ON4CRD

Osa 05

Suodattimien laskeminen



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Oikeudelliset huomautukset

Osa 05 · Suodattimien laskeminen

Verkkosivuston julkaisija : Radio Club Durnal ON4CRD

Julkaisupäällikkö : Radio Club Durnal ON4CRD:n hallitus

https://on4crd.be

Oikeudelliset huomautukset

Henkinen omaisuus

Sivustolla julkaistut tekstit, kuvat, asiakirjat, logot ja materiaalit ovat kirjoittajiensa tai seuran omaisuutta. Kaiken kopioinnin tai uudelleenkäytön tulee kunnioittaa lähdettä, sovellettavia oikeuksia ja tekijän lupaa.

Vastuu

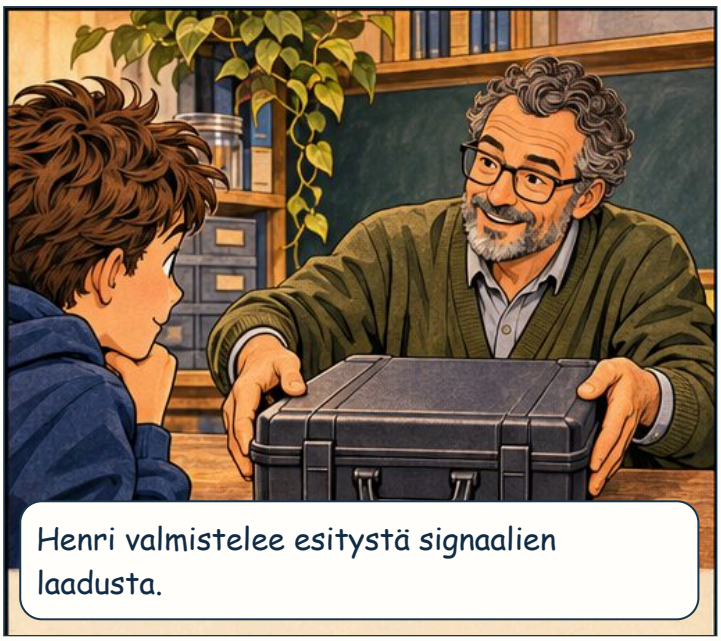
Klubi pyrkii julkaisemaan hyödyllistä ja tarkistettua tietoa, mutta ei takaa virheiden, puutteiden tai keskeytyksiä. Tekniset tai viranomaistiedot on verrattava virallisiin lähteisiin, kun ne tukevat päätöstä.

Kuvitukset on luotu tekoälyn avustuksella.

Uusi tehtävä



Sähkötyöpajan jälkeen Lucas avaa taas muistikirjansa kerholla.



Henri valmistelee esitystä signaalien laadusta.



Pöydällä odottavat kaksi kondensaattoria ja kela.



Tehtävänä on ymmärtää, laskea ja mitata alipäästösuodatin.

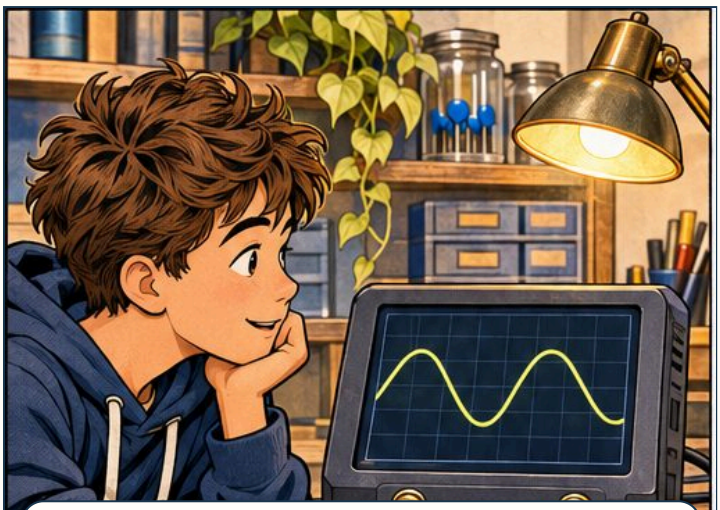


Nuori haluaa tietää, mitä kolme komponenttia voivat muuttaa.

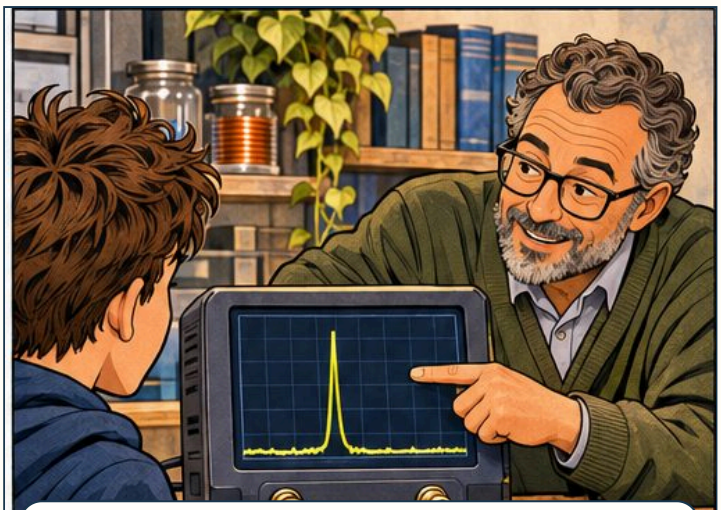


Ensin he katsovat, mitä signaali sisältää.

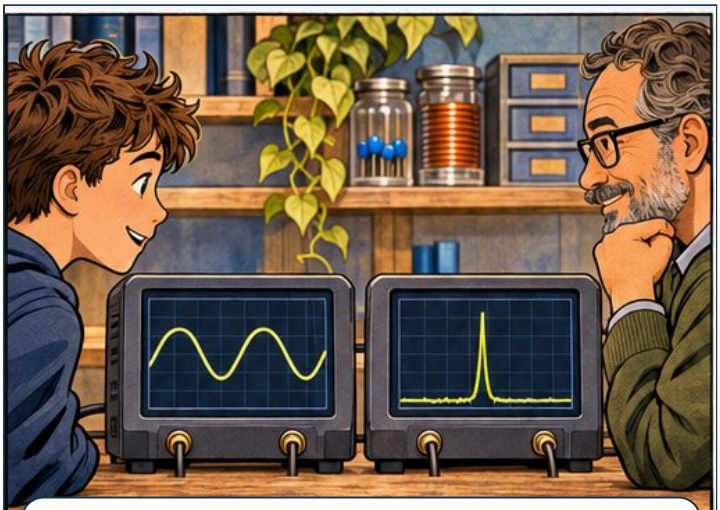
Signaali ja sen muotokuva



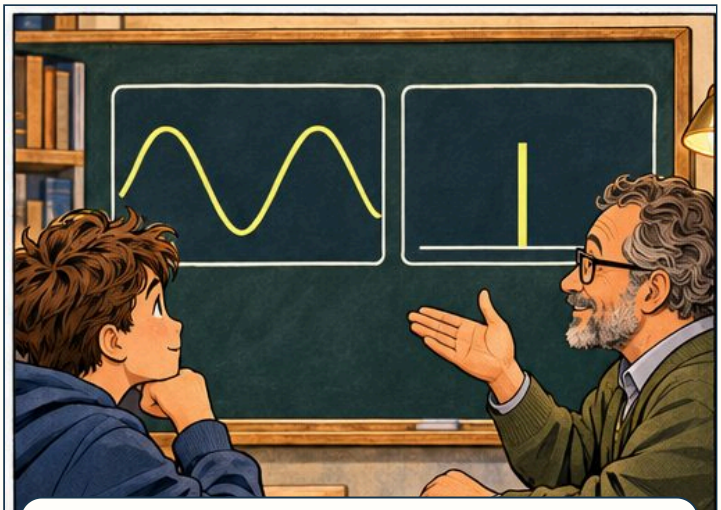
Aikakäyrä näyttää, miten signaali muuttuu ajassa.



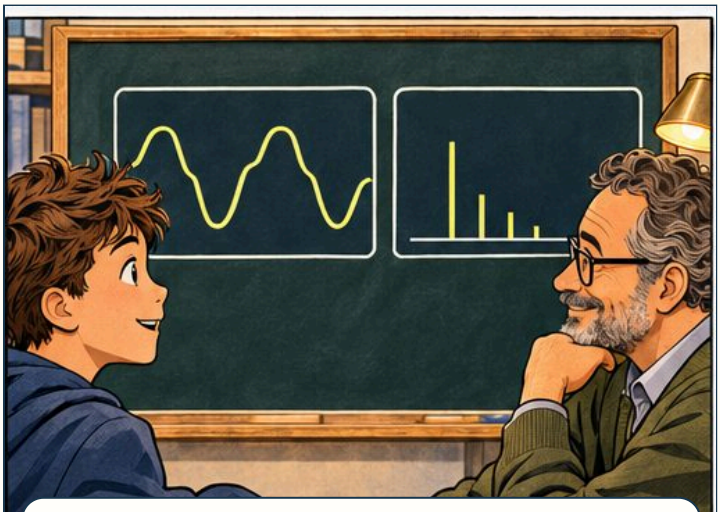
Spektri esittää sen komponentit taajuuden mukaan.



Nämä ovat saman signaalin kaksi erilaista kuvausta.



Ihanteellisella sinisignaalilla on vain yksi taajuus.

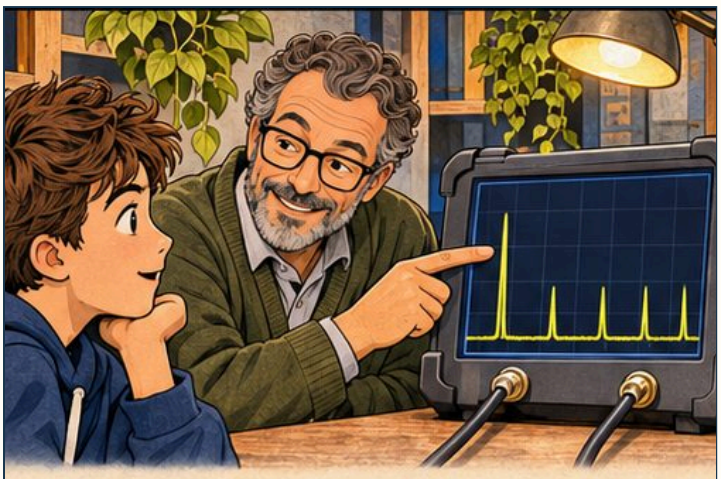


Säröytynyt aaltomuoto voi sisältää useita komponentteja.



Nuori löytää kuvan, jota ei aiemmin osannut lukea.

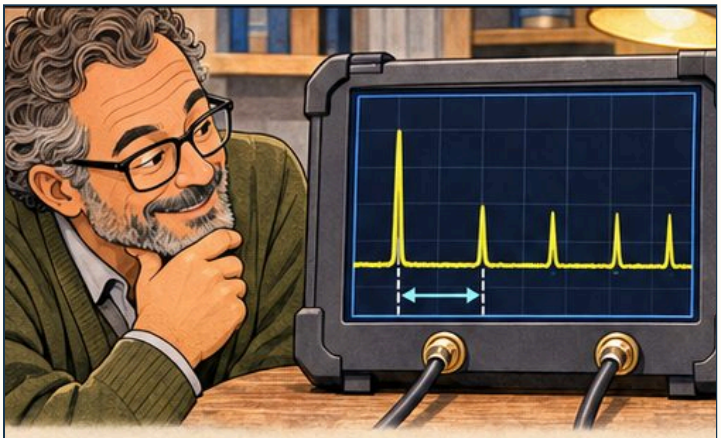
Harmoniset paljastuvat



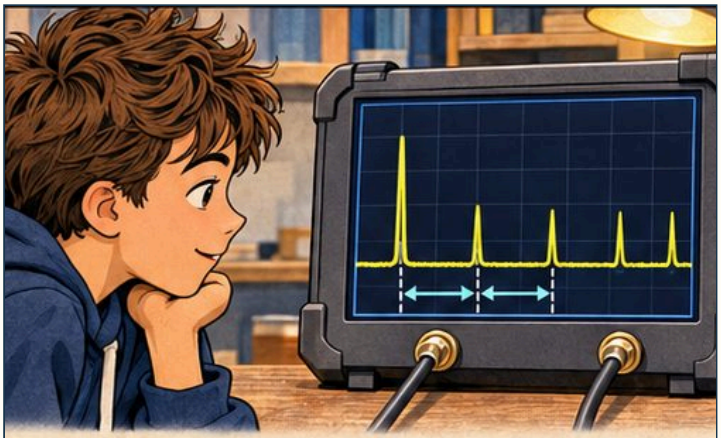
Perustaajuus antaa jaksollisen signaalin ensimmäisen kiintopisteen.



Harmonisten taajuudet ovat tämän taajuuden kokonaislukukerrannaisia.



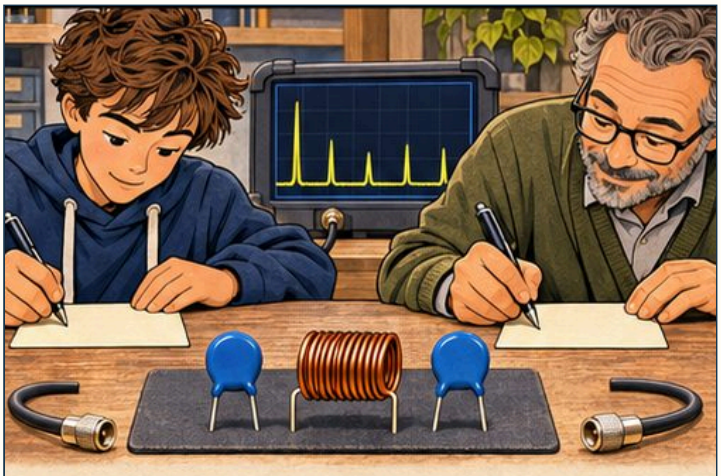
Toinen harmoninen on kaksinkertaisella perustaajuudella.



Kolmas on kolminkertaisella taajuudella.

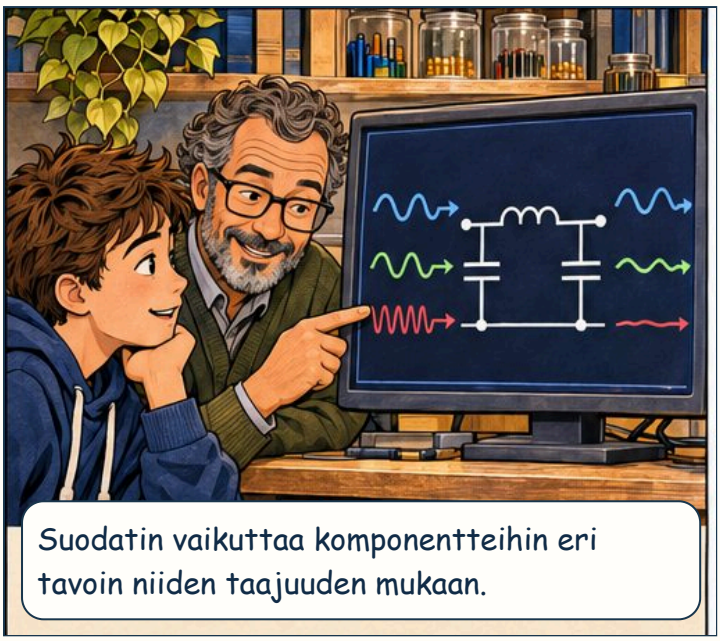


Kaikki ei-toivotut komponentit eivät silti ole harmonisia.

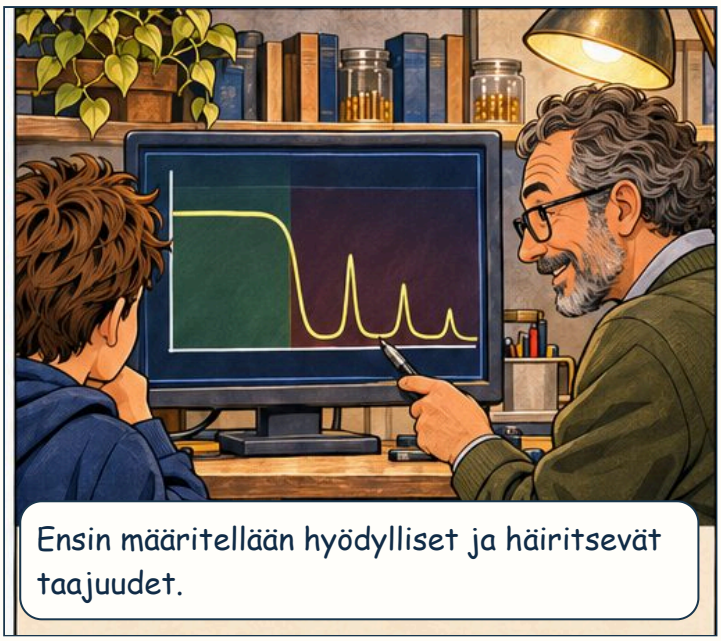


Suodattimen täytyy vastata tarkasti määriteltyyn tarpeeseen.

Valitaan säilytettävät osat



Suodatin vaikuttaa komponentteihin eri tavoin niiden taajuuden mukaan.



Ensin määritellään hyödylliset ja häiritsevät taajuudet.



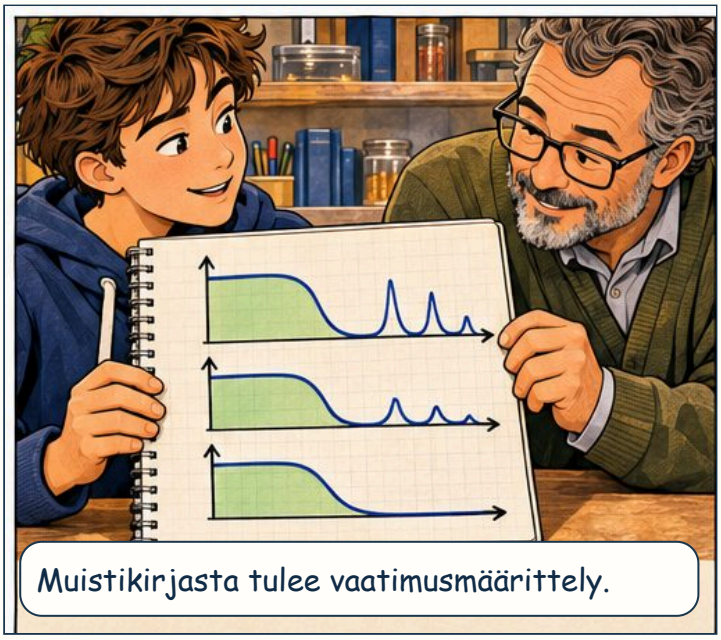
Myös tavoiteltavat vaimennukset on määriteltävä.



