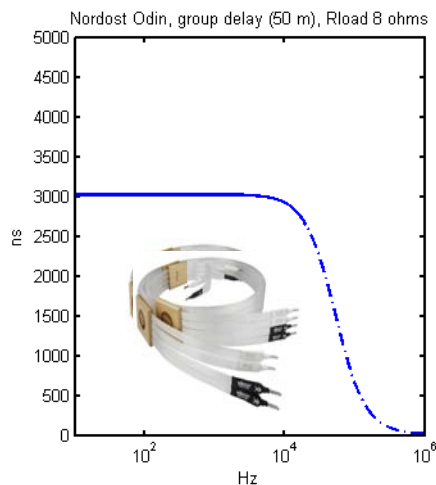


Forsinkelse – 5 m kabel



Så lenge
forsinkelse
er konstant opp
til 20 kHz spiller
ikke absolutt
verdi stor rolle

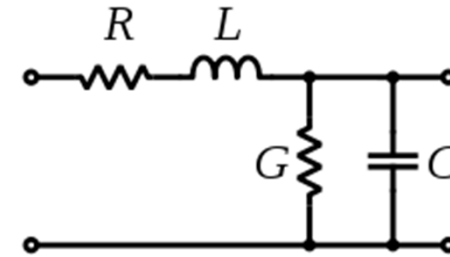
Forsinkelse – 50 m kabel



Frekvensrespons vs firkantpulstest

- Enda lettere å se ved en firkantpulstest – legger enda mer vekt på HF egenskapene
- Men frekvensrespons svarer best til hva hørselen er ute etter.
- Selv om noe kan måles behøver det ikke være viktig!

Resonans?



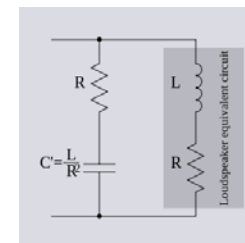
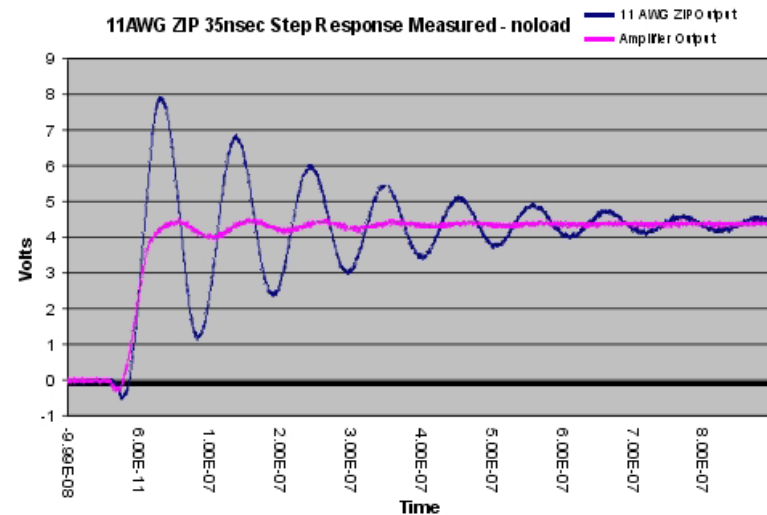
- Resonans mellom L og C: $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
- 3 m kabel med 0.656 uH/m og 72 pF/m:
 - 1.97 uH og 216 pF gir $f_0 = 13.4$ MHz
- Elektrisk bølgelengde ($c = 2/3 c_0$): ca 14.9 m
- Men da er jo ikke betingelsen kabellengde \ll bølgelengde oppfylt lenger
- Den enkle modellen gjelder ikke. Toppene i dempingsplottene foran er ikke helt reelle.

Resonans?

- “Målt resonans: 9.2 MHz”, 4.86 m kabel
- Nær $\frac{1}{4}$ bølgelengde:
Refleksjon, ikke resonans!
- Empirical Audio: Anti-resonant terminations
- Music Interface Technologies:
Multipole network technology
 - Series resonance at 150–1500Hz.
 - Parallel resonance at higher freq.
- Zobel: $R+C$?

15.11.2014

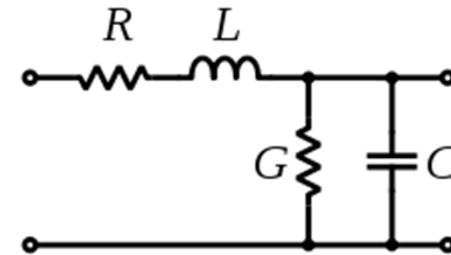
Magiske høyttalerkabler



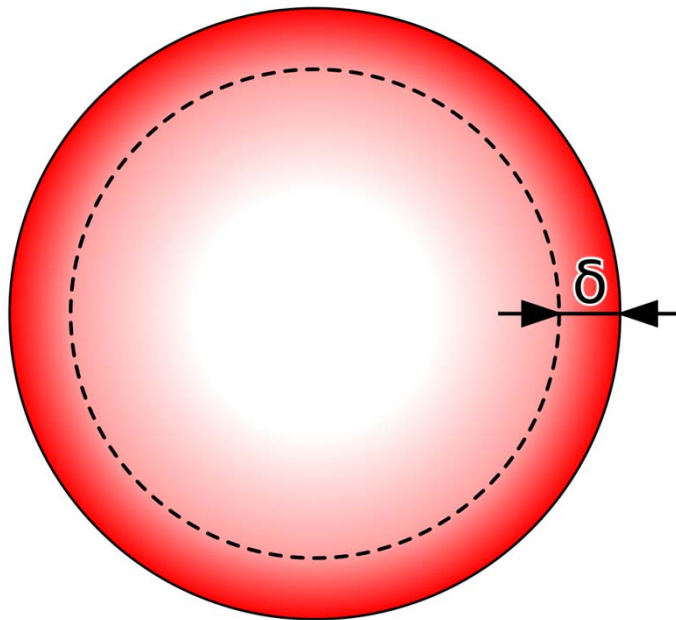
2. ordens effekter

2. ordens modell og effekter

- R varierer med
 - 2.1 Frekvens: Skinn- og proksimitetseffekt
 - 2.2 Signalnivå: Distorsjon pga flertrådet kabel
 - 2.3 Distorsjon pga manglende renhet i materialet
 - 2.4 Mikrofoni
- 2.5 Hukommelseeffekter i C