Ilman tavoitteita komponenttien laskemisessa olisi vähän järkeä.

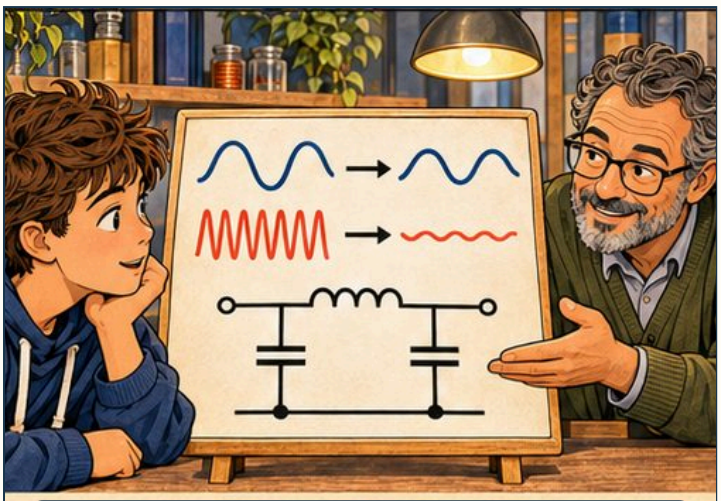


Nuori rajaa esimerkkispektrin hyödyllisen alueen.



Muistikirjasta tulee vaatimusmäärittely.

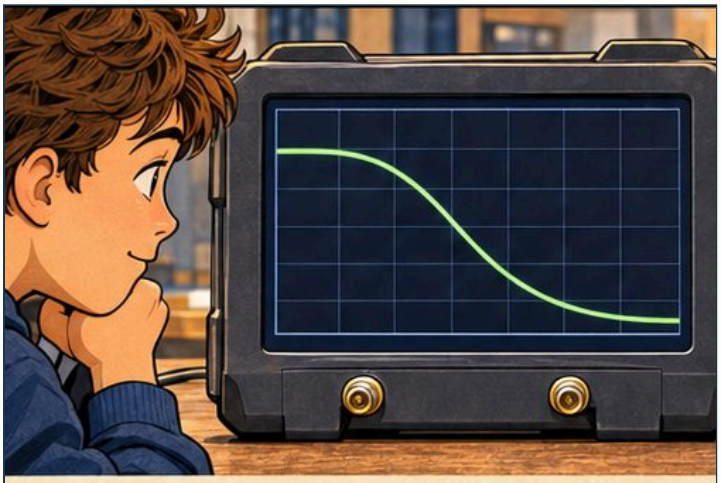
Alipäästön valinta



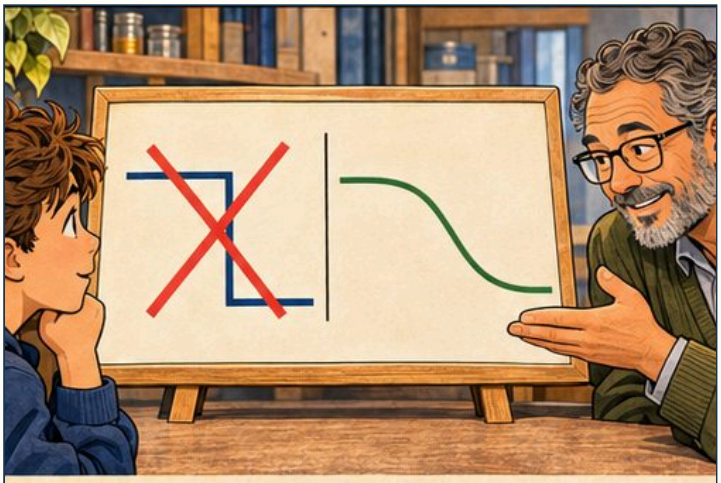
Alipäästösuodatin välittää matalia taajuuksia paremmin kuin korkeita.



Sen päästökaista sijaitsee matalien taajuuksien puolella.



Ylempänä vaimennus kasvaa vähitellen.



Todellinen siirtymä ei koskaan ole täydellinen pystysuora seinä.



Tämä tyyppi sopii heidän tämänpäiväiseen esitykseensä.



Nuori piirtää esteen sijasta rinteen.

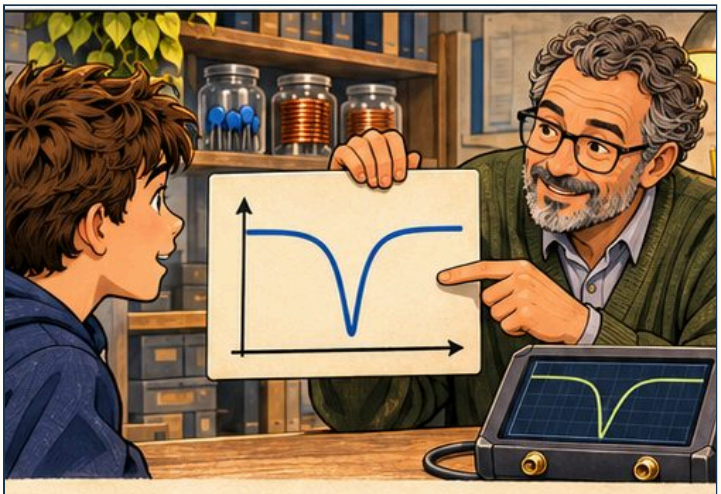
Muita mahdollisia reittejä



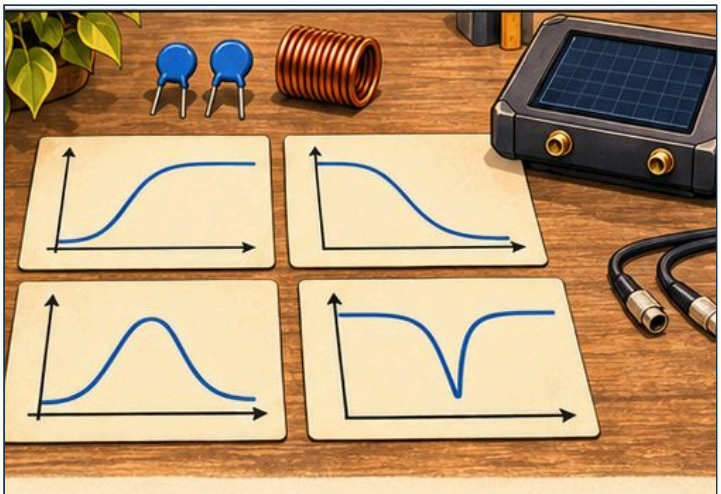
Ylipäästösuodatin vaimentaa matalia taajuuksia ja säilyttää korkeat.



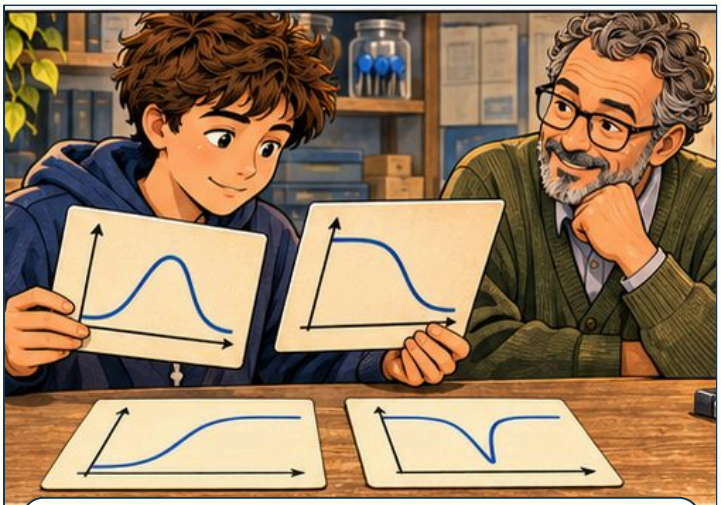
Kaistanpäästösuodatin suosii kahden rajan välistä aluetta.



Kaistanestosuodatin puolestaan vaimentaa valittua aluetta.



Nämä perheet vastaavat erilaisiin tarpeisiin.



Nimi kuvaa vastetta, ei yleispätevää paremmuutta.

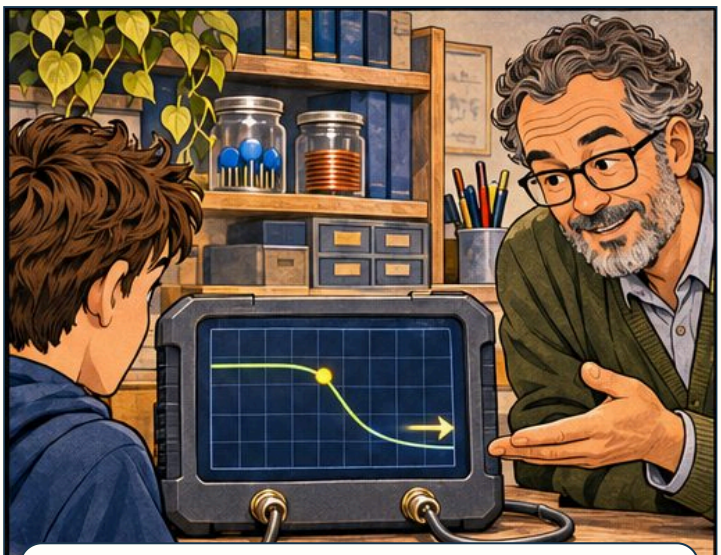


Nuori siirtää kolme korttia seuraavaa työpajaa varten.

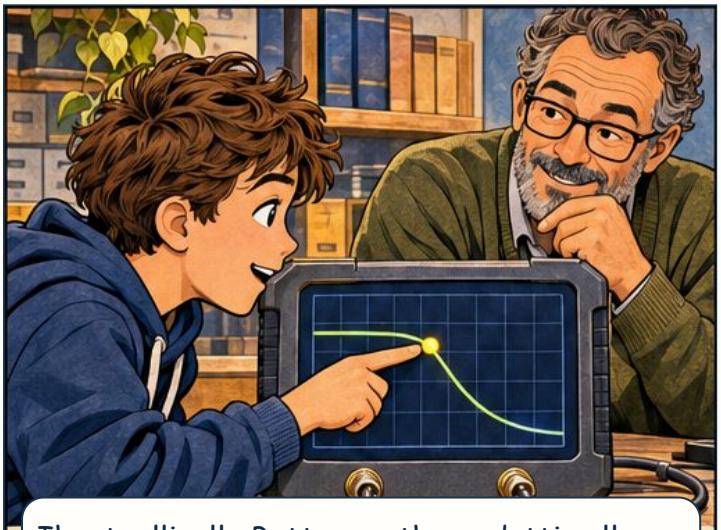
Raja, joka päästää yhä läpi



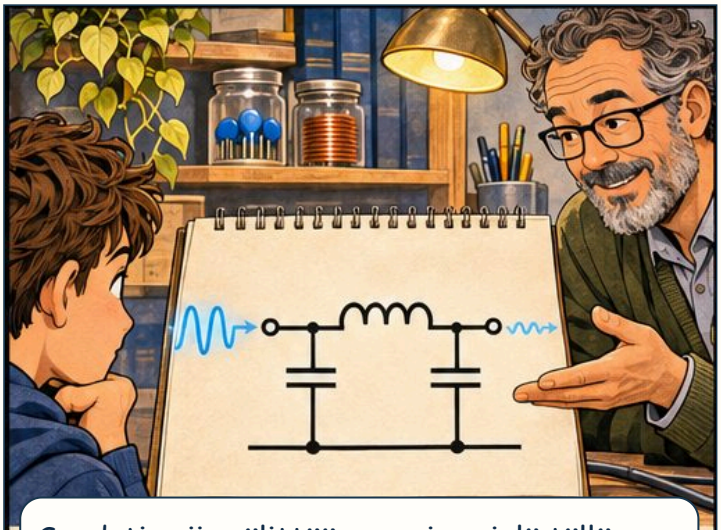
Rajataajuus merkitsee tässä vertailutasoa.



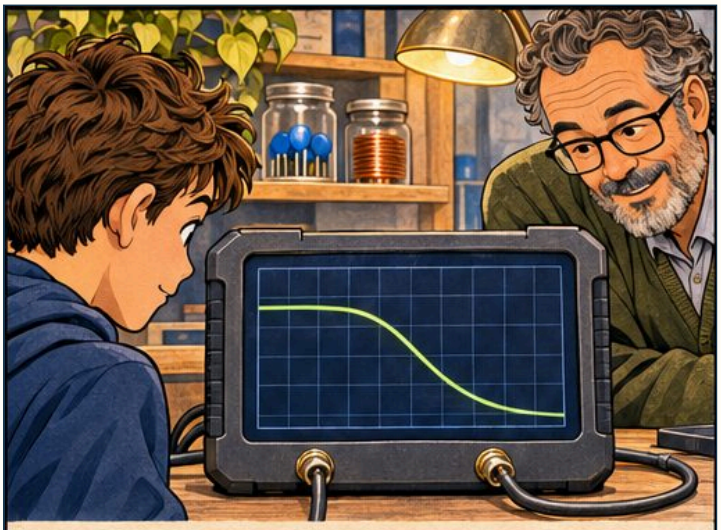
Se ei tarkoita signaalin äkillistä katoamista.



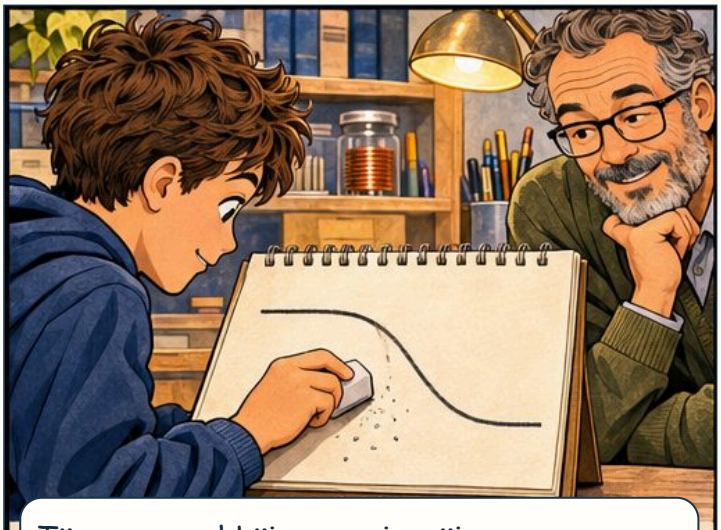
Ihanteellisella Butterworth-suodattimella se vastaa noin −3 dB:tä.



Suodatin siis välittää energiaa vielä tällä taajuudella.



Sen yläpuolella vaimennus kasvaa edelleen.

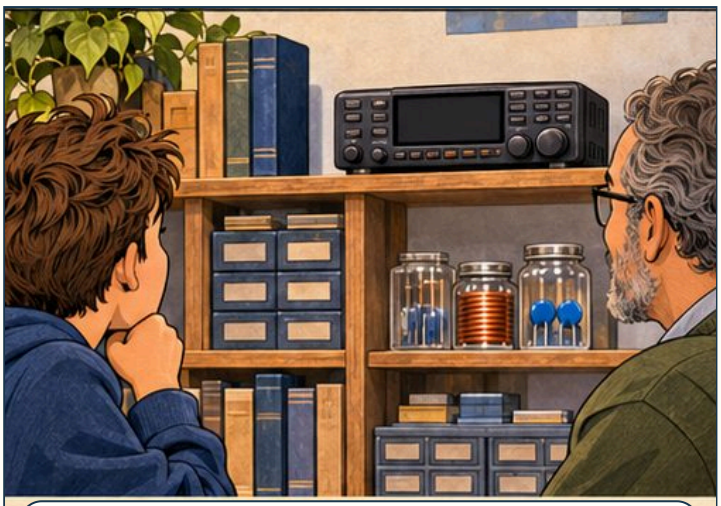


Täsmennys ehkäisee ensimmäisen väärinkäsityksen.

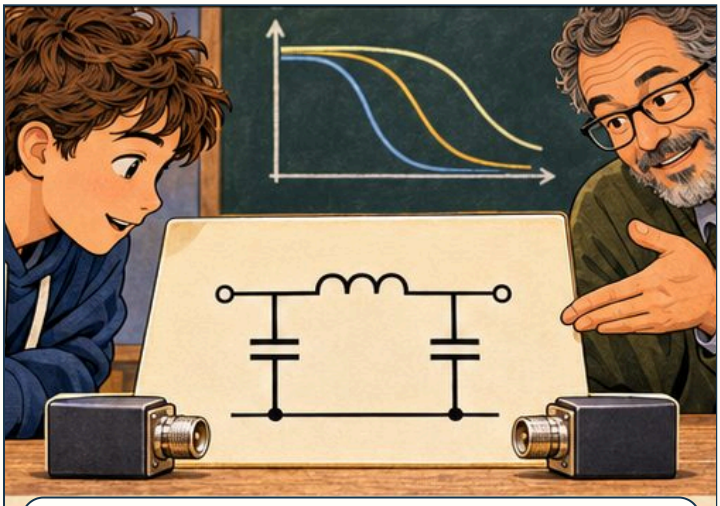
Laboratorioesimerkki



He valitsevat teoreettiseksi rajataajuudeksi 10 MHz.



Arvo on opetusta varten eikä määritä lähetystaajuutta.



Lähteen ja kuorman vertailuimpedanssi on 50 Ω.



Kytkentää tutkitaan työpöydällä heikolla signaalilla.



Antennia tai lähetintä ei kytketä.



Tavoitteena on mitattava vaste, ei radioyhteys.

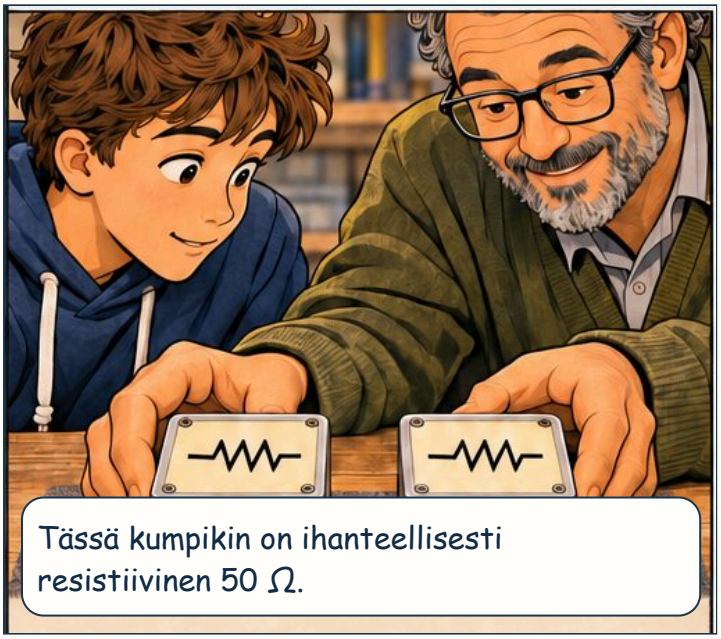
Miksi ilmoittaa 50 ohmia?



Suodatin toimii lähteen ja kuorman välissä.



Niiden impedanssit kuuluvat laskennan ehtoihin.



Tässä kumpikin on ihanteellisesti resistiivinen 50 Ω.



Näiden ehtojen muuttaminen muuttaa saatavaa vastetta.

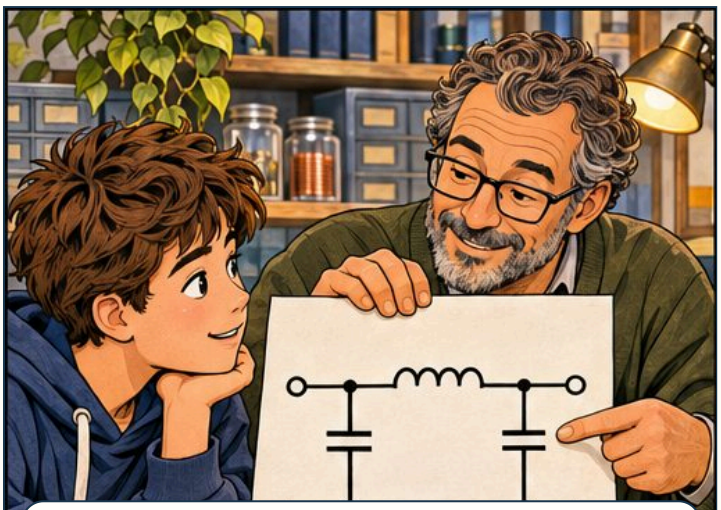


Kolmen arvon kopioiminen ei siis riitä.



Nuori lisää molemmat päätevastukset kytkentäkuvaan.

Malli ja todellinen kytkentä



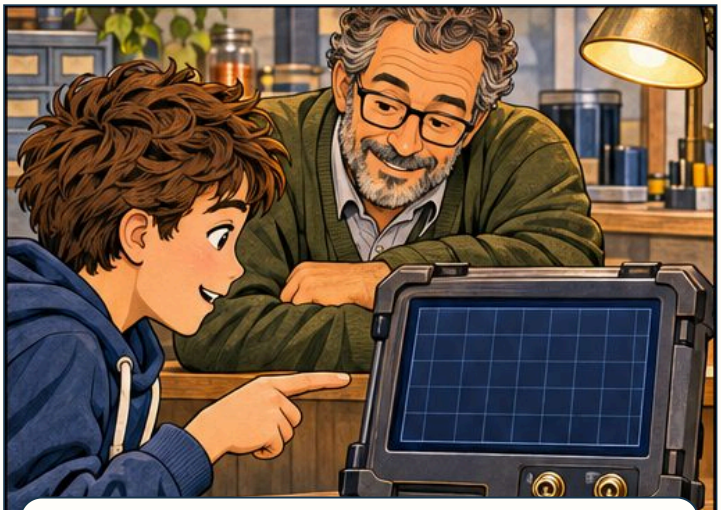
Laskenta alkaa ihanteellisista, häviöttömistä komponenteista.



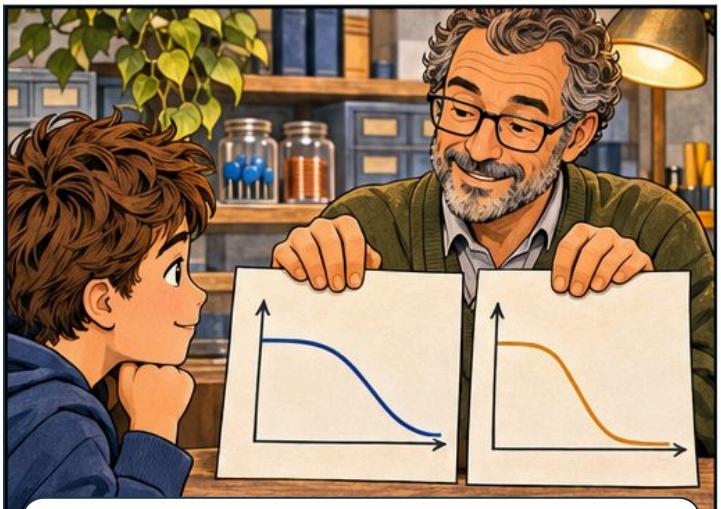
Todellisessa kytkennässä on resistansseja ja loisilmiöitä.



Malli antaa ensimmäisen ennusteen vasteesta.



Mittaukset auttavat sitten tarkastelemaan eroja.

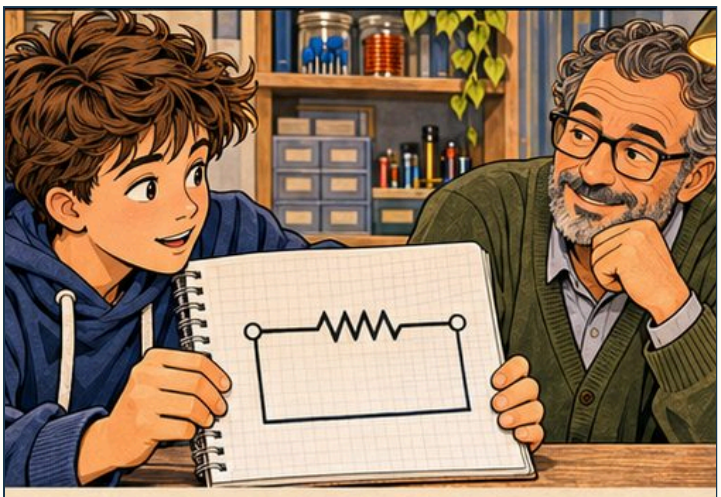


Ennusteen ja tuloksen sekoittaminen estää poikkeamien ymmärtämistä.

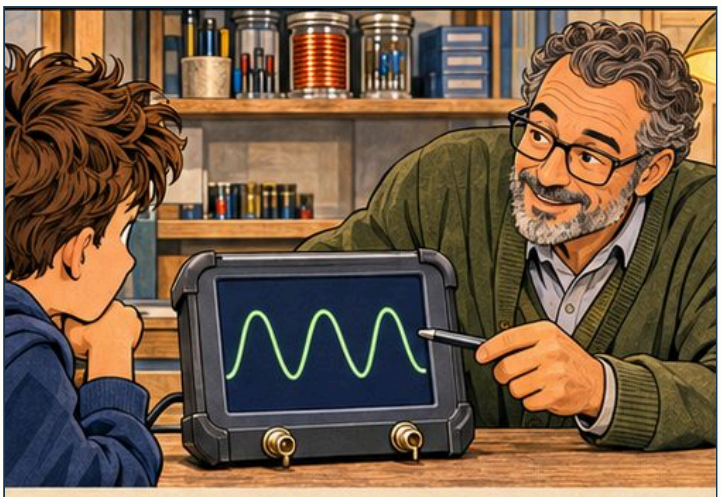


Muistikirjassa on kummallekin oma paikkansa.

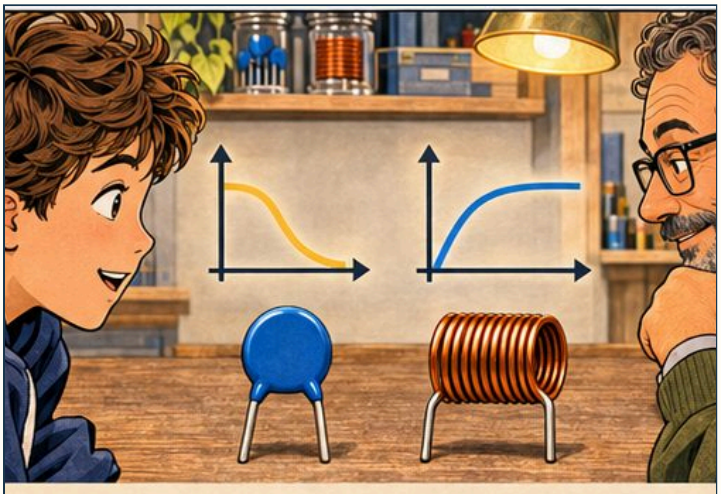
Pelkkä vastus ei enää riitä



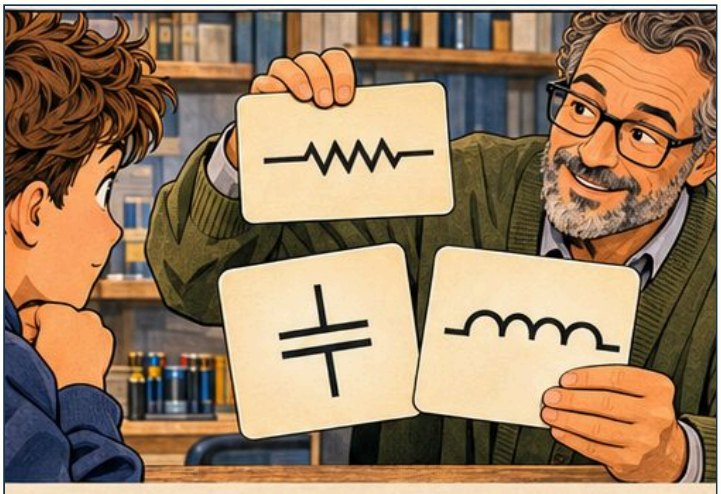
Edellinen osa yhdisti jännitteen, virran ja resistanssin tasavirralla.



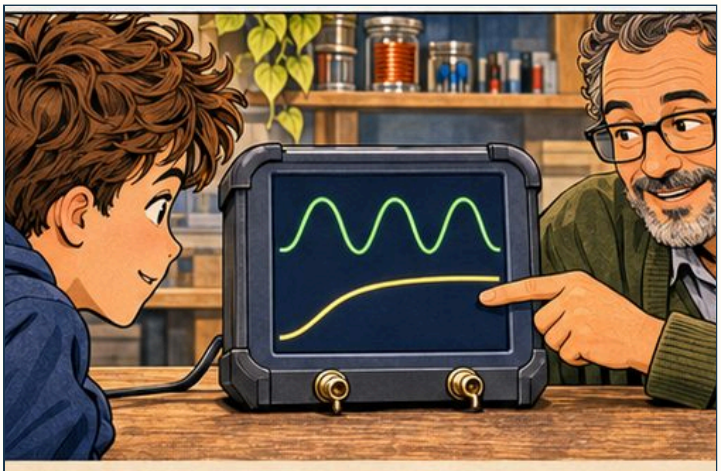
Tässä signaali muuttuu nopeasti ja taajuudella on merkitystä.



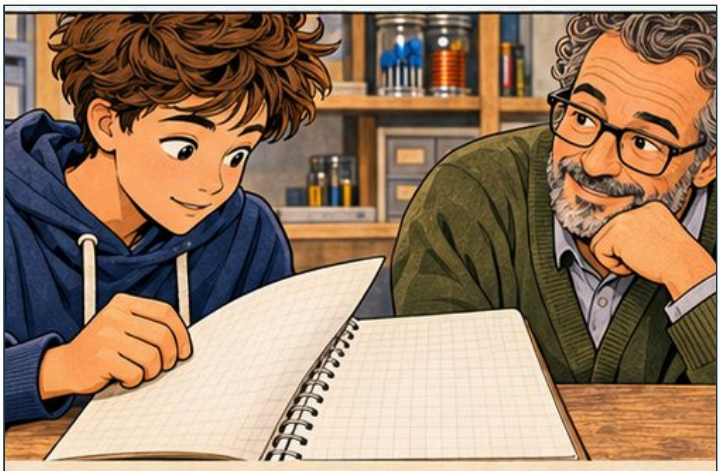
Kondensaattoreilla ja keloilla on taajuudesta riippuva reaktanssi.



Tämä reaktanssi ei ole tavallinen resistanssi.



Impedanssi kuvaa sähköistä käyttäytymistä vaihtovirralla laajemmin.

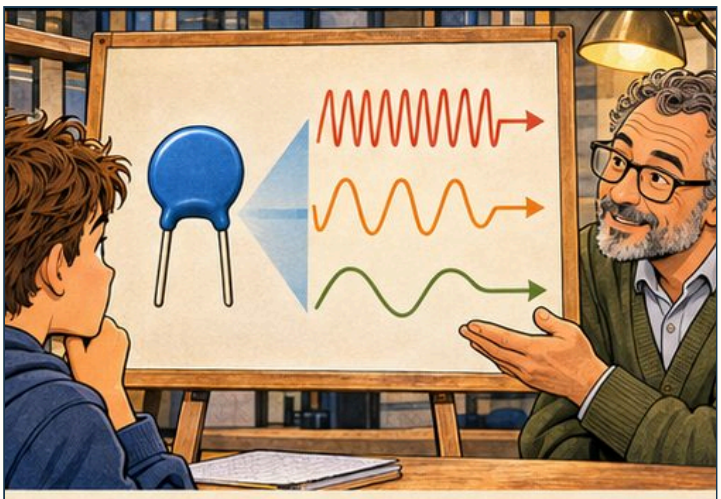


Nuori ymmärtää, miksi uusi malli tarvitaan.

Kondensaattorin tehtävä



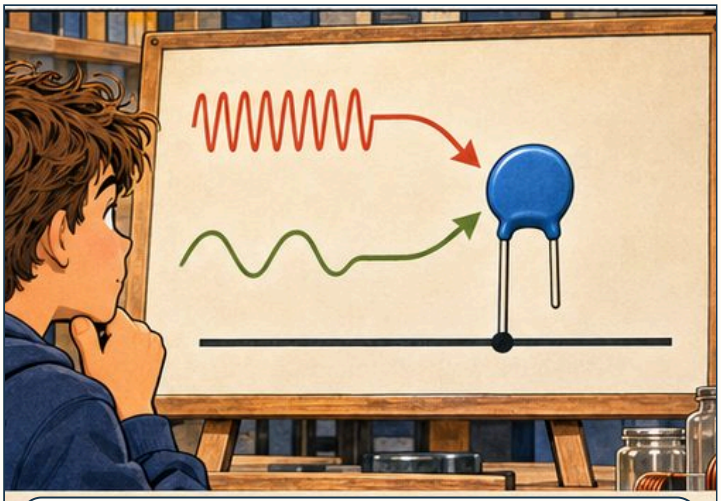
Kapasitanssia merkitään C:llä ja mitataan faradeina F.



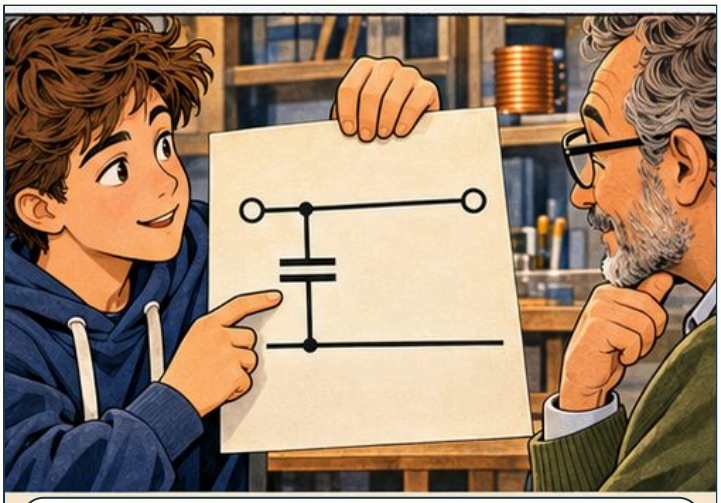
Ihanteellisen kondensaattorin reaktanssi pienenee taajuuden kasvaessa.



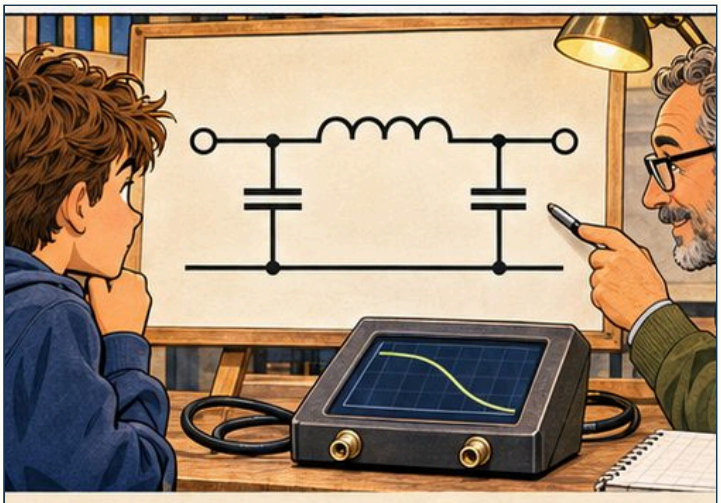
Sen itseisarvo on Xc = 1/(2πfC).



Samalla kapasitanssilla korkeat taajuudet kohtaavat pienemmän reaktanssin.



Heidän suodattimessaan kondensaattorit kytketään yhteiseen maahan.

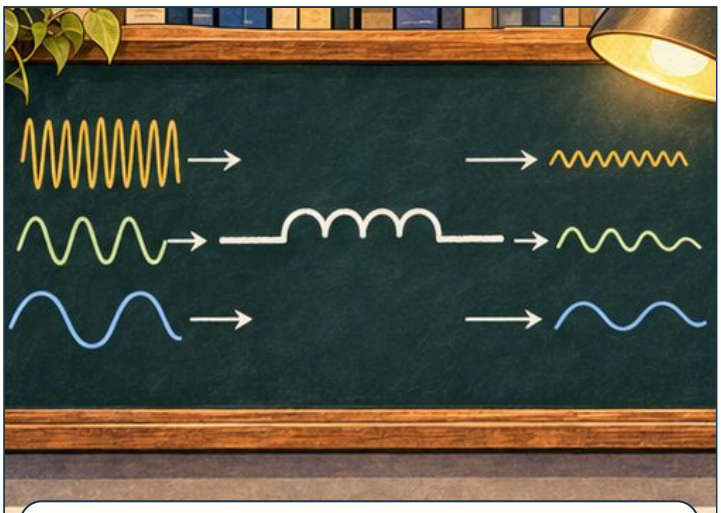


Niiden tehtävä riippuu myös muusta piiristä.