2.1 Skinneffekt

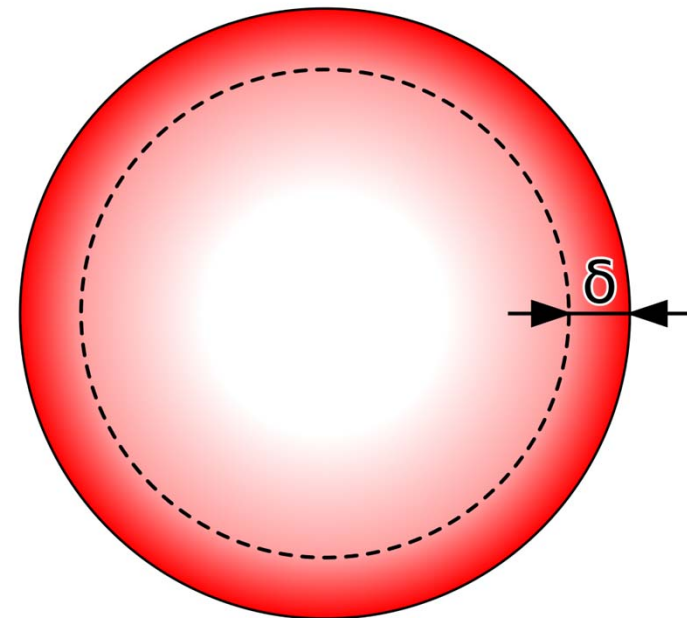
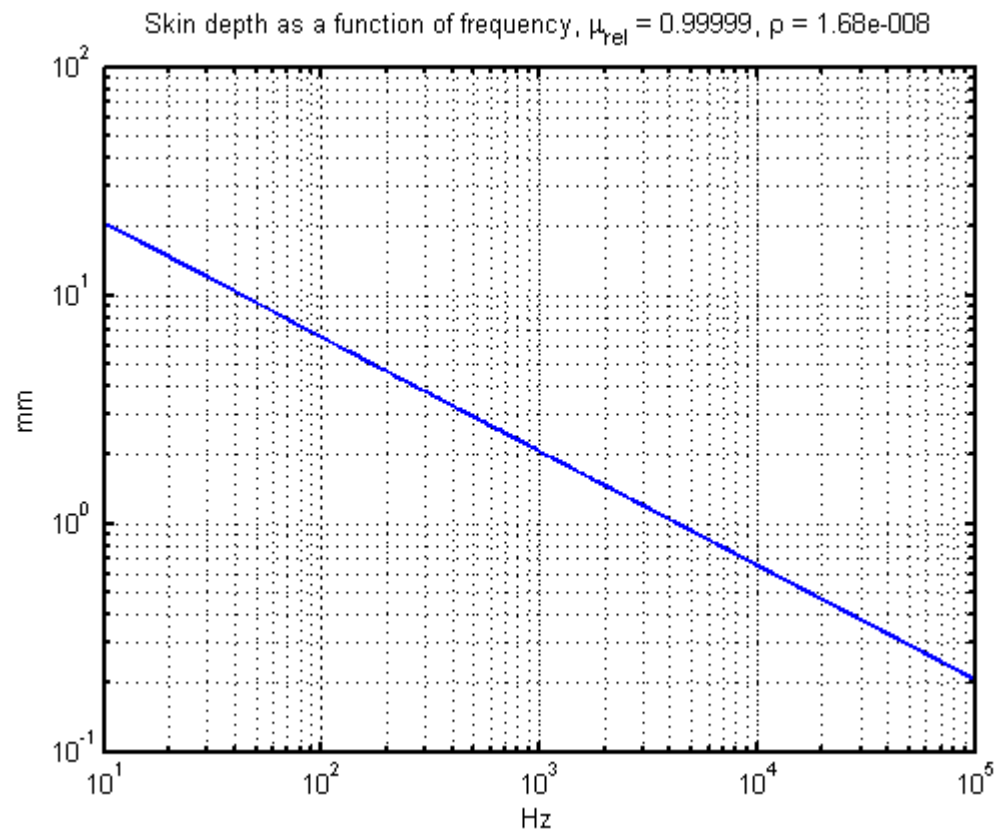