Kelan tehtävä



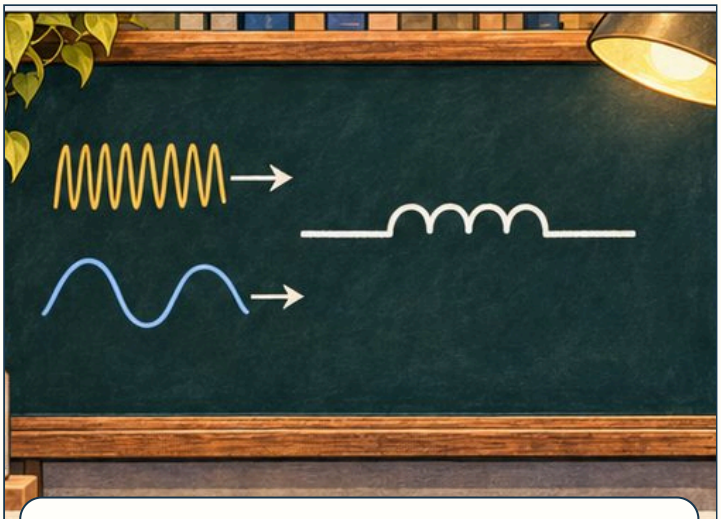
Induktanssia merkitään L:llä ja mitataan henryinä H.



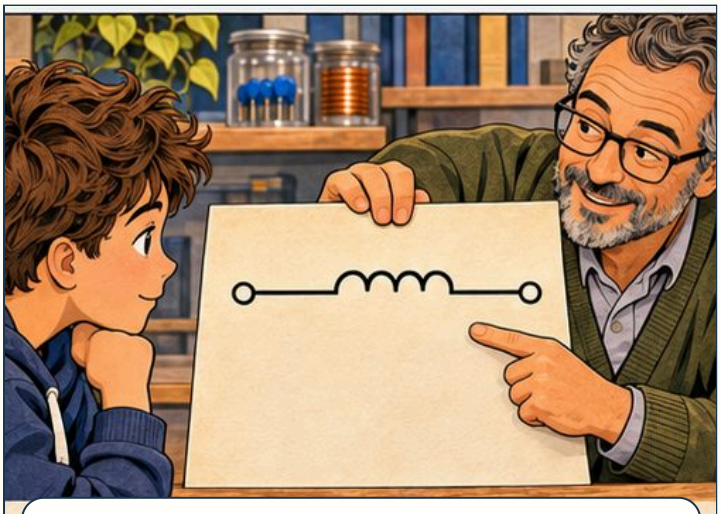
Ihanteellisen kelan reaktanssi kasvaa taajuuden kasvaessa.



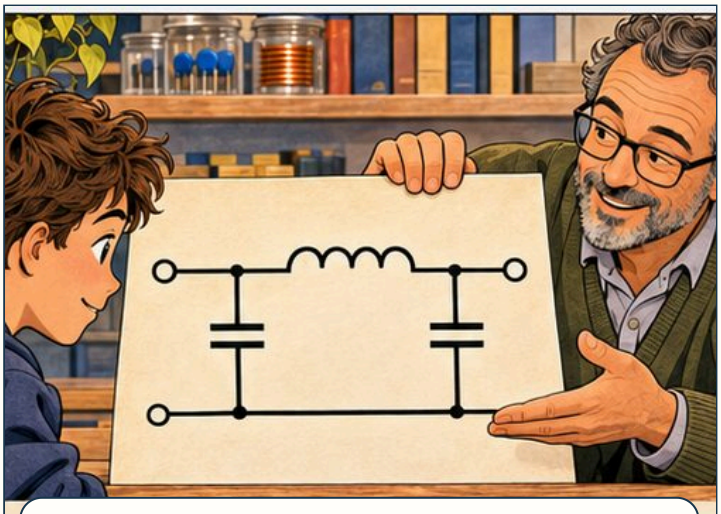
Sen itseisarvo on XL = 2πfL.



Samalla induktanssilla korkeat taajuudet kohtaavat suuremman reaktanssin.

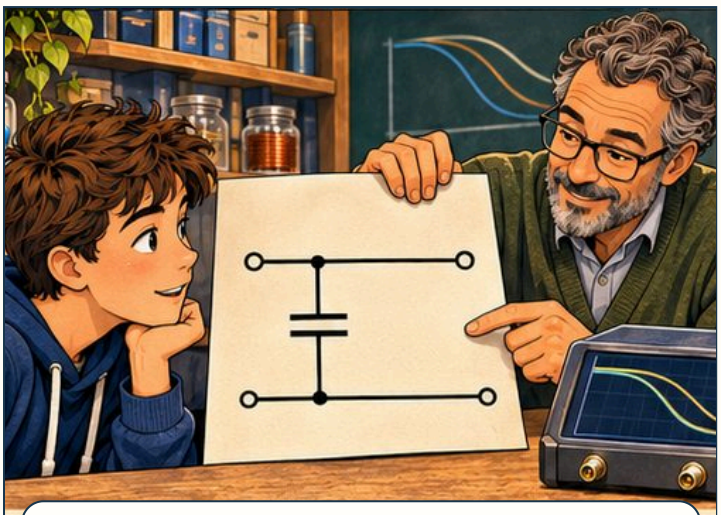


Heidän suodattimessaan kela on signaalin kulkureitillä.

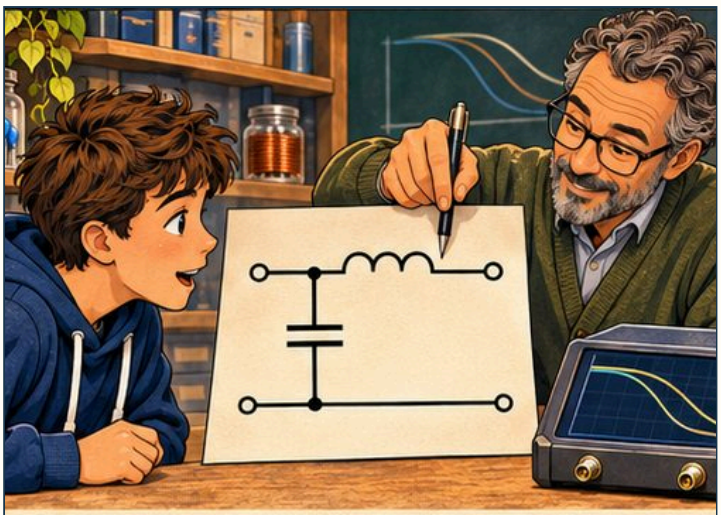


Molemmat komponenttityypit toimivat yhdessä.

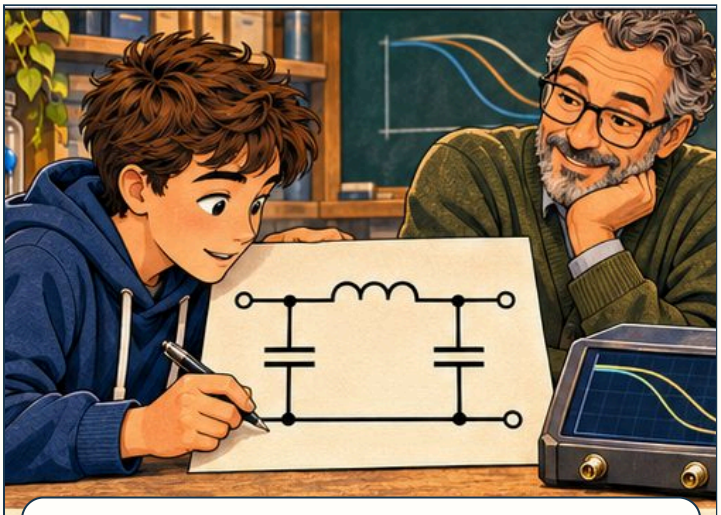
Kytkentä saa π-muodon



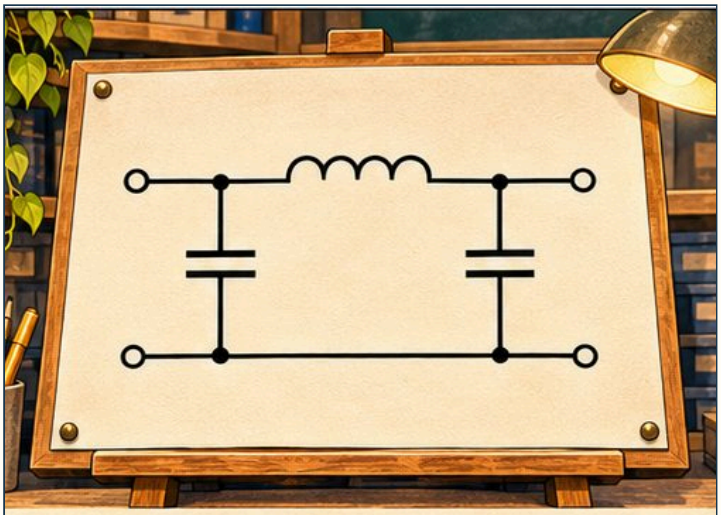
Tulo yhdistyy ensimmäisen kondensaattorin kautta yhteiseen maahan.



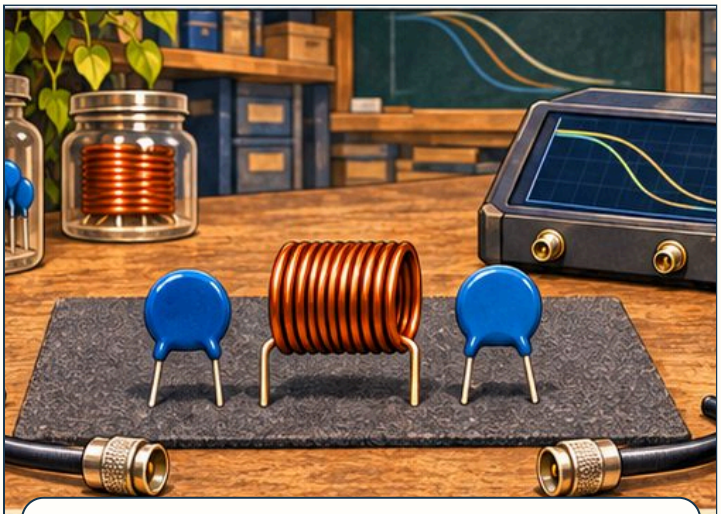
Kela yhdistää sitten tulon ja lähdön sarjassa.



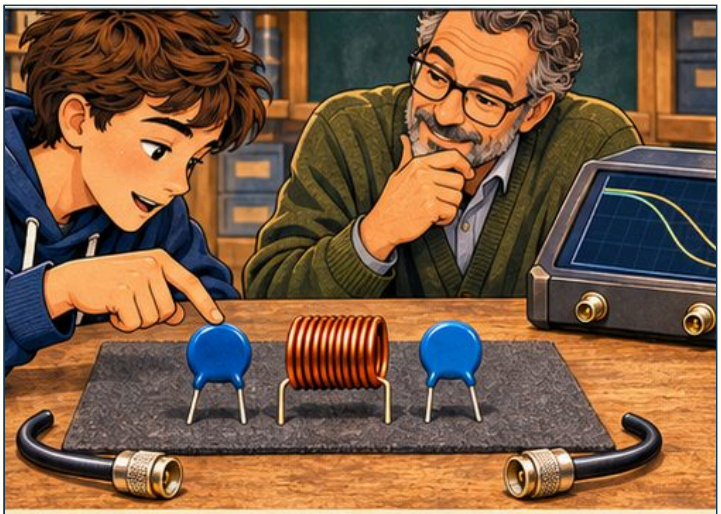
Toinen kondensaattori yhdistää lähdön samaan maahan.



Kelan molemmin puolin laskeutuu yksi haara.



Järjestely muistuttaa kreikkalaista π-kirjainta.

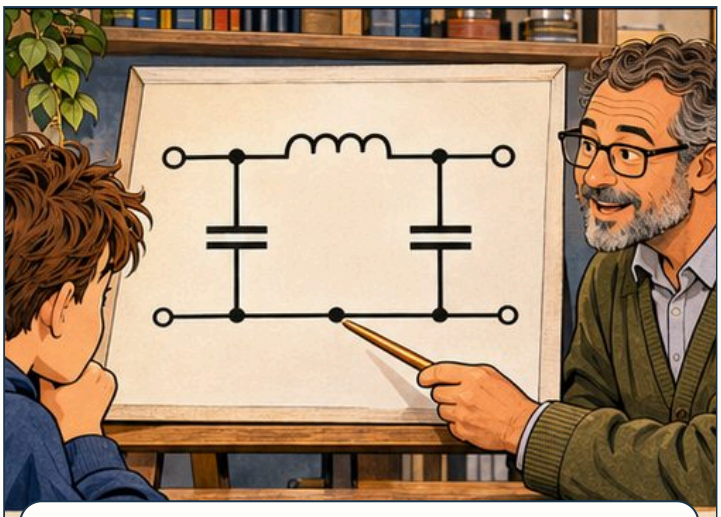


Nuori seuraa kynällä jokaista liitäntää.

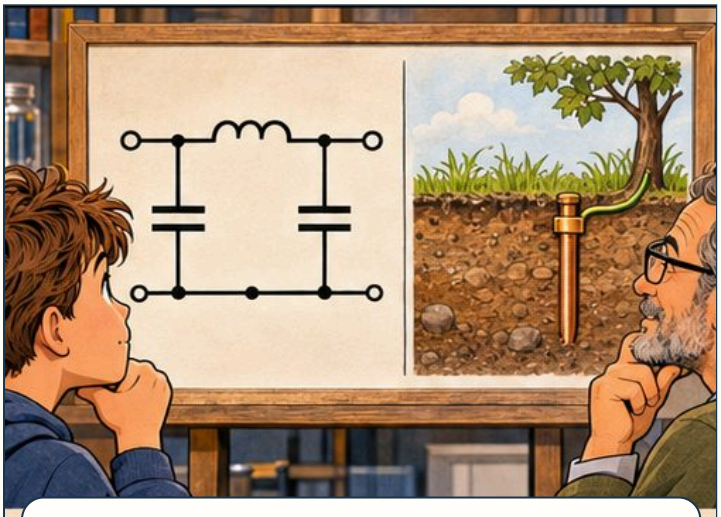
Kytkentäkuvan maa



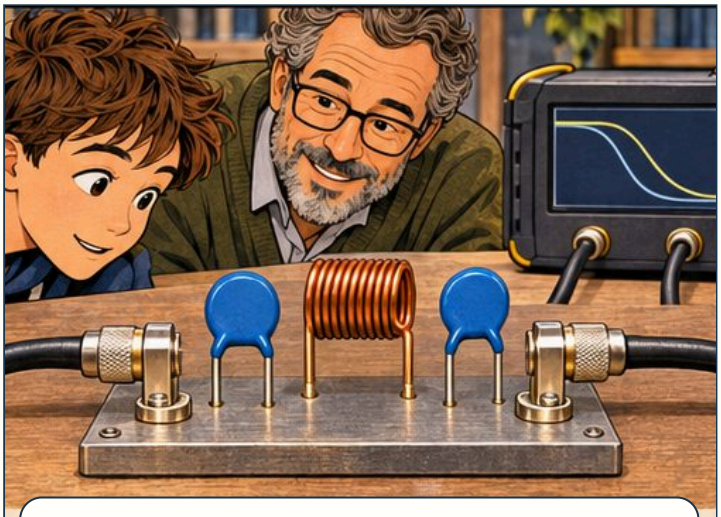
Molemmilla kondensaattoreilla on yhteinen sähköinen vertailupiste.



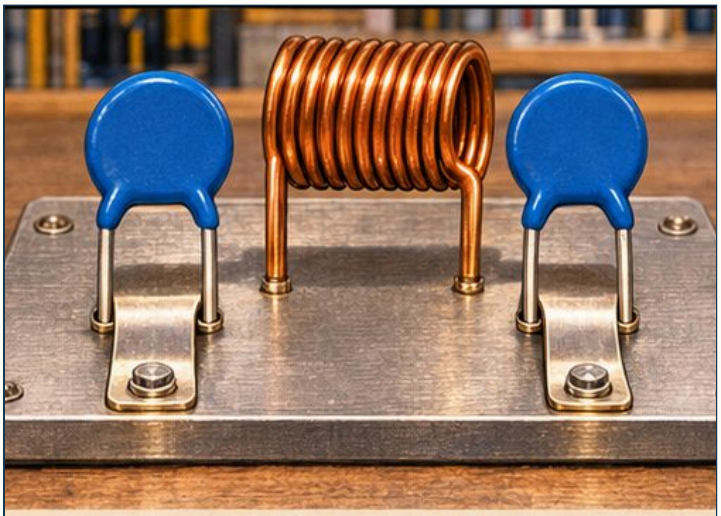
Maasymboli tarkoittaa tässä tätä kytkennän vertailupistettä.



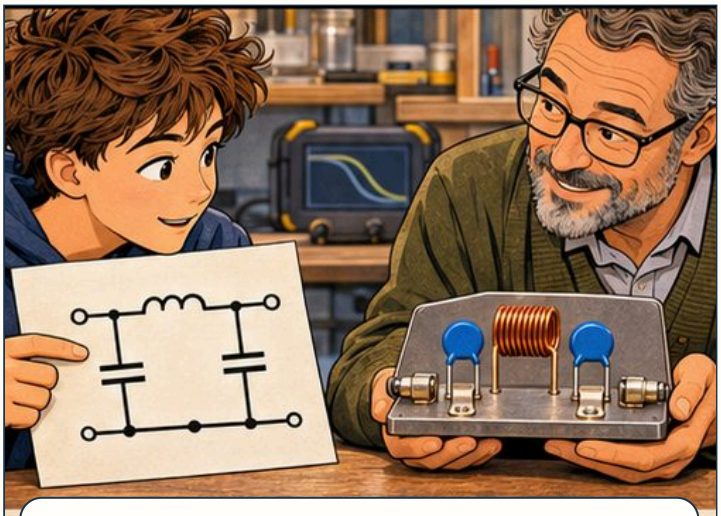
Se ei automaattisesti tarkoita yhteyttä maaperään.



Koaksiaalikaapelien suojat liitetään maahan suunnitelman mukaisesti.



Lyhyt liitäntä rajoittaa eräitä loisilmiöitä.

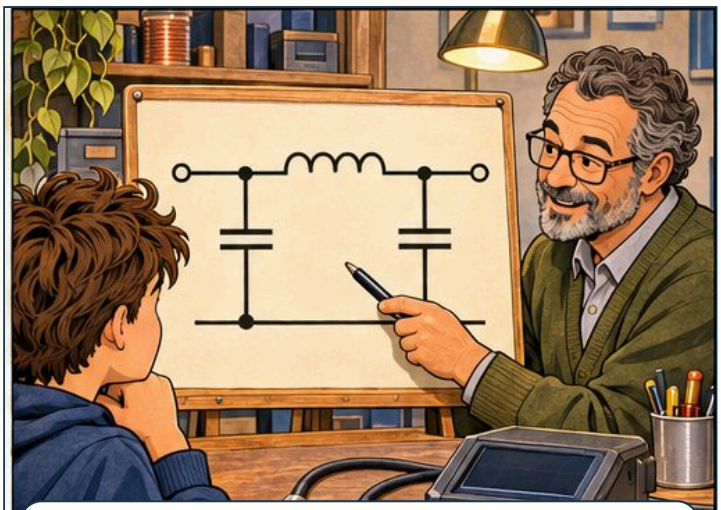


Nuori erottaa symbolin ja sen käytännön toteutuksen.

Kolme elementtiä, yksi kertaluku



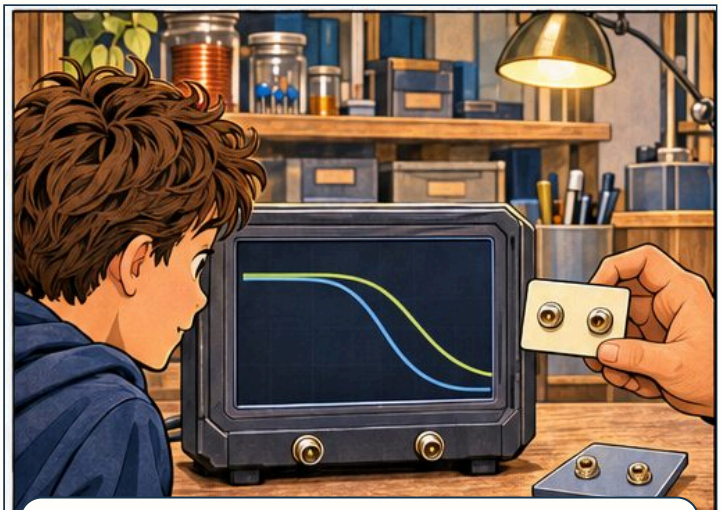
Ihanteellisessa verkossa on kolme reaktiivista elementtiä: C, L ja C.



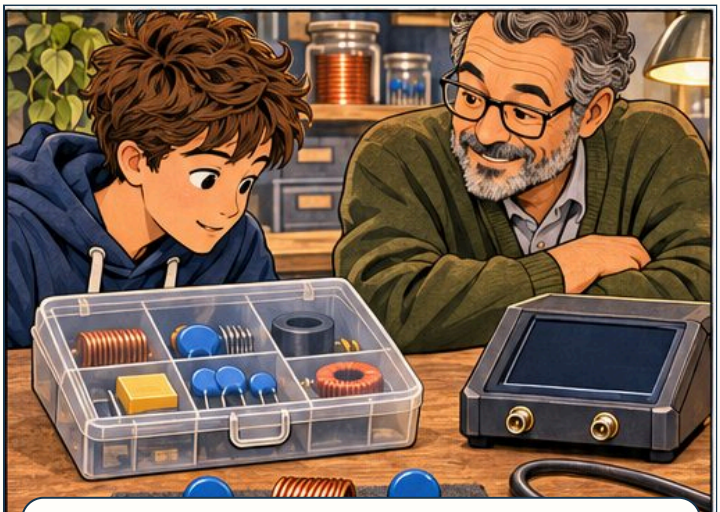
Tässä ne muodostavat kolmannen kertaluvun alipäästösuodattimen.



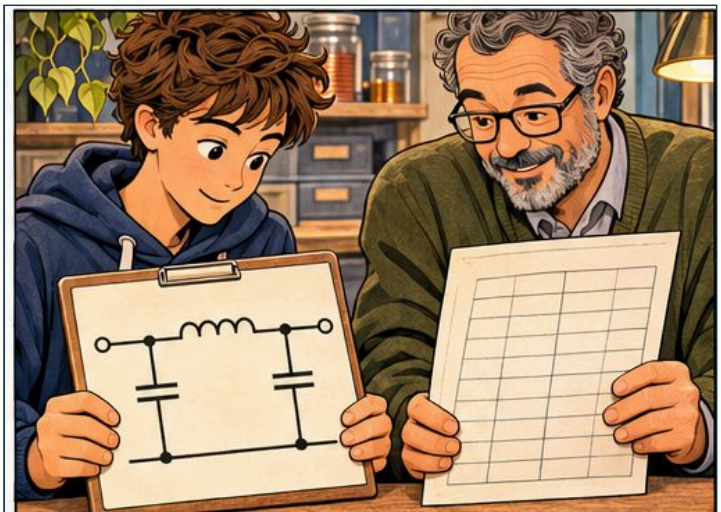
Kertaluku kuvaa muun muassa mallin kaukaisen estoalueen jyrkkyyttä.



Väärin valittu impedanssi kuitenkin muuttaisi vastetta.



Satunnainen komponenttien lisääminen ei luo haluttua suodatinta.

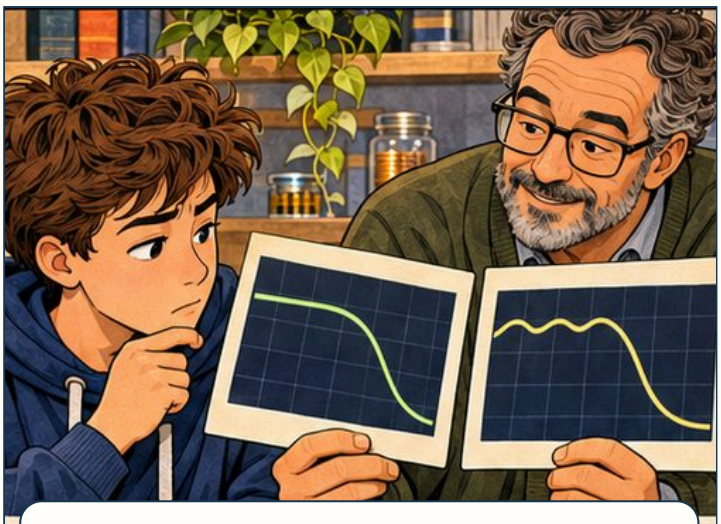


Kytkennän muodon on vastattava laskentaa.

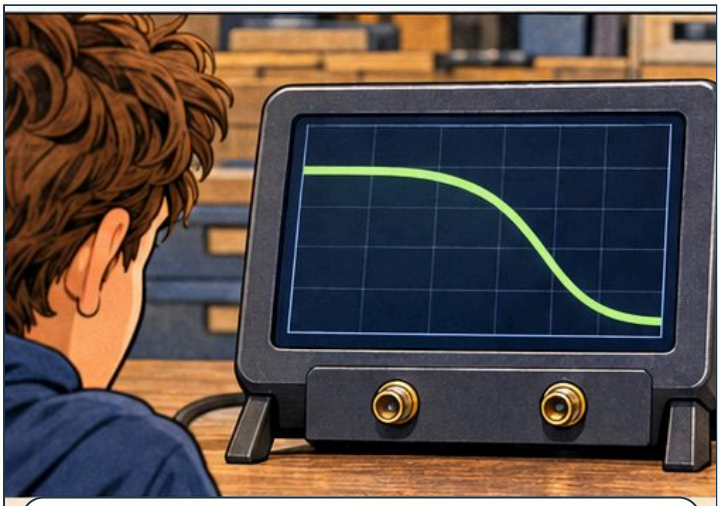
Miksi Butterworth?



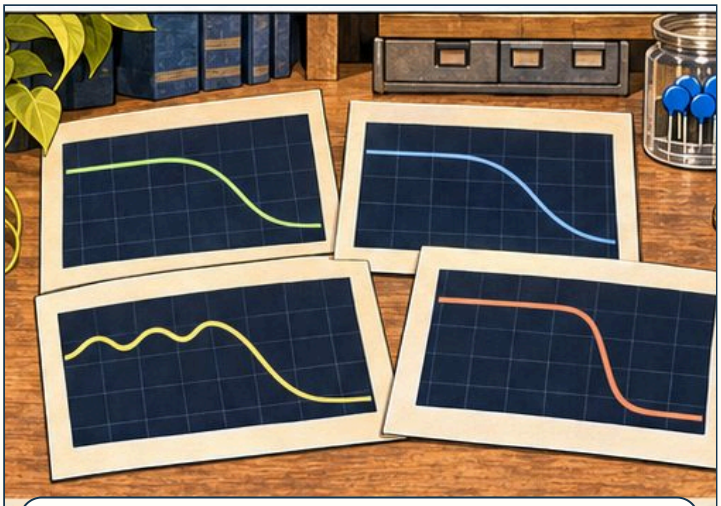
Butterworth-vaste on päästökaistalla maksimaalisen tasainen.



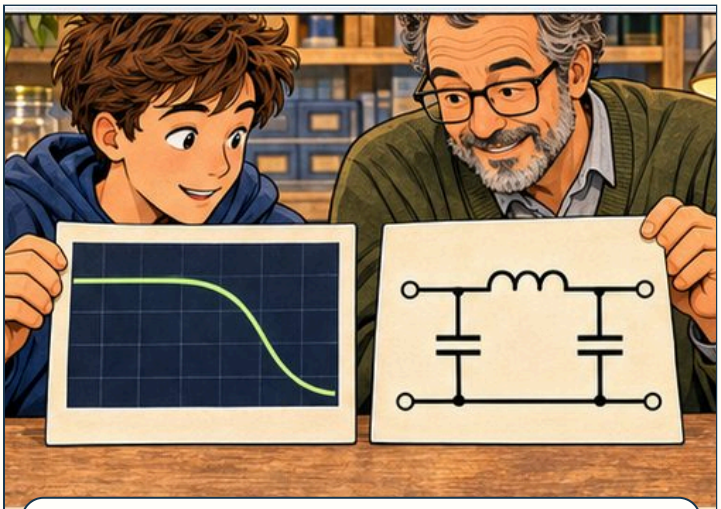
Ihanteellisessa mallissa tällä kaistalla ei ole aaltoilua.



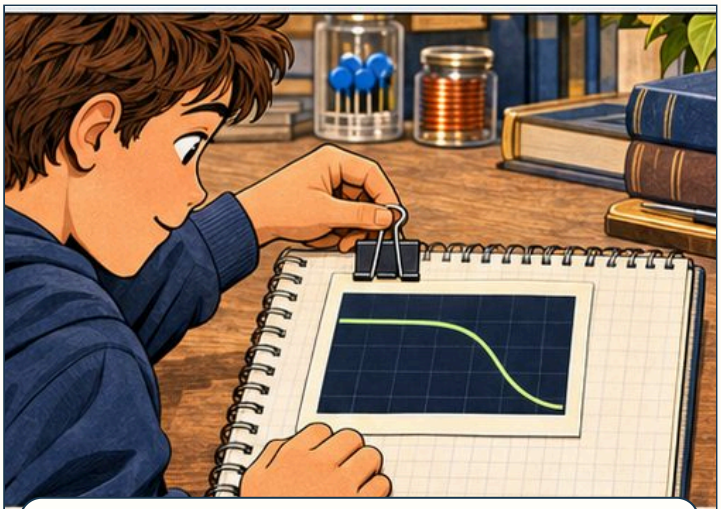
Siirtymä on vähittäinen ja kaartuu tunnusomaisesti.



Muut vasteet hyväksyvät erilaisia kompromisseja.

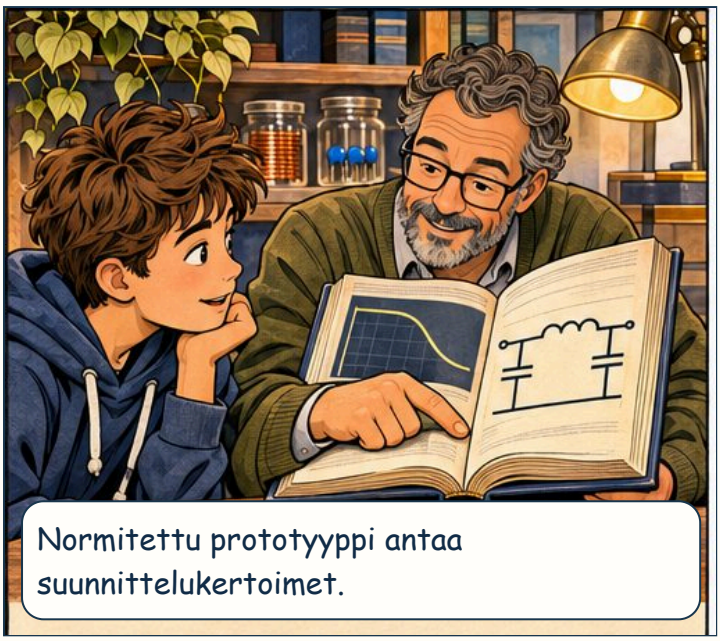


He valitsevat tämän perheen selkeään ensimmäiseen suunnitelmaan.



Nimi kertoo siis enemmän kuin pelkkä alipäästö.

Prototyyppi lähtökohdaksi



Normitettu prototyyppi antaa suunnittelukertoimet.



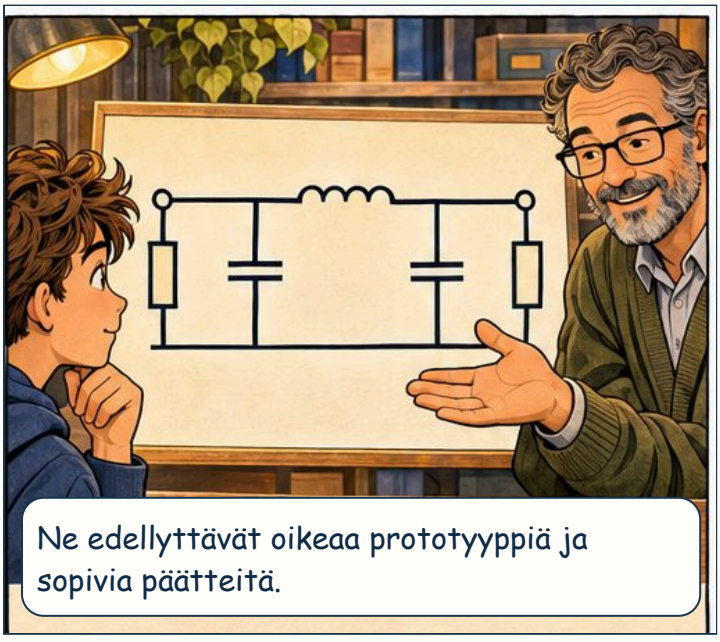
Tällä kolmannen kertaluvun Butterworthilla ne ovat 1, 2 ja 1.



Ne vastaavat järjestyksessä kondensaattoria, kelaa ja kondensaattoria.



Ne eivät vielä ole ostettavien komponenttien arvoja.

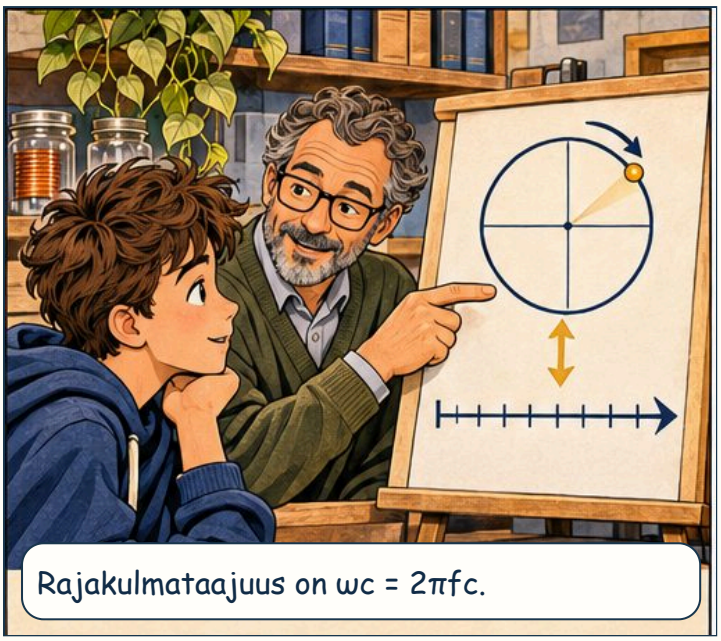


Ne edellyttävät oikeaa prototyyppiä ja sopivia päätteitä.



Vielä on asetettava taajuus- ja impedanssiskaala.

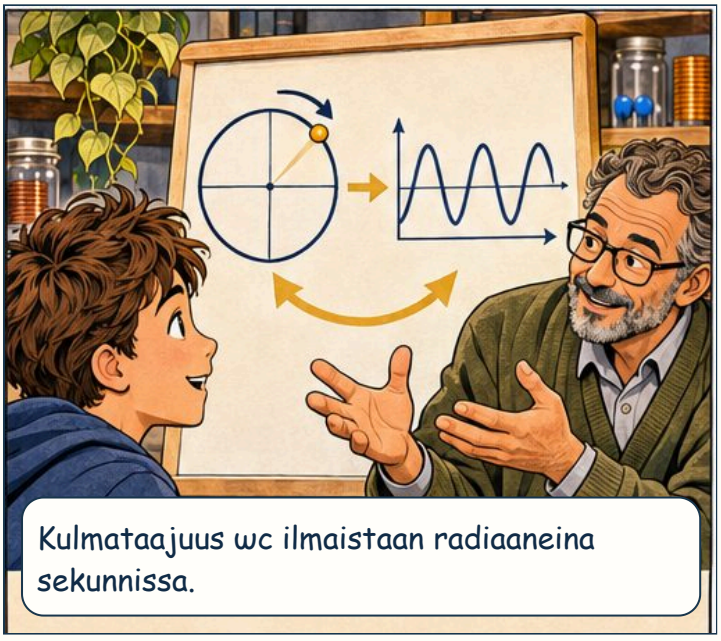
Mittakaavan muuttaminen



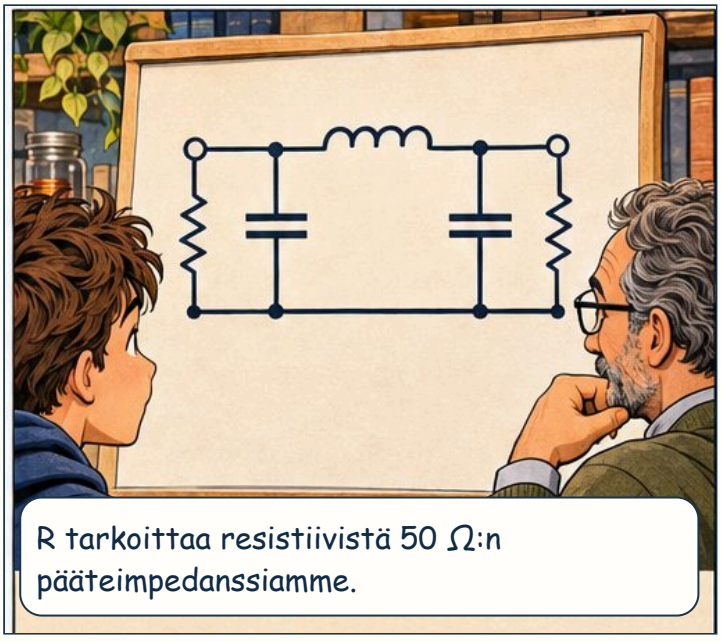
Rajakulmataajuus on ωc = 2πfc.