$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{2\pi f \mu_r \mu_0}}$$



50 Hz, Cu: $\delta = 9.3$ mm.
Bruker flere parallelle ledere

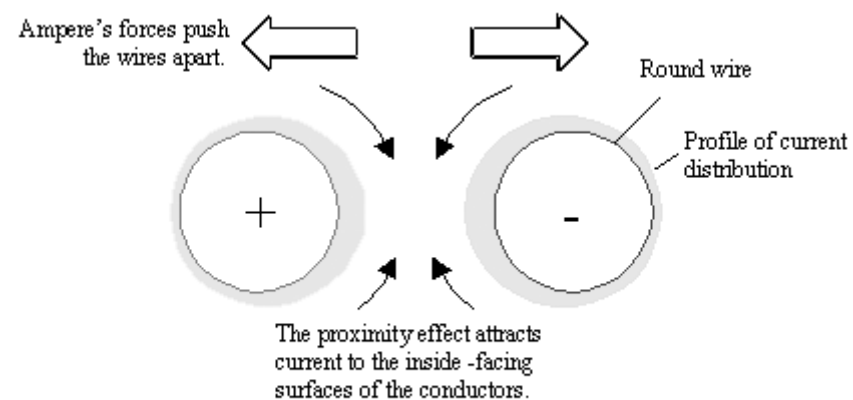
Skinndybde - frekvens



20 Hz: $\delta \sim 15$ mm

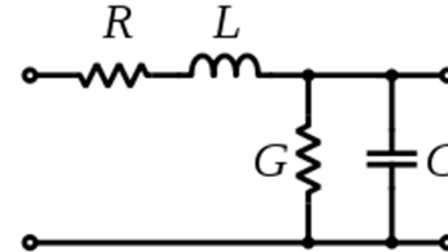
20 kHz: $\delta \sim 0.5$ mm

Proksimitetseffekten

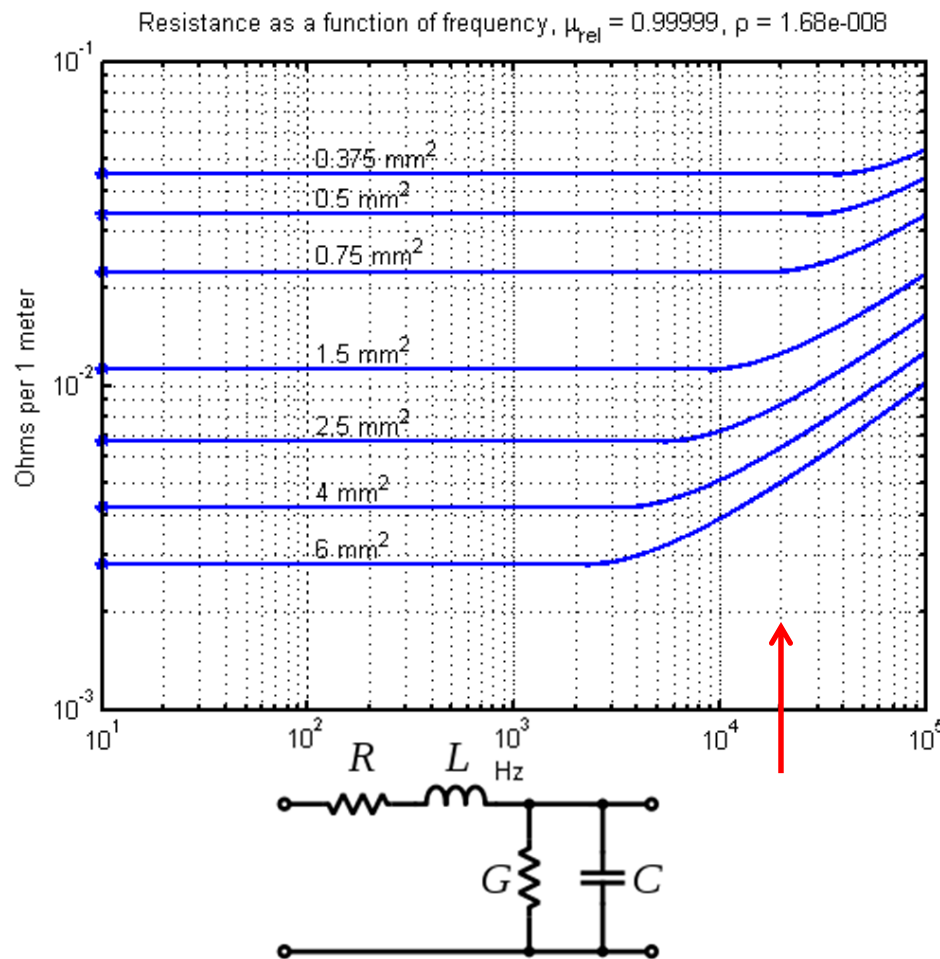


2. ordens modell: Effektiv motstand varierer

- R varierer med frekvens pga
 - Skinneffekten
 - Proksimitetseffekten



Effektiv motstand inkl skinneffekt



15.11.2014

Magiske høyttalerkabler

Induktans vs resistans

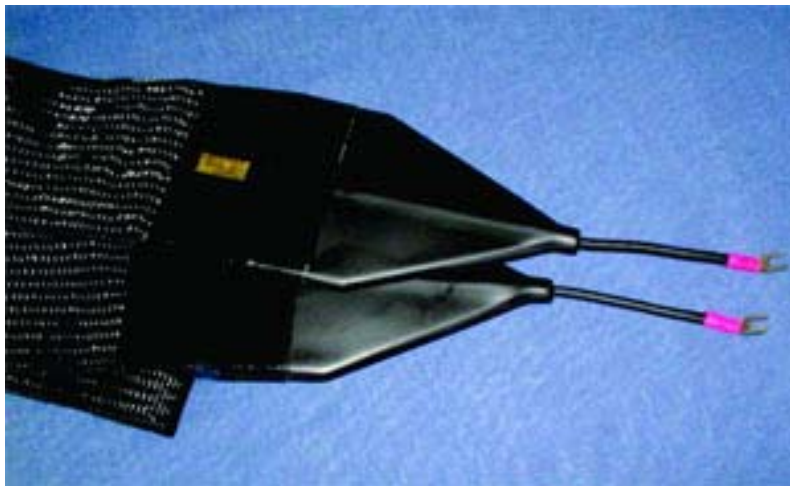
1.5 mm²:

- $R = 0.011 \Omega/m$ øker til $0.012 \Omega/m$ @ 20 kHz
- $L = 0.66 \mu H/m \Rightarrow 0.082 \Omega/m$ @ 20 kHz,
- Z_L @ 20 kHz $\sim 7 \times R$

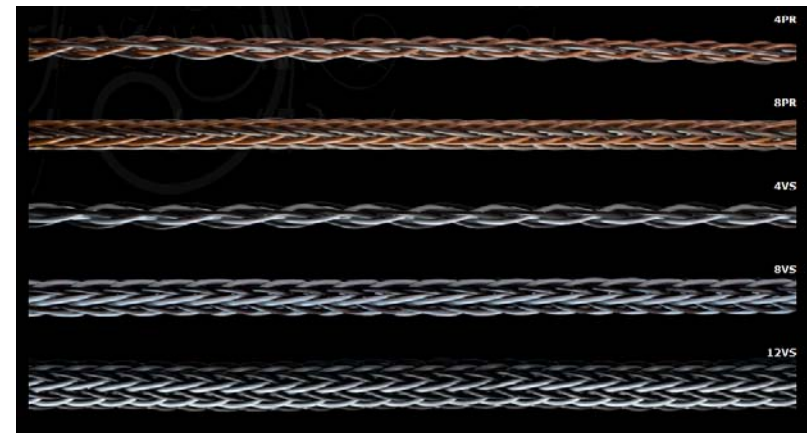
6 mm²:

- $R = 0.0028 \Omega/m$ øker til $0.005 \Omega/m$ @ 20 kHz
- $L \approx 0.5 \mu H/m \Rightarrow 0.062 \Omega/m$ @ 20 kHz
- Z_L @ 20 kHz $\sim 12 \times R$

Minimalisering av skinneffekt: Flate ledere



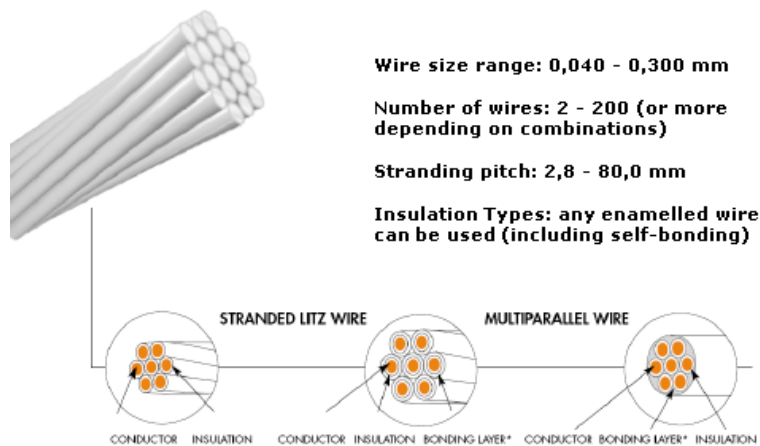
Minimalisering av skinneffekt: Mange ledere



2.2 Resistans som er signalavhengig

- Noen hevder at overgang mellom uisolerte tråder i kabel skaper distorsjon
- Derfor anbefales individuell isolering av tråder i kabel: Litz
- Slik distorsjon burde kunne måles – men finnes slike målinger?

2.2 Litztråd



- Brukes ved HF pga skinneffekt
- Ved LF er tråddiameter \ll inntrengningsdybde
- Motivasjon er ofte en annen ved audio enn ved HF

Counter Helical Litz Array

- The CHeLA OCC speaker cable is made of 48 individually insulated 24 AWG SOLID OCC (Ohno Continuous Cast) copper conductors that are insulated with VH Audio's AirLok™ dielectric.
- VH Audio's AirLok™ dielectric is a proprietary form of foamed/cellular **Fluoropolymer that has a dielectric constant of LESS than 1.5 and an extremely low dielectric absorption.**
- The 48 OCC copper conductors are braided into VH Audio's Counter Helical **Litz** Array™ geometry (C.He.L.A.) around a core containing strands of unbleached cotton.
- This special self-shielding speaker cable geometry results in **very low inductance (.011 uH*)**, reasonable capacitance (230 pF*), and low DCR (1.35 milliohms per foot*).
- Additionally, the CHeLA geometry results in more symmetrical field interaction between strands vs. conventional braided designs.
- Aggregate AWG for each grouping of 24 conductors is 11 AWG, and approximate cable diameter is 3/4"



Litz i høyttalerkabel

Clear Beyond

Beyond the demands of any loud speaker or amplifier combination imaginable. No impedance dip or current flow demand is a challenge in any way.