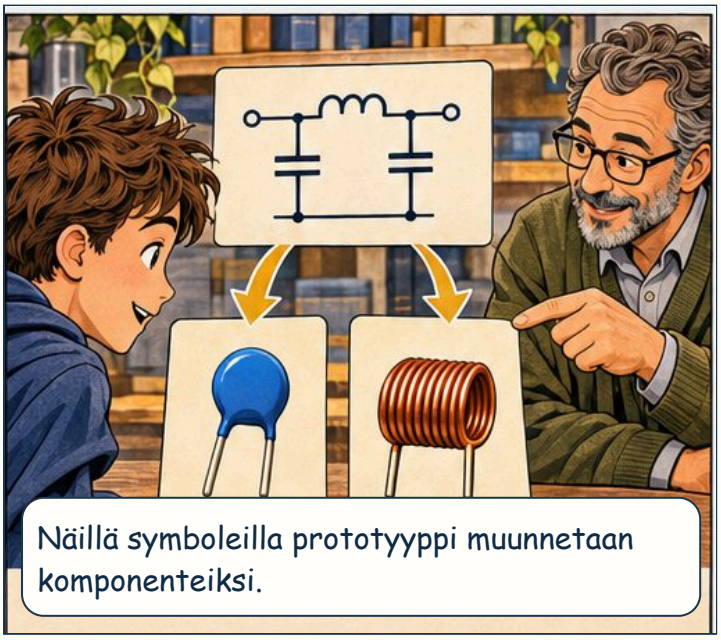
Tässä fc tarkoittaa rajataajuutta hertseinä.



Kulmataajuus ωc ilmaistaan radiaaneina sekunnissa.



R tarkoittaa resistiivistä 50 Ω:n pääteimpedanssiamme.



Näillä symboleilla prototyyppi muunnetaan komponenteiksi.

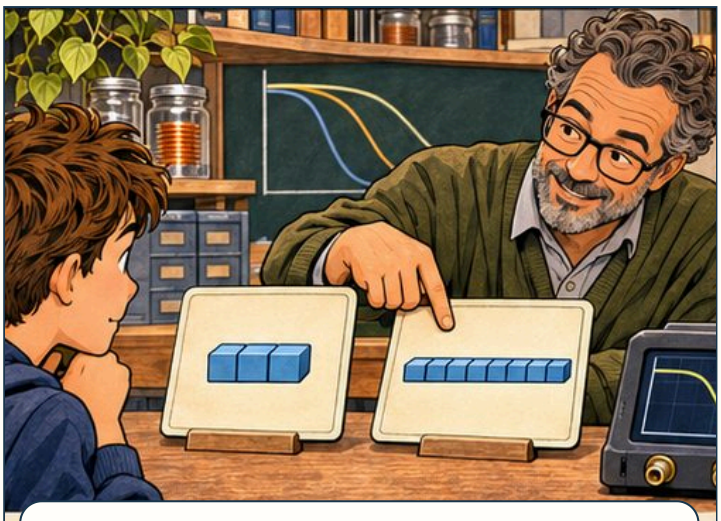


Nuori kirjoittaa ne ennen laskimen ottamista.

Yksiköt ennen lukuja



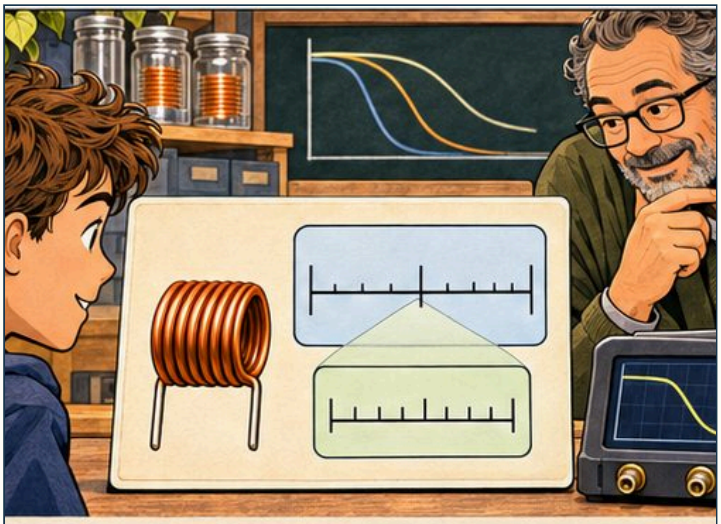
Yksi megahertsi on miljoona hertsiä.



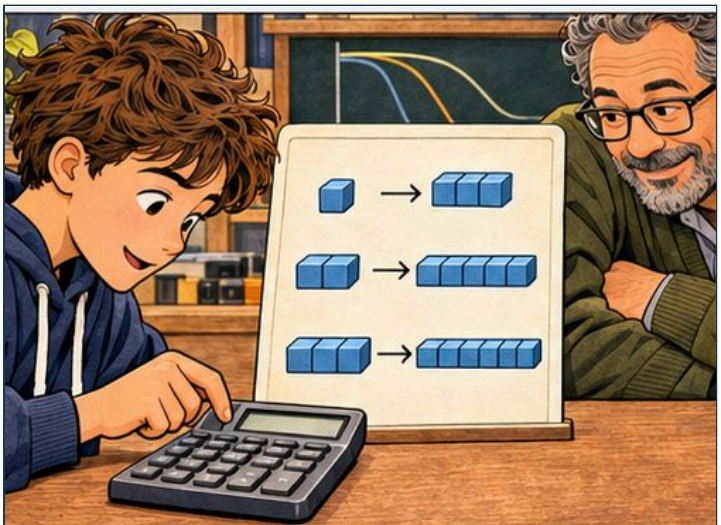
Heidän 10 MHz:n rajansa on siis 10 000 000 Hz.



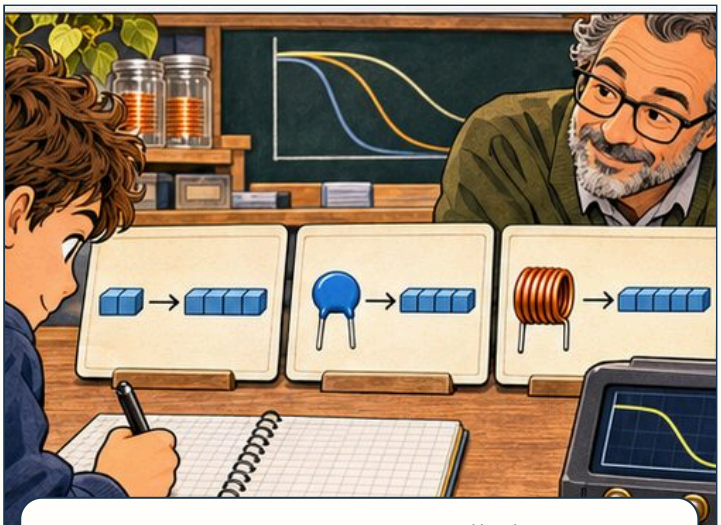
Yksi pikofaradi on 10^{-12} F.



Yksi mikrohenry on 10^{-6} H.

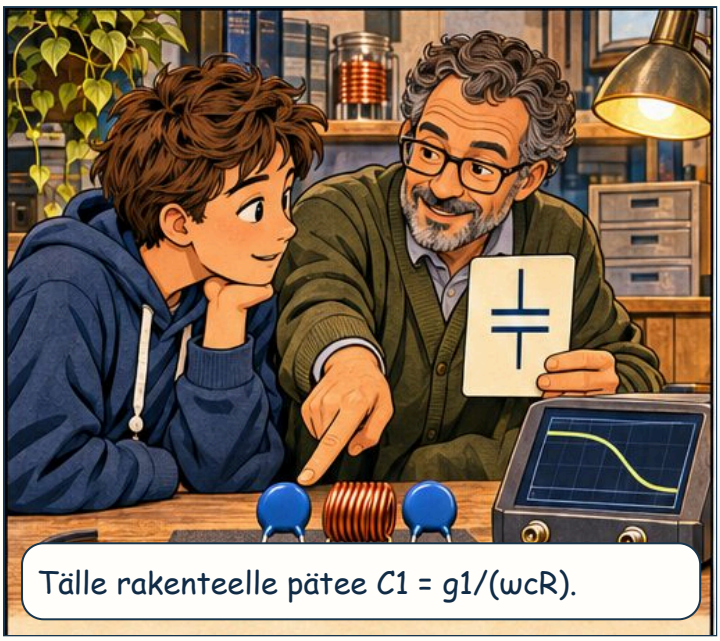


Kaavoissa käytetään ensin perusyksiköitä.

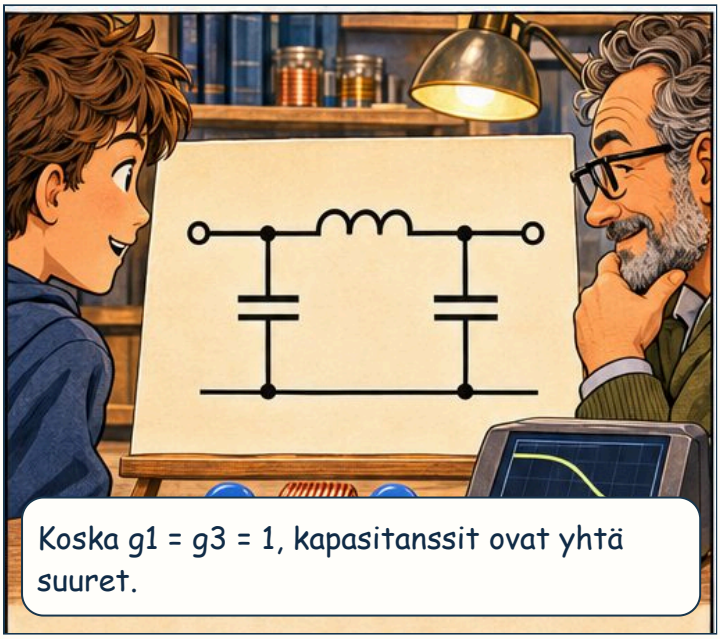


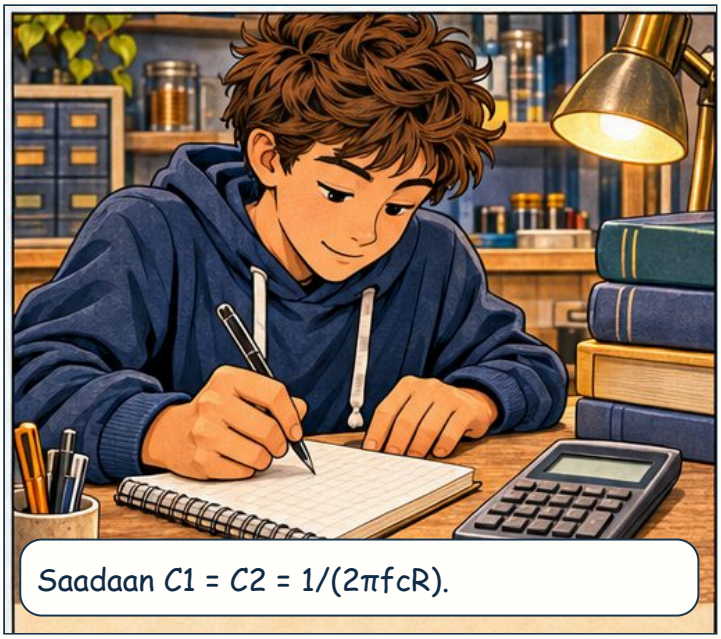
Nuori pitää muunnokset näkyvillä laskujen vieressä.

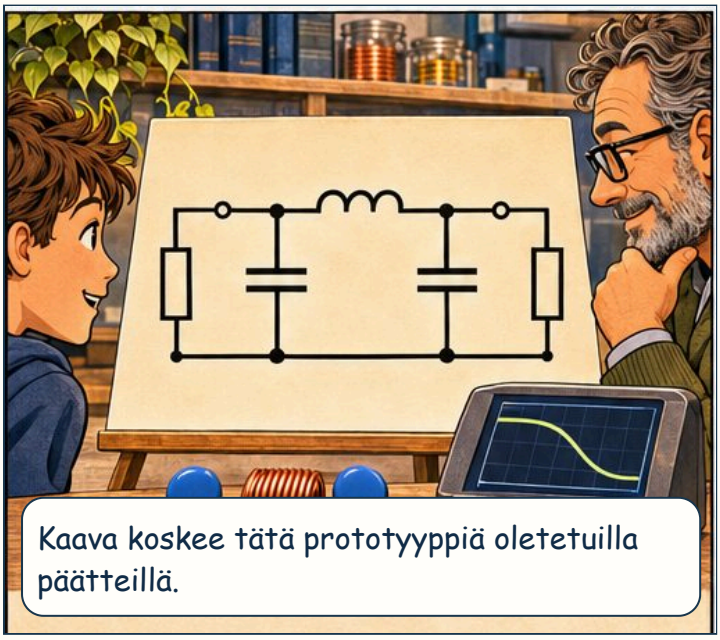
Kondensaattorien kaava









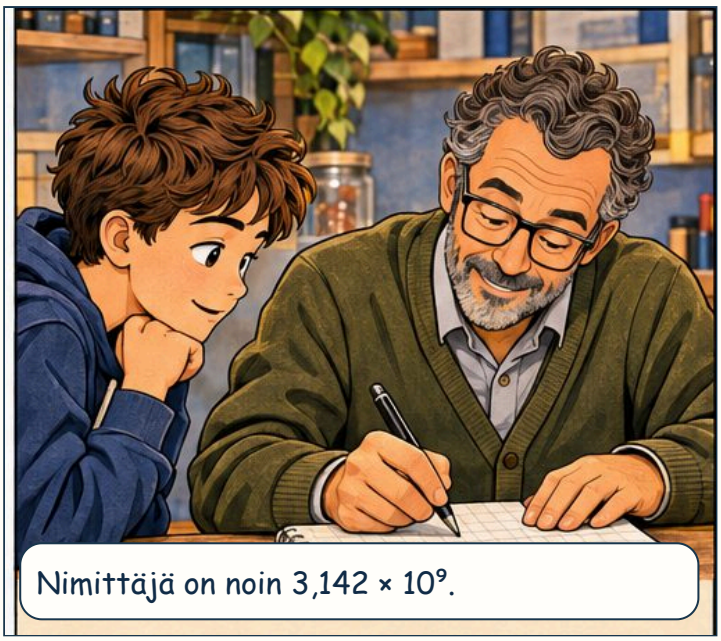




Kapasitanssien laskeminen



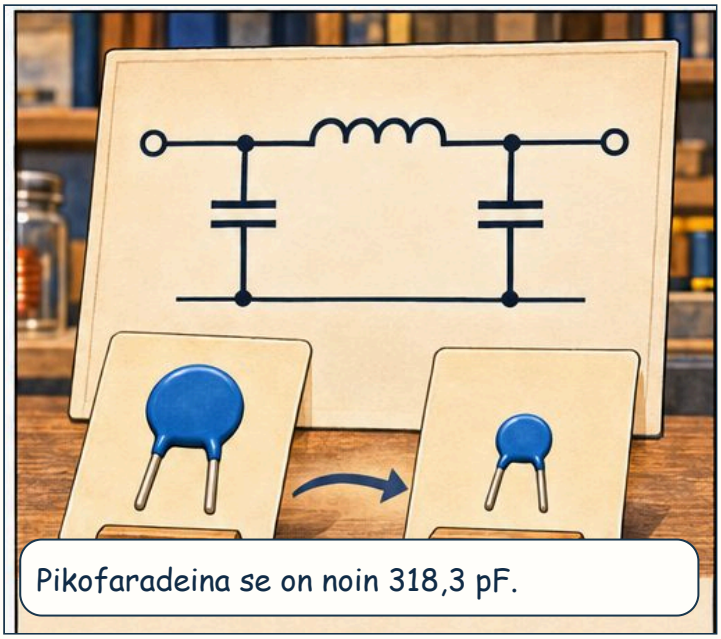
He sijoittavat fc = 10 000 000 Hz ja R = 50 Ω.



Nimittäjä on noin 3,142 × 10^{9}.



Kumpikin ihanteellinen kapasitanssi on noin 3,183 × 10^{-10} F.



Pikofaradeina se on noin 318,3 pF.

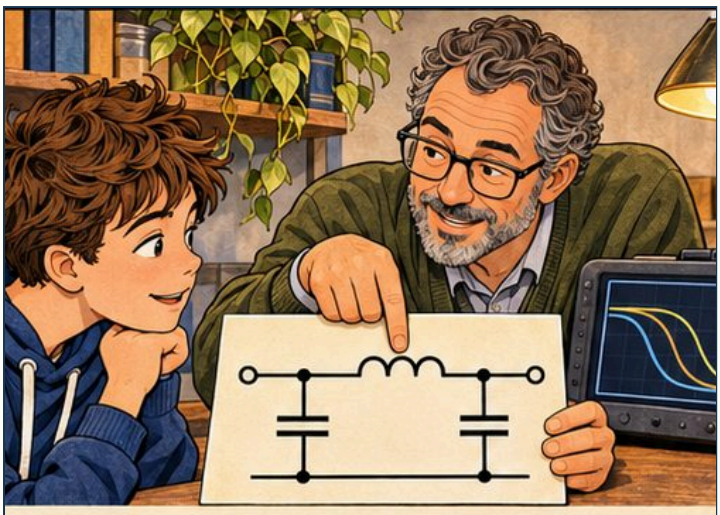


Kondensaattoreilla on siis sama teoreettinen arvo.



Lucas kirjoittaa tuloksen yksikkö selvästi näkyvissä.