Technical Specifications:

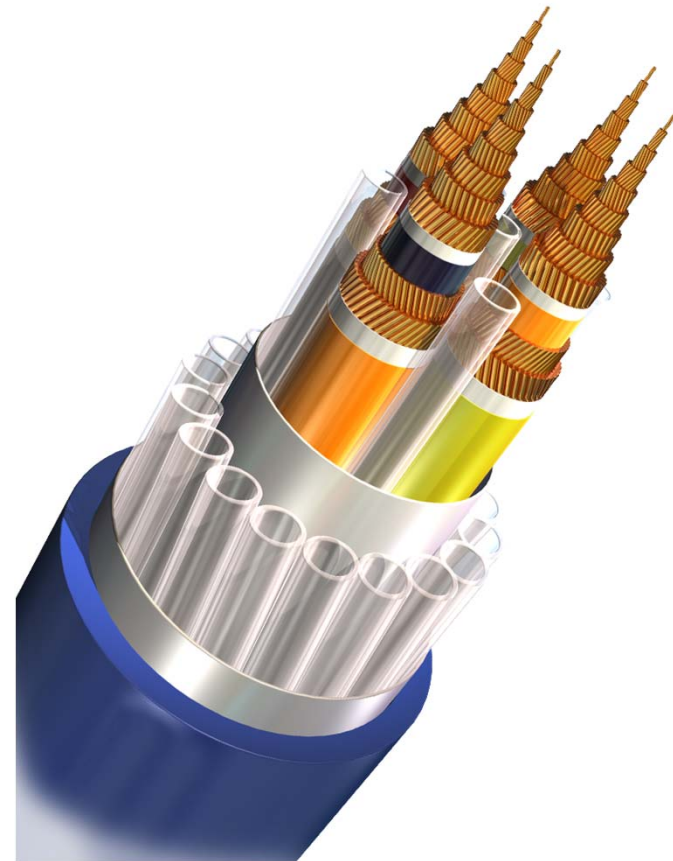
Construction

.934" O.D., Cardas copper, PFA & air dielectric, 8 x 9.5 AWG conductors, Golden section, perfect mirror oct-axial construction, Matched Propagation, litz, Alcryn jacket.

Measurements:

Capacitance: 446 pf/ft

Inductance: .01 uh/ft



Gylne snitt – Eks på parameter som fjerner seg fra vitenskap/ingeniørfag

2.3 Resistans som er signalavhengig: Metall og renhet

- The SSPC-2.5 speaker cable contains two high purity **silver core conductors**, allowing music signals to be transferred fast and accurately.
- To assure the highest signal fidelity, the SSPC-2.5 silver speaker cable is equipped with anti-magnetic, **24K gold coated spade terminations**.

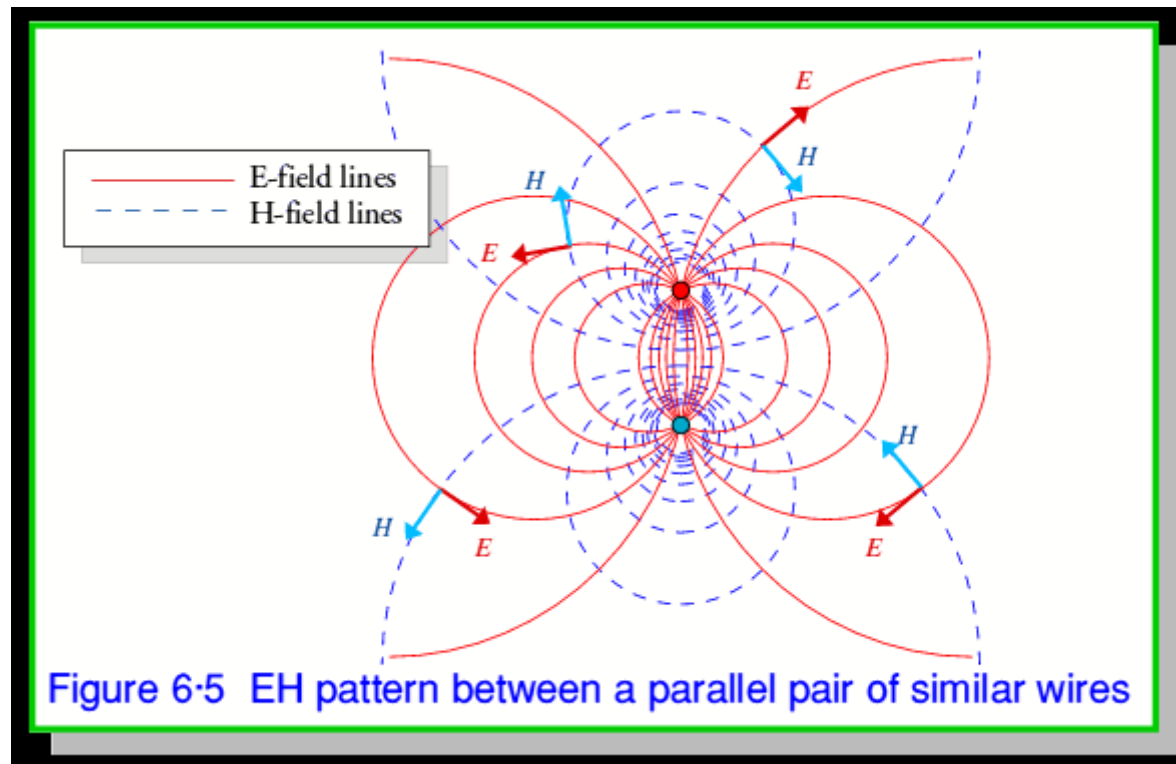


Elektronstrøm i metall

- Elektroners
drifthastighet:
<< titalls m/s avh av
frekvens, feltstyrke
- 500 km & 10 m/s:
Nesten 14 timer



Hvor overføres egentlig energien?



Elektromagnetisk felt

- Energien overføres som E-H felt rundt kabelen
- All strøm som går i lederen representerer tap
- Vanskelig å se at andre ting enn resistivitet teller da

Metall og renhet

- $R = \rho \cdot l / A$
 - ρ : resistivitet, $\Omega \cdot \text{m}$
 - Sølv: $1.59 \cdot 10^{-8}$
 - Kobber: $1.68 \cdot 10^{-8}$ (20 C)
 - Gull: $2.44 \cdot 10^{-8}$
- Sølv: 5% lavere motstand enn kobber
- Sølv er stivere, mer uhåndterlig, vesentlig dyrere
- Hvorfor ikke bare bruke 5% mer kobber?

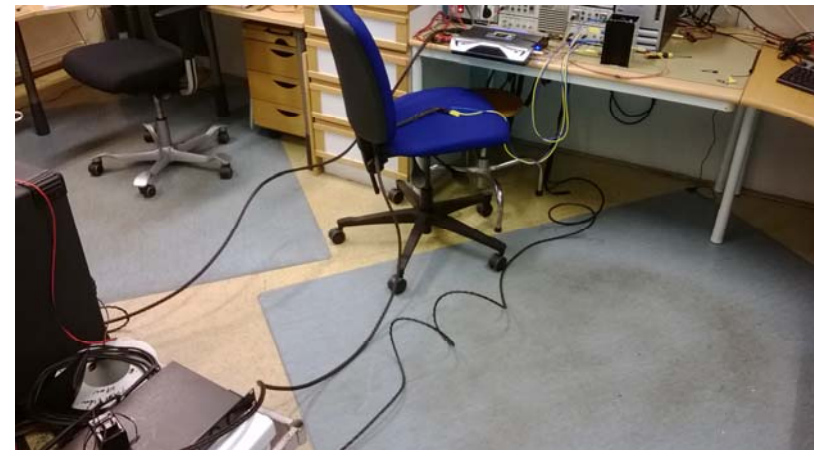
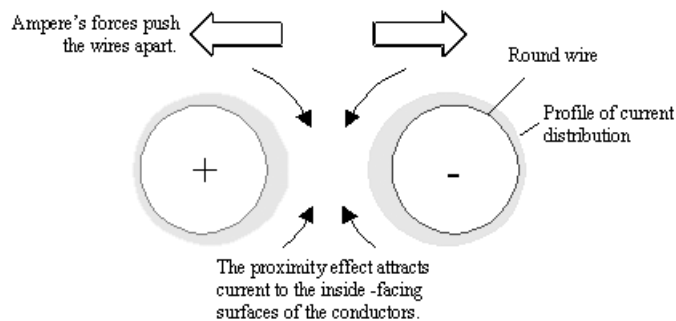
Renhet i metall og dielektrikum

- OFC – Oxygen-free copper



2.4 Mikrofoni

- Krefter pga kraftig LF-signal kan potensielt flytte på trådene:
 - Strømfordeling endres
 - Intermodulasjon?
 - Induseres spenninger?