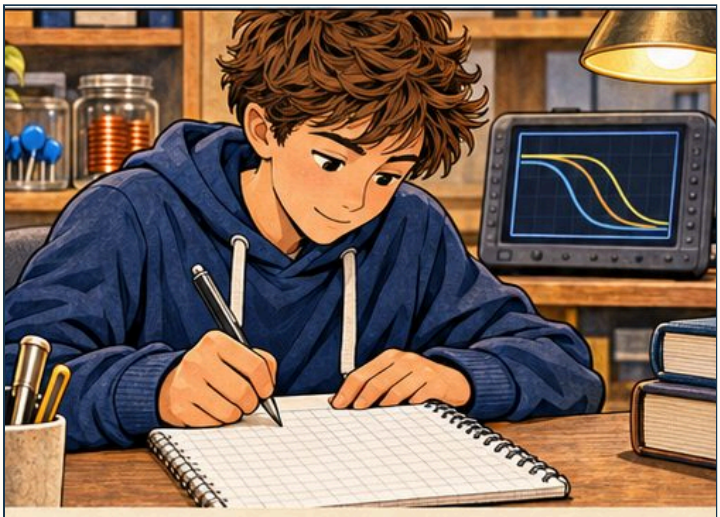
Kelan kaava



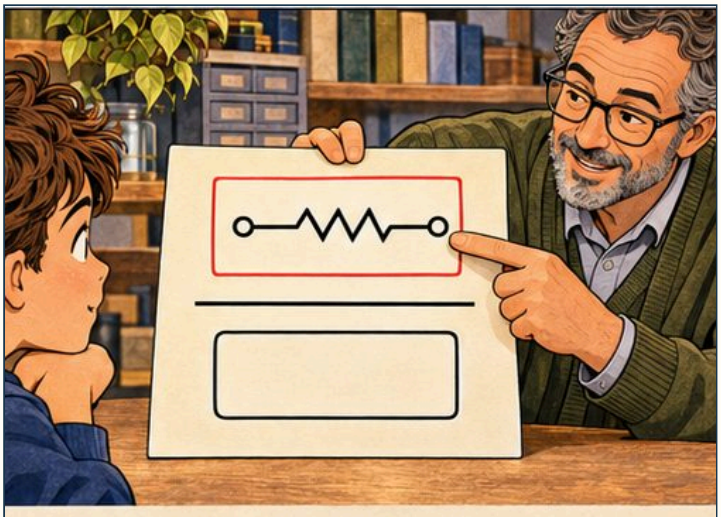
Sarjakelalle pätee L = g2R/ωc.



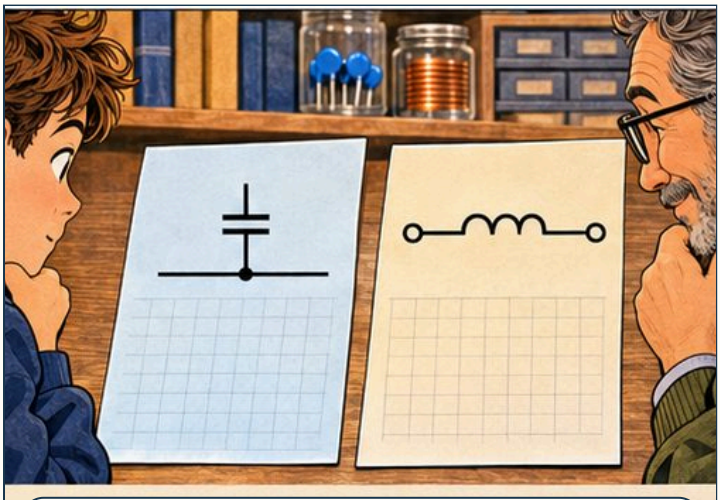
Keskimmäinen kerroin on tässä g2 = 2.



Saadaan siis L = 2R/(2πfc).



Pääteresistanssi on tällä kertaa osoittajassa.



Nuori vertaa kaavaa kondensaattorien kaavaan.

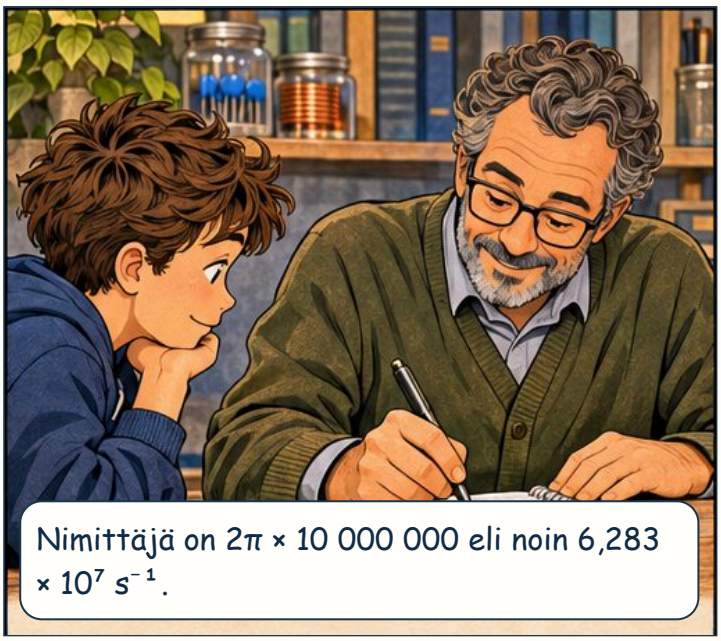


Ulkonäön samankaltaisuus ei korvaa uudelleen lukemista.

Induktanssin laskeminen



Osoittaja on 2 × 50 eli 100 Ω.



Nimittäjä on 2π × 10 000 000 eli noin 6,283 × 10^{7} s^{-1}.



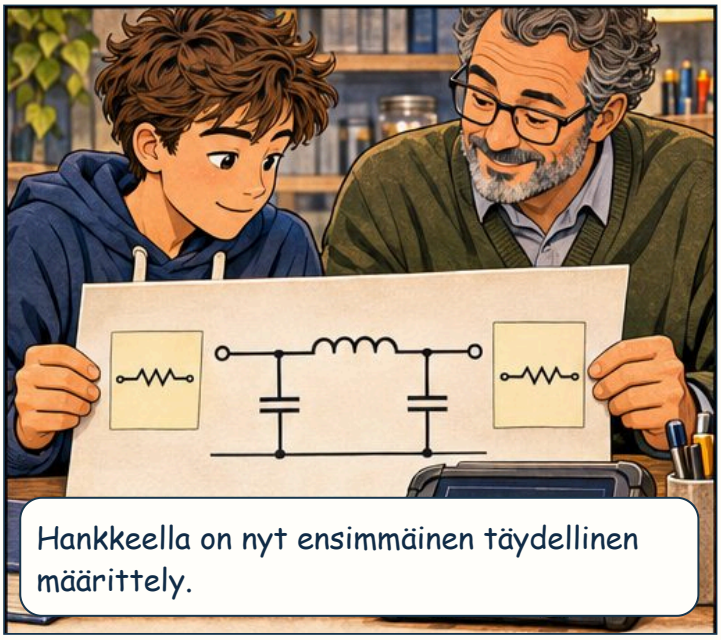
Lasku antaa noin 1,592 × 10^{-6} H.



Ihanteellisen kelan induktanssi on siis noin 1,59 µH.



He kokoavat kaikki kolme tulosta samaan kuvaan.



Hankkeella on nyt ensimmäinen täydellinen määrittely.

Miljoonakertainen virhe



Nuori kokeilee syöttää laskun nopeasti uudelleen.



Hän syöttää 10 luvun 10 000 000 sijaan.



Tulos on miljoona kertaa liian suuri.



Vertailu odotettuihin komponentteihin paljastaa virheen heti.



Hän korjaa syötteen ja toistaa laskun erikseen.



Suuruusluokan tarkistamisesta tulee hyödyllinen tapa.

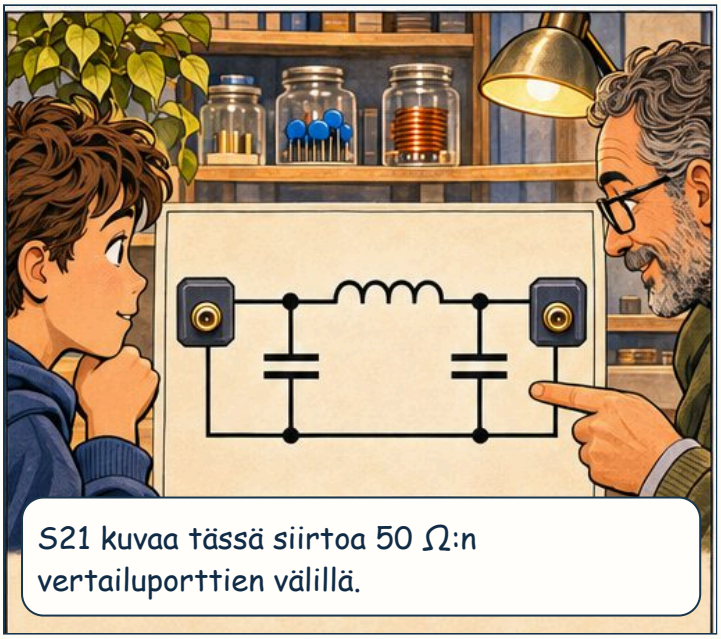
Kokonaisen käyrän ennustaminen



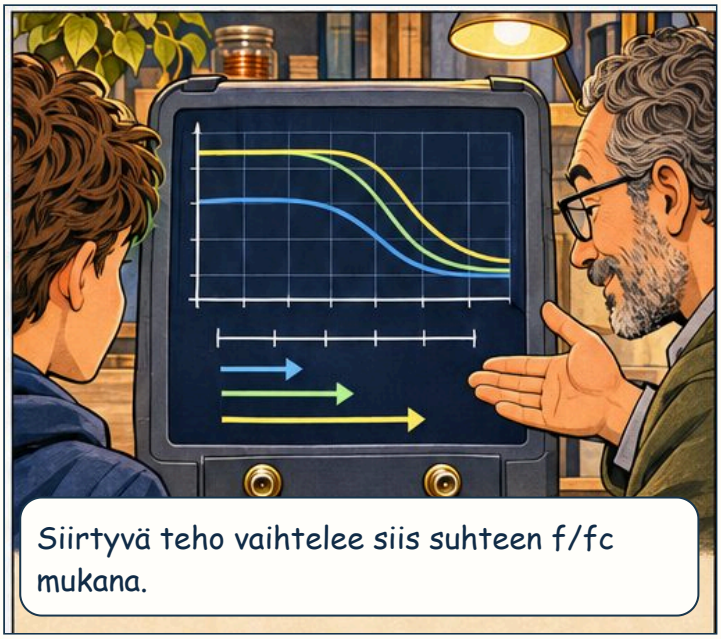
Kolme arvoa eivät vielä kerro koko vastetta.



Ihanteellisessa mallissa S21:n itseisarvon neliö on $1/[1 + (f/fc)^6]$.



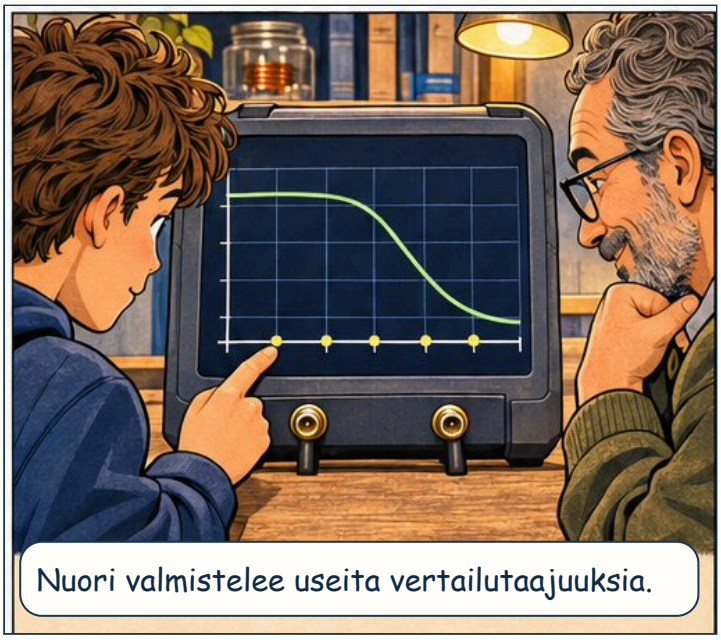
S21 kuvaa tässä siirtoa 50 Ω:n vertailuporttien välillä.



Siirtyvä teho vaihtelee siis suhteen f/fc mukana.



Teoreettinen käyrä toimii vertailukohtana ennen mittausta.



Nuori valmistelee useita vertailutaajuuksia.

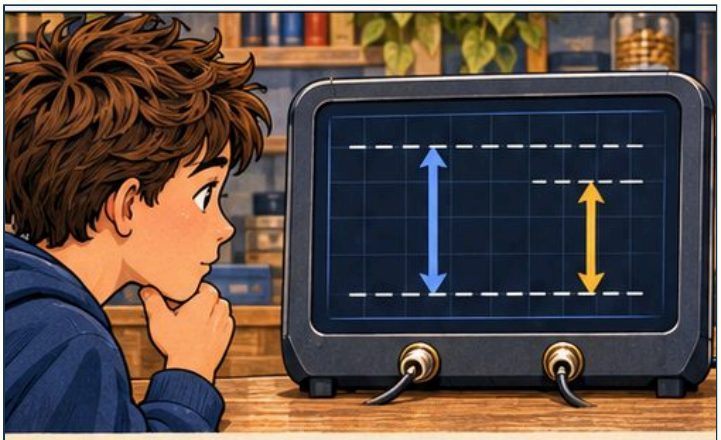
Mitä miinus kolme desibeliä tarkoittaa?



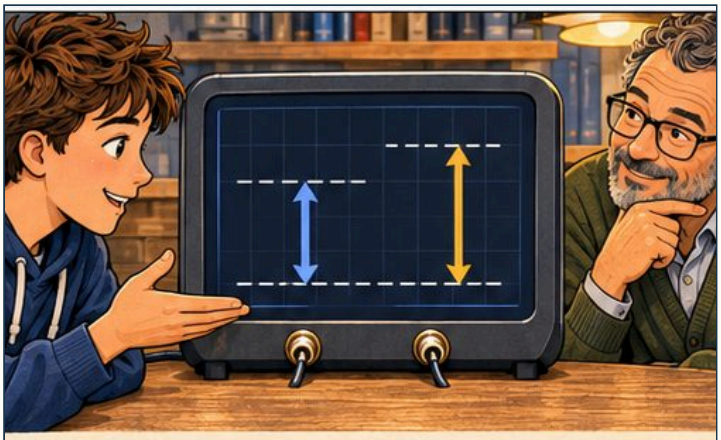
Kun f = fc, ihanteellinen siirtyvän tehon suhde on 1/2.



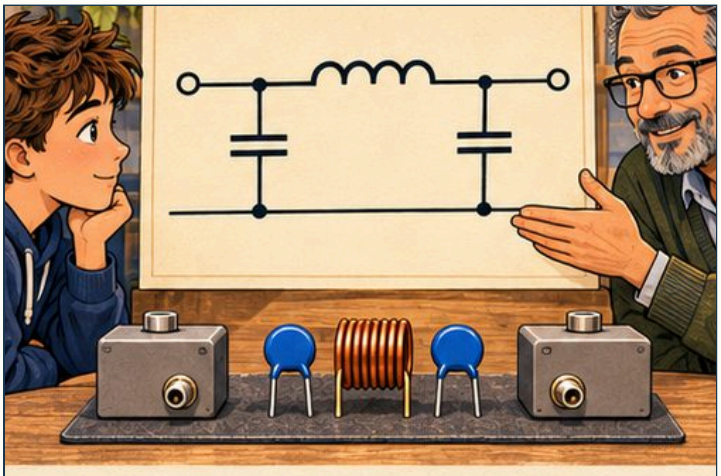
Desibeleinä 10 log10(1/2) antaa noin −3,01 dB.



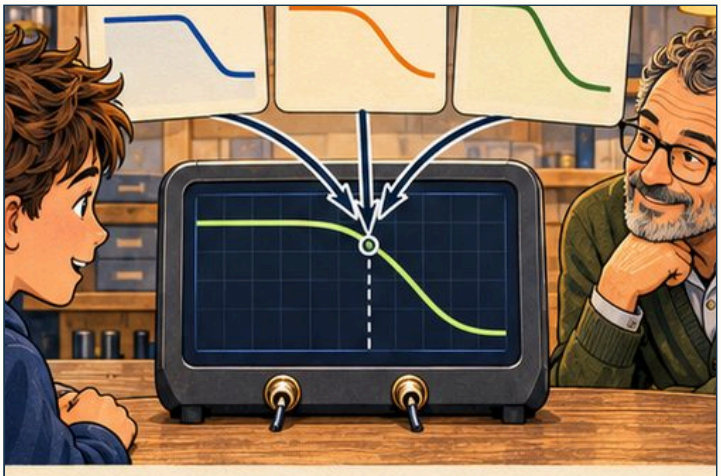
S21:n itseisarvo on silloin noin 0,707.



Amplitudi ei siis ole puolet.



Laskenta käyttää sovitettuja 50 Ω:n vertailuarvoja.

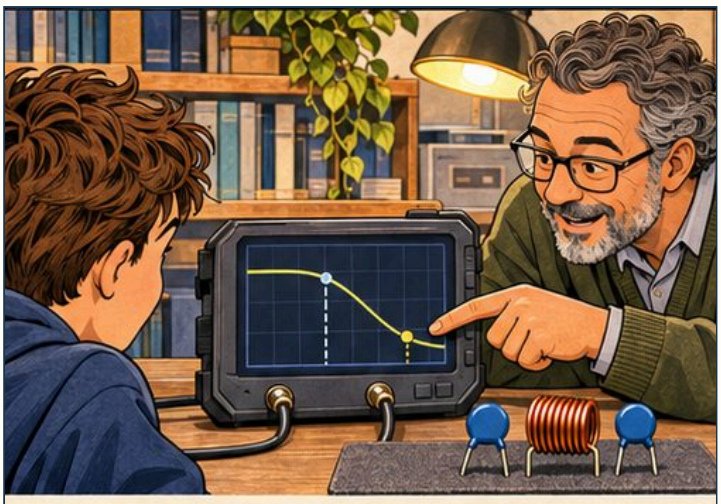


Nuori yhdistää saman käyräpisteen kolme esitystapaa.

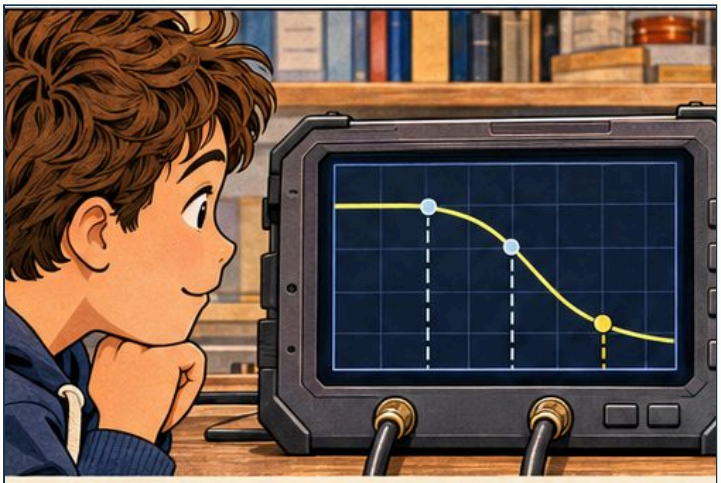
Rajataajuuden yläpuolella



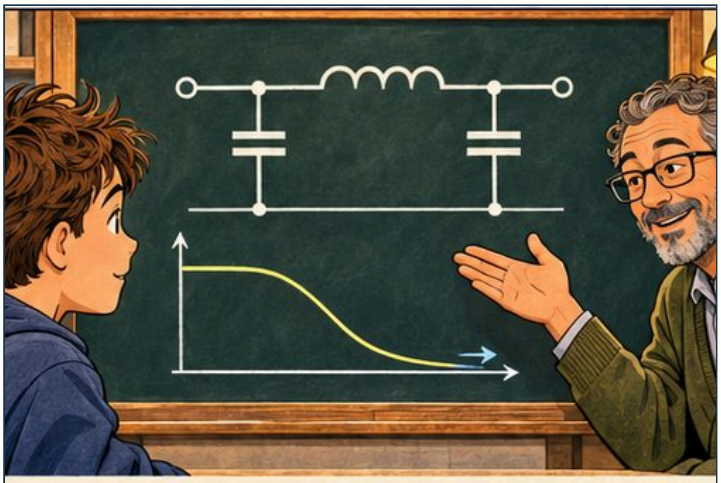
Taajuudella 20 MHz suhde f/fc on 2.