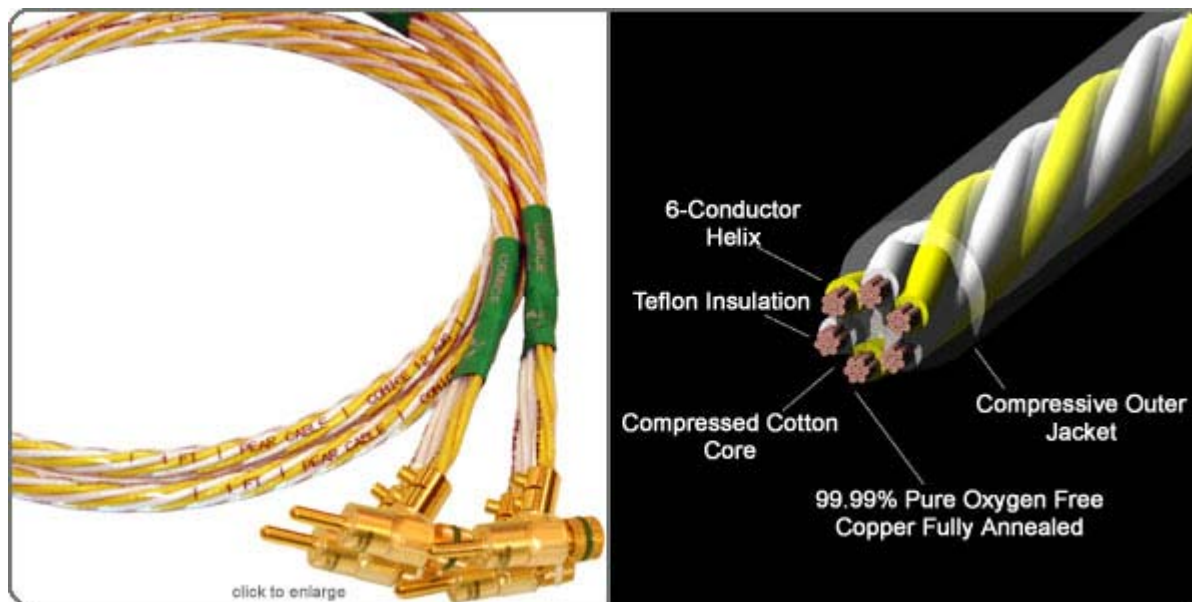
Resultatløs måling på E-lab,
Fysisk institutt, UiO

- Takk til Norwegian Custom Media Solution for lån av Kimber 8PR

Løst flettet eller ytre «skall» som pakker kablene sammen



Hjemmelaget
basert på CAT5



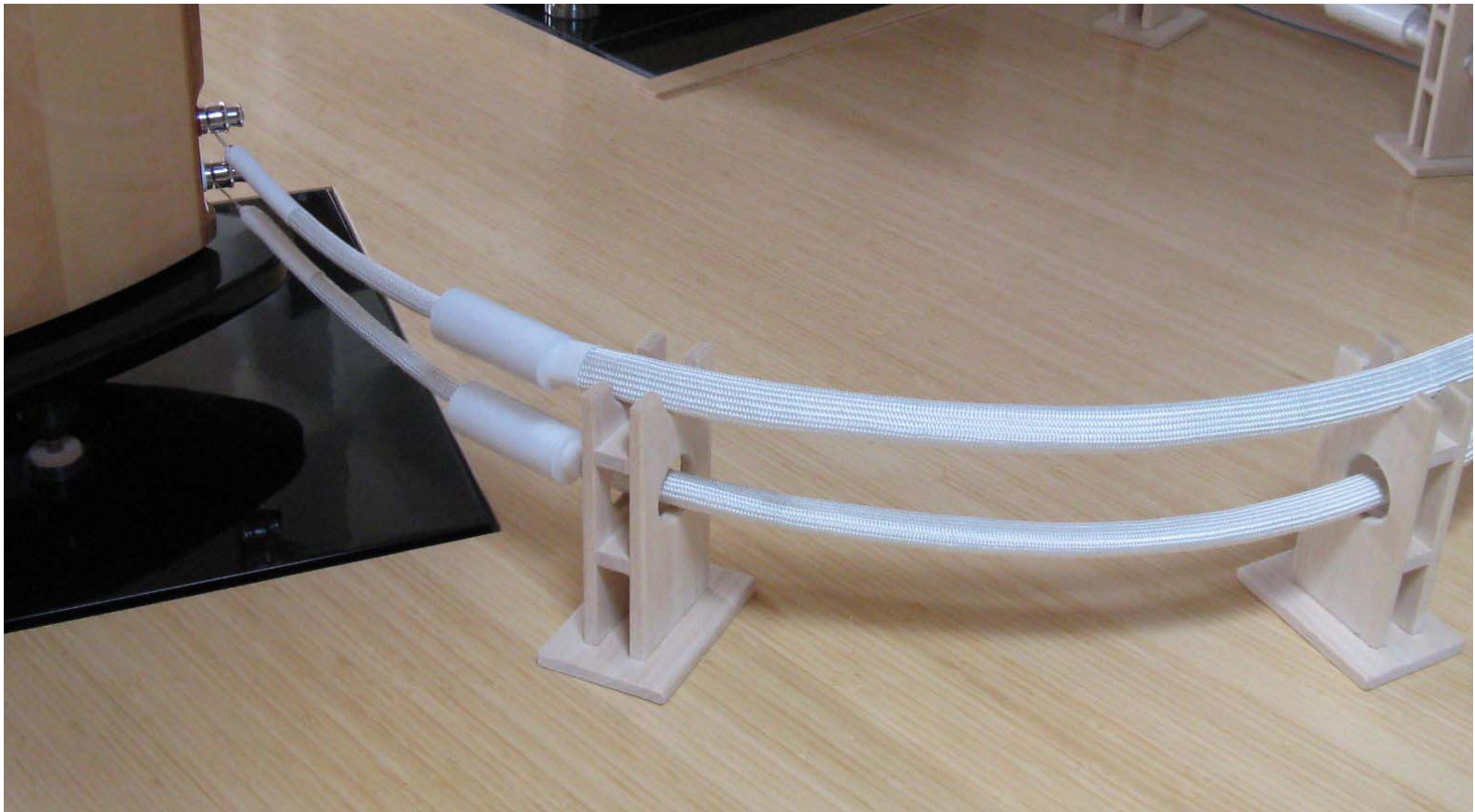
2.5 Hukommelse – dielektrisk absorpsjon

- 220 μF /63 Volt
- 10 Volt i 60 s
- Utlades i 6 s

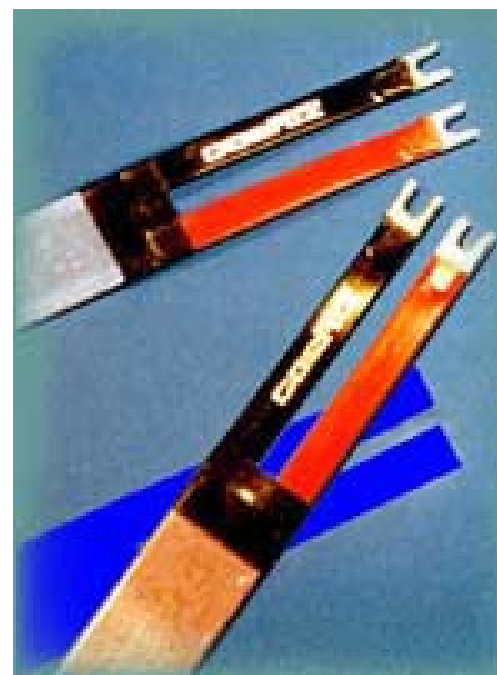
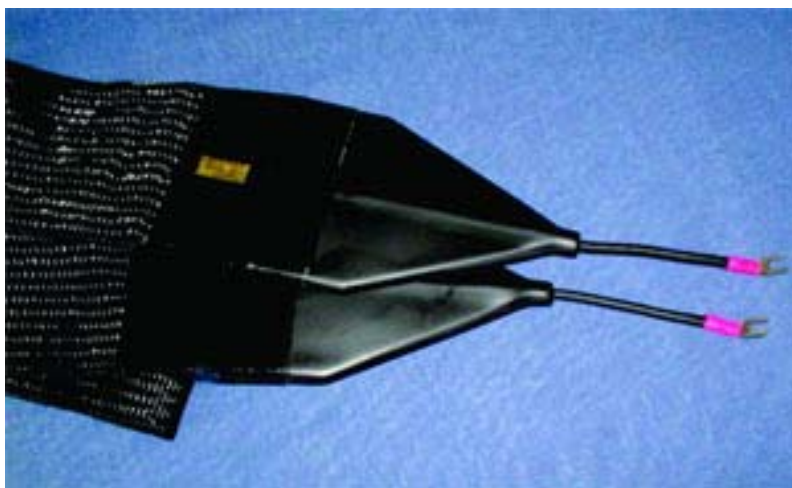


- Westerlund & Ekstam, "Capacitor theory," IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation, 1994
- Ikke-heltallig derivert: $i = C d^a u / dt^a$, $a \lesssim 1$, $Z = 1/C(j\omega)^a$
- http://www.youtube.com/watch?v=vhHog_yCQ4Q

Minimal C – lite dielektrisk absorpsjon?



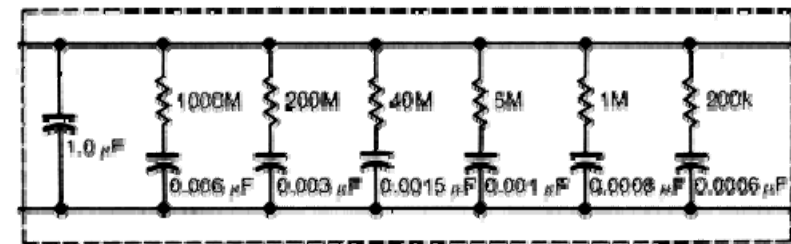
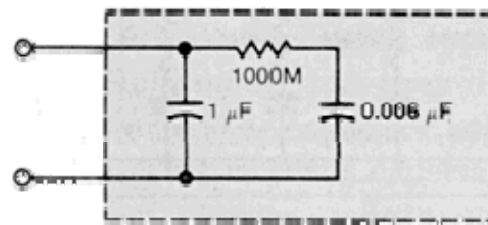
Mye C – mye dielektrisk absorpsjon?



Hukommelse i kapasiteter & dielektrisk absorpsjon

- Liten effekt når det er så liten kapasitans som i en kabel
- Best isolator luft, så teflon

Modell for dielektrisk absorpsjon "soakage"



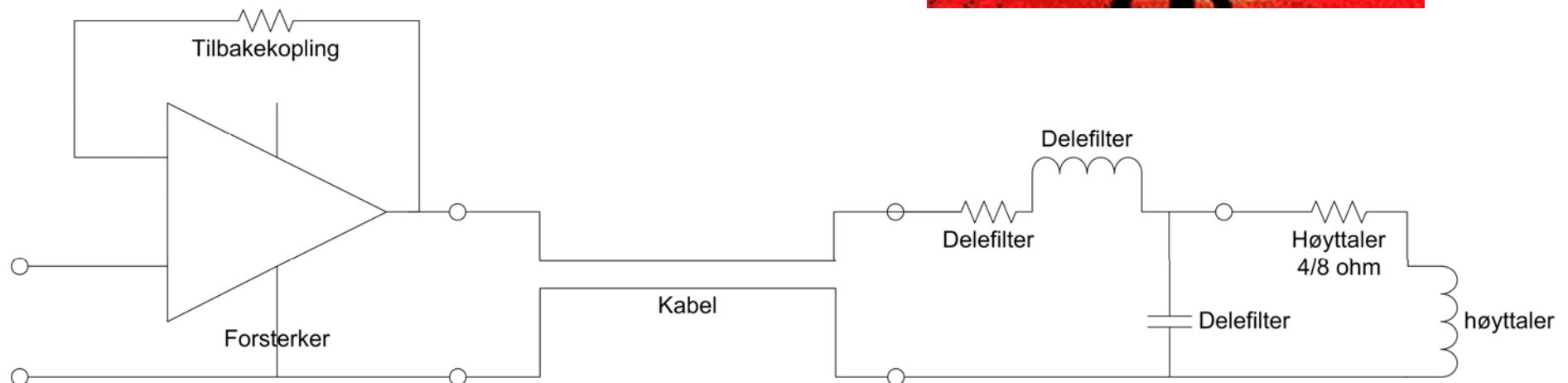
- Ingen ulinearitet her: bare masse R og C
- Effekten er kanskje der, men den er ikke skadelig!

Bob Pease: <http://www.datasheetarchive.com/files/national/htm/nsc03883.htm>

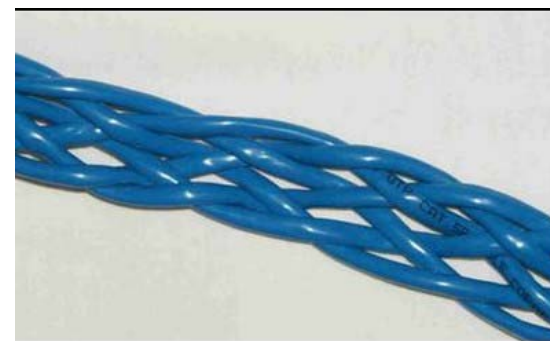
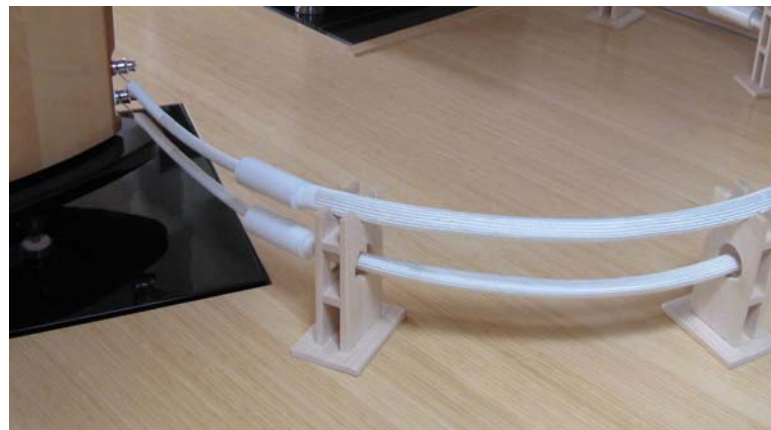
Andre effekter

Innstråling: kabel = antenne

- Kringkasting AM, FM,...
- Plasmaskjermer
- + forsterkere med dårlig HF-undertrykking i tilbakekobling



Åpen kabel er best antenne Flettet eller coax er dårligst



Mer realistisk enn last = 4, 8 ohm

- Målt mot 3-veis høyttaler
- Alle effekter er med
- Davis, Effects of cable, loudspeaker, and amplifier interactions, J. Audio Eng. Society, 1991

Impedans faller med frekvens – avslører kabler effektivt

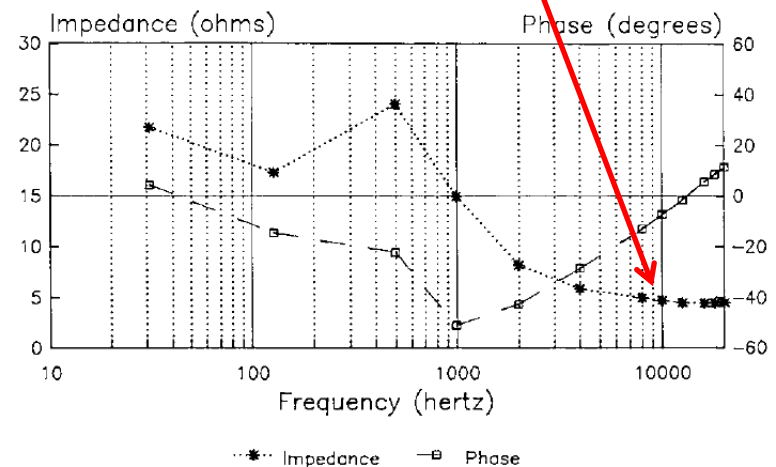


Fig. 6. Impedance and phase response of loudspeaker A.

between the sampled frequencies. Loudspeaker A is a three-way design with an acoustic suspension woofer, three dome midrange drivers, and three dome tweeter drivers. It exhibits mostly capacitive reactance (negative phase angle) at the frequencies sampled between 127 Hz and 12 kHz, with its lowest impedance of 4.8 Ω above 8 kHz. Loudspeaker B is a two-way system with

Davis 1991: Måling med realistisk forsterker og høyttaler – 3.1 m kabel

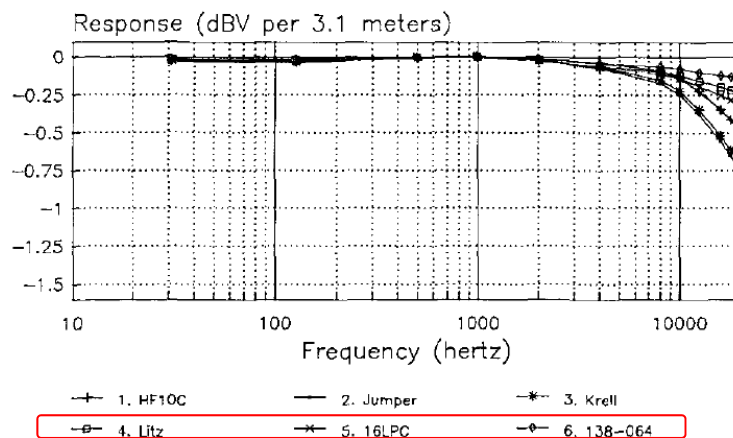


Fig. 15. Complete system response for amplifier B with loudspeaker A, cable samples 1–6.

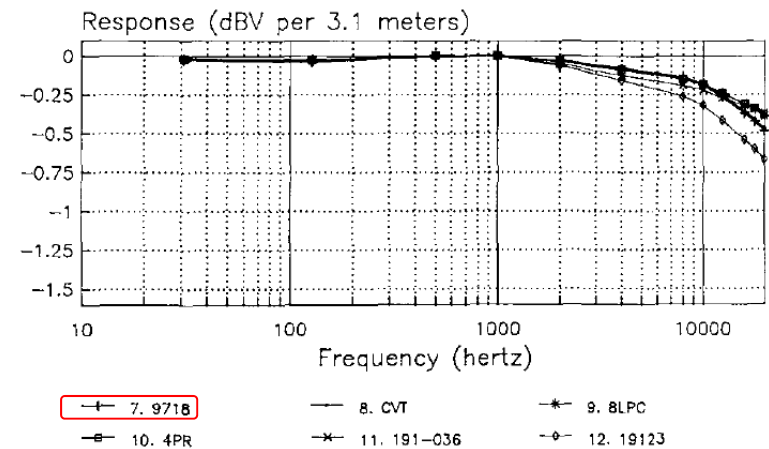


Fig. 16. Complete system response for amplifier B with loudspeaker A, cable samples 7–12.

1. Spectra-Strip 138-064 32 twisted pairs in a flat ribbon, for hi-speed data, ~8 AWG
2. Kimber 16LPC 16 wires, woven in flat cable, Teflon, ~7 AWG
3. AudioQuest Green Litz 6 conductors of many small enameled copper wires, twisted, 12.7 mm Ø, ~6 AWG
4. 12 AWG speaker cable

Davis, Effects of cable, loudspeaker, and amplifier interactions, J. Audio Eng. Society, 1991

Oppsummering

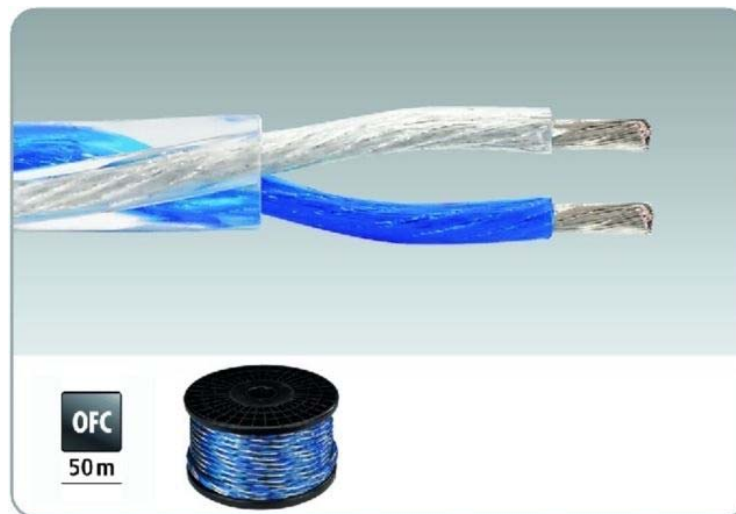
Motstand

- For stor motstand:
gir endring av
frekvensgang pga
varierende
impedans i høyttaler
- Gå opp til 2.5, 4, 6
mm²



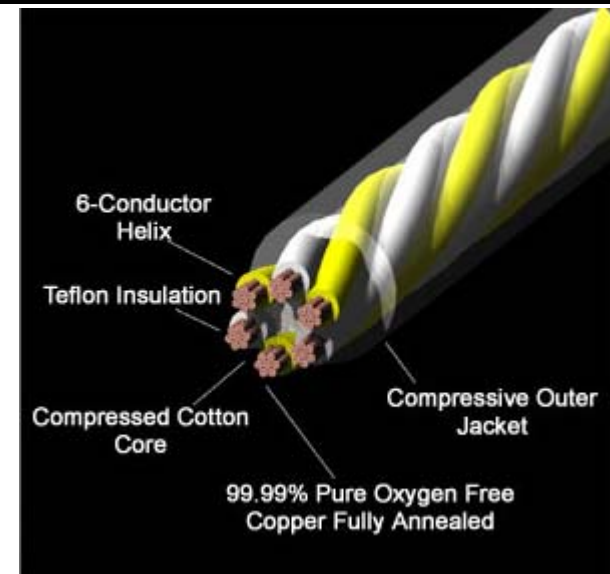
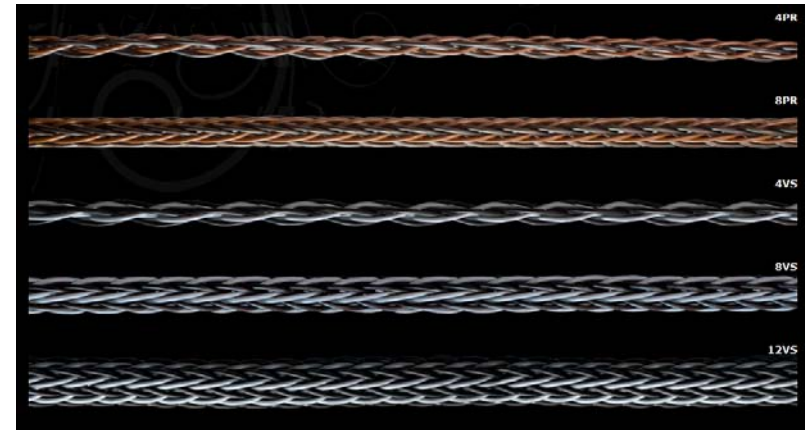
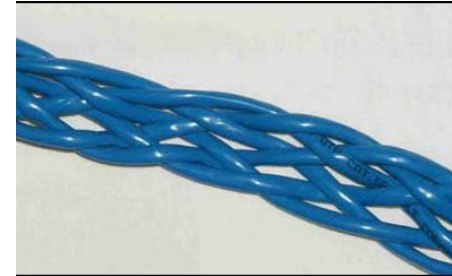
Enda bedre RF-beskyttelse

- Tvunnet kabel



Minimere skinneffekt

- Minimal effekt, men målbar
- Fordel:
 - God mot RF innstråling
 - Lavere induktans – viktigere enn skinneffekt
- Ulempe
 - Mulig vibrasjon & intermodulasjon



Impedansmatch til 4 eller 8 Ohm

- Misforståelse: gjelder bare frekvenser >20 kHz
- Fordel:
 - Liten induktans
 - Lite innstråling av RF
 - Liten skinneffekt
- Ulempe:
 - Stor kapasitans
 - Motstand: ikke stort nok tverrsnitt



Terminering

- Misforståelse:
Resonansteori
basert på blanding
av HF og LF modell
- Sannsynligvis ikke
skadelig, hvis det da
ikke sitter en stor
kapasitans der



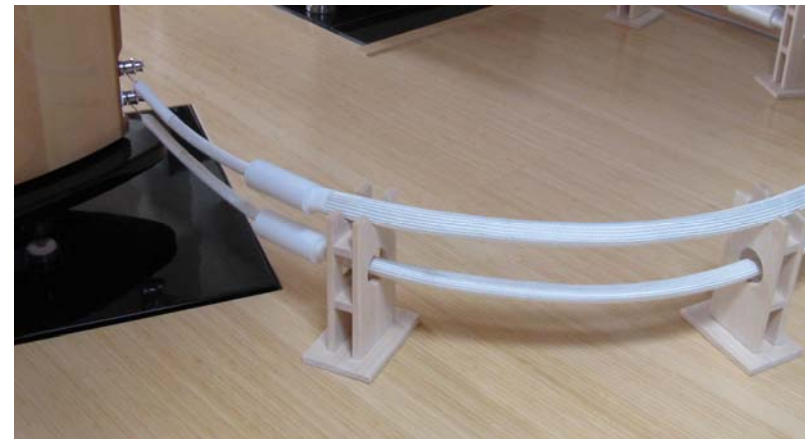
Pupin-spole

- Misforståelse: Basert på transmisjonslinje-modell for kabler $>$ bølgelengde
- Ulempe:
 - Stor induktans, demping av diskant
 - Mulig innstråling av RF i spolen



Hukommelseeffekt i kapasitans

- Misforståelse:
Effekten er minimal
og forvrenger ikke
- Fordel:
 - Liten kapasitans
- Ulempe:
 - Mye induktans =>
demping av 10-20 kHz
 - Mye innstråling av RF

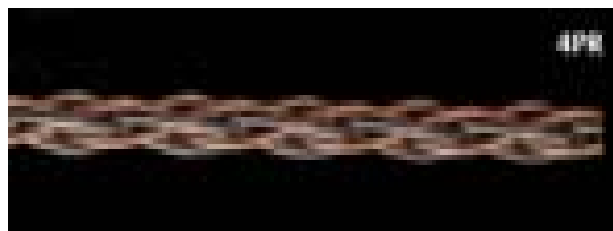


Måling med realistisk forsterker og høyttaler

- Trenger lav resistans og lav induktans
- Beste måten å få det på er ved å bruke mange uavhengige isolerte tråder
 - Dette er også måten å redusere skinneffekten på, men reduksjonen i induktans er viktigere
 - Den økte kapasitansen går bra
- 12 AWG høyttalerkabel er ikke mye dårligere

Konklusjon

- Lav motstand er viktigst, så lav induktans
- Ledere bør være tett sammen for å minske RF innstråling \Leftrightarrow lav induktans
- For å unngå tap i diskant
 - Aller best er tvunnet multileder (minst L)
 - Tykk parallell 'høytalerkabel' er også bra
 - HiFi: tap på ~ 0.25 dB/20 kHz – sammenlignbart med å sette på trekk foran diskanthøytaler



Cross-Connected Coax



- Belden 89529 coax cable
 - Equivalent wire gauge: 13 1/2
 - Resistance: 0.002 Ohms/ft
 - Capacitance: 49pF/ft
 - Inductance: 0.067uH/ft
 - Minimal Cable Inductance (try to keep to 2X resistance @ 20 kHz)
- Lav induktans og resistans (bedre enn AWG12)