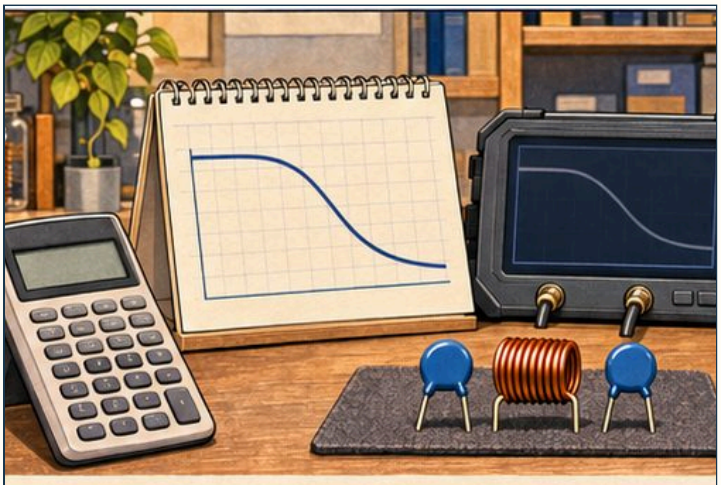
Ihanteellinen siirto on silloin noin −18,13 dB.



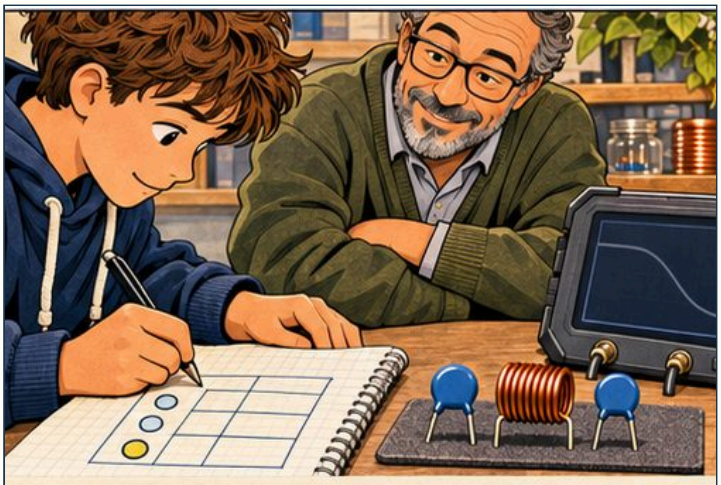
Taajuudella 30 MHz f/fc = 3: noin −28,63 dB.



Vaimennus kasvaa, mutta pysyy äärellisenä.

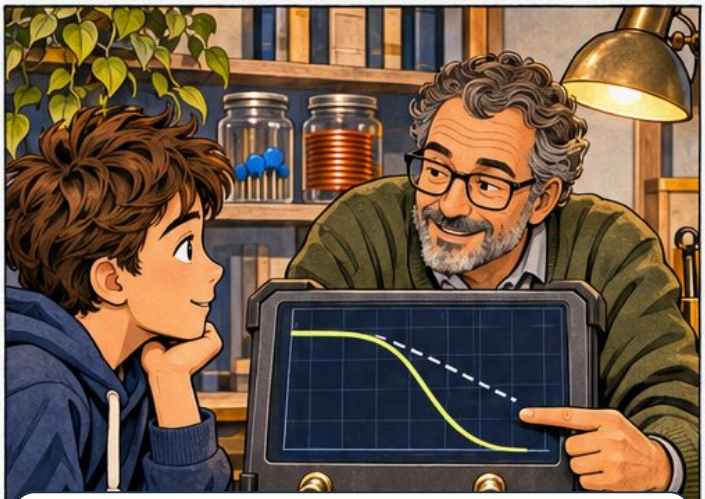


Luvut on laskettu, ei mitattu heidän kytkennästään.

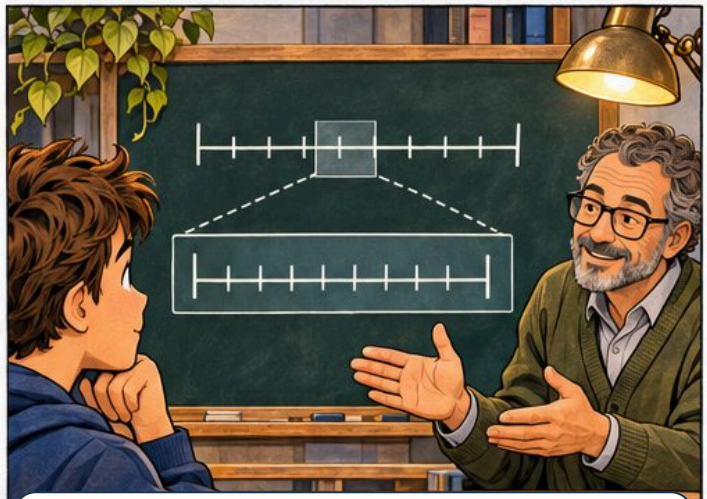


Nuori lisää ne ennusteiden sarakkeeseen.

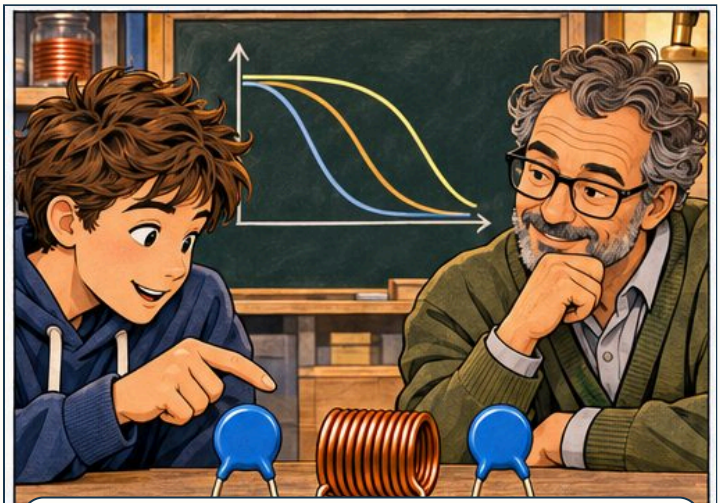
Jyrkkyys ei ole lupaus



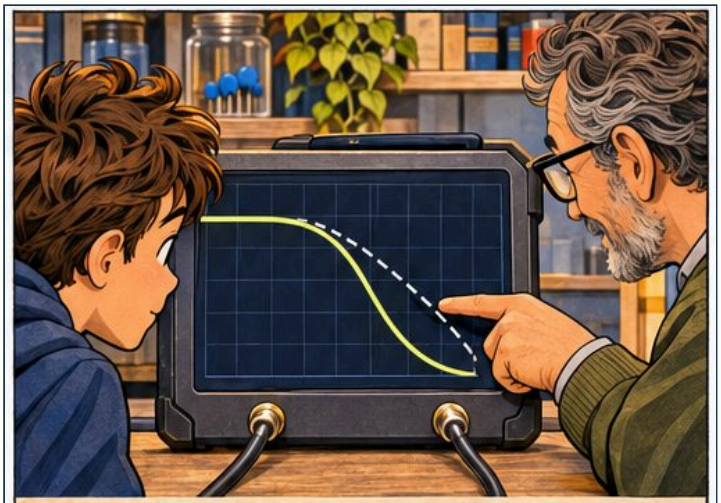
Kaukana rajasta ihanteellinen vaimennus lähestyy arvoa 60 dB dekadia kohti.



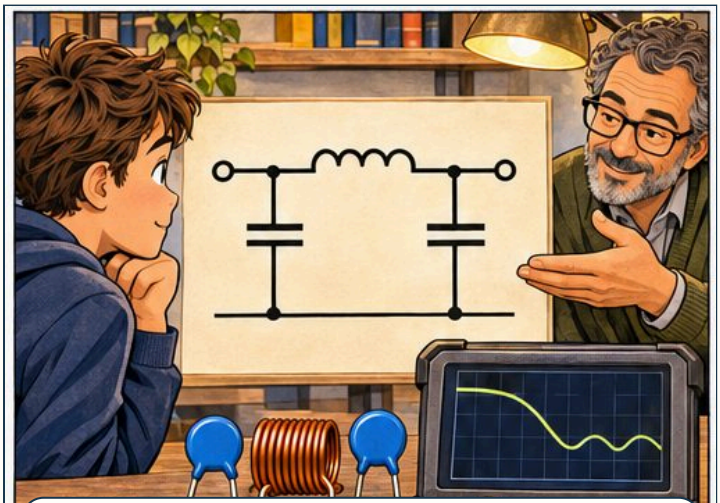
Dekadi tarkoittaa taajuuden kymmenkertaistumista.



Tämä asymptoottinen jyrkkyys kuuluu kolmannen kertaluvun malliin.



Rajan lähellä käyrä ei ole suora.

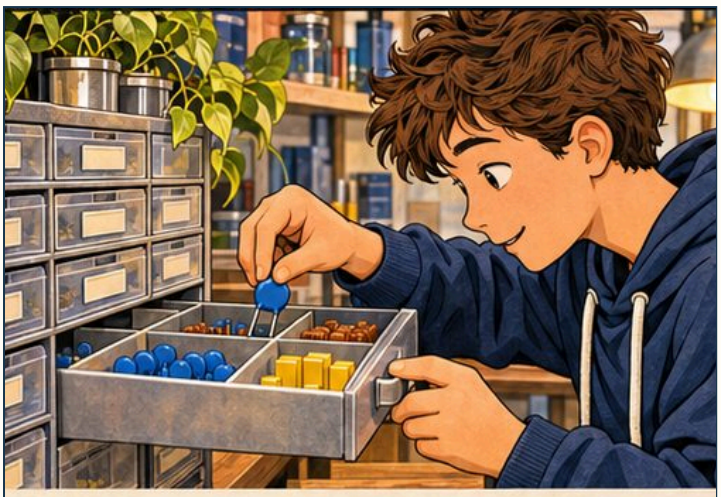


Todelliset komponentit myös rajoittavat tätä kehitystä.

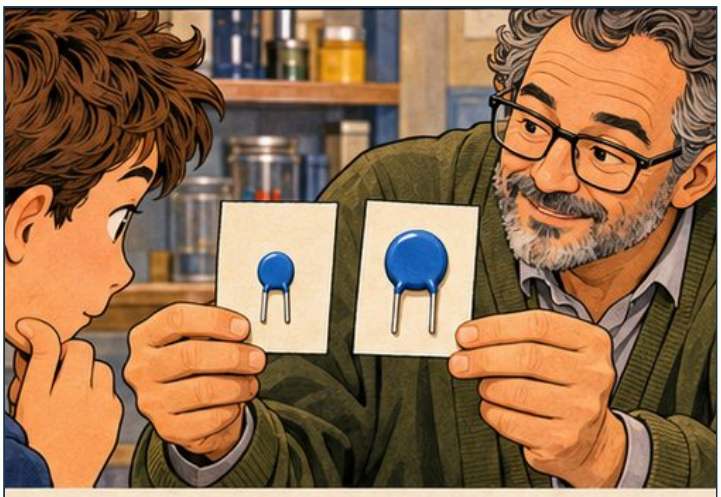


Nuori ei sovella sääntöä ehtojensa ulkopuolella.

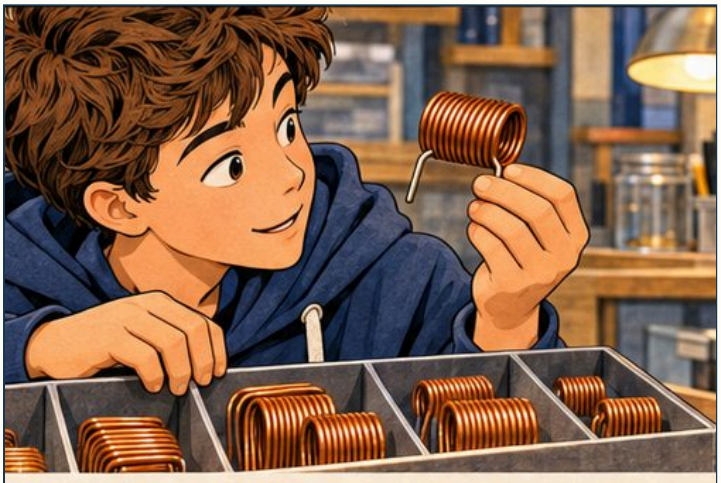
Saatavilla olevat arvot



Laatikossa ei välttämättä ole tarkalleen 318,3 pF:n kondensaattoreita.



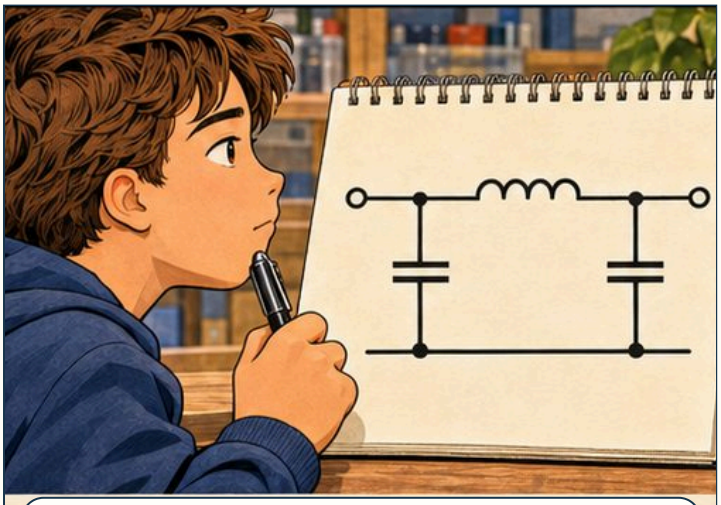
Tavallinen 330 pF ei ole sama arvo.



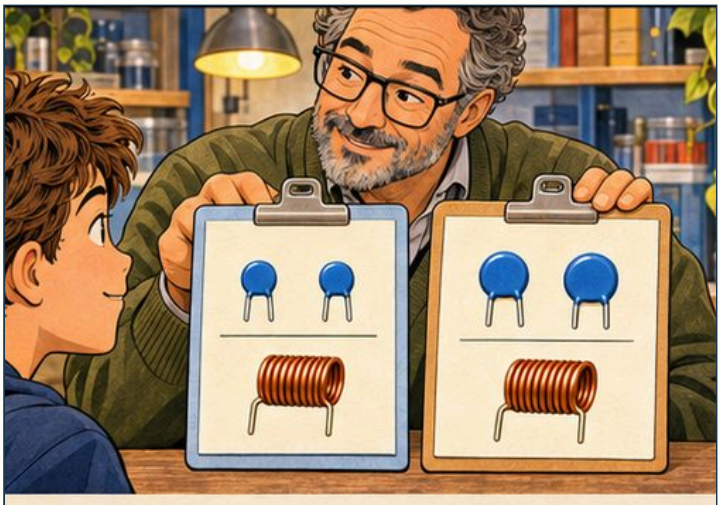
Kela 1,6 µH on lähellä laskettua arvoa.



Nämä valinnat vaativat vasteen uuden laskennan tai simuloinnin.

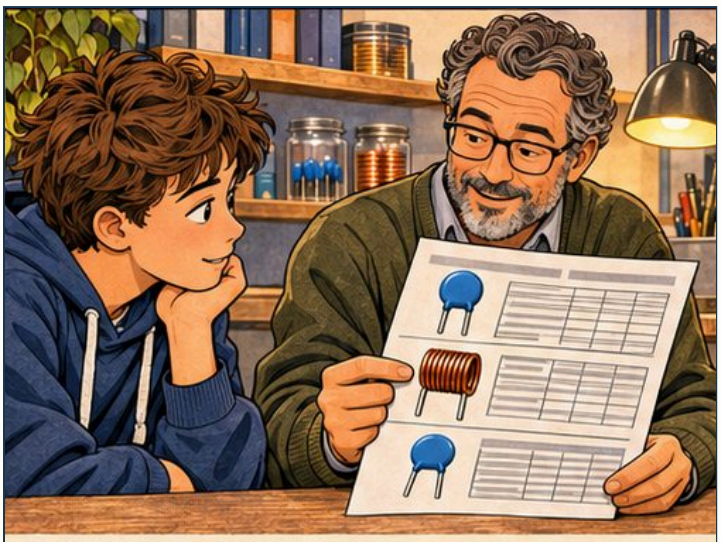


Kytkentää ei voi automaattisesti kutsua tarkalleen 10 MHz:n suodattimeksi.



Nuori erottaa ihanteelliset ja valitut arvot.

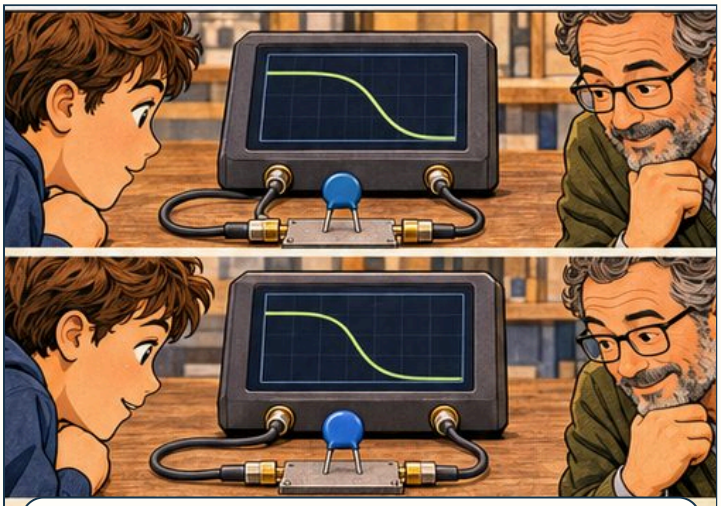
Jokaisella osalla on toleranssi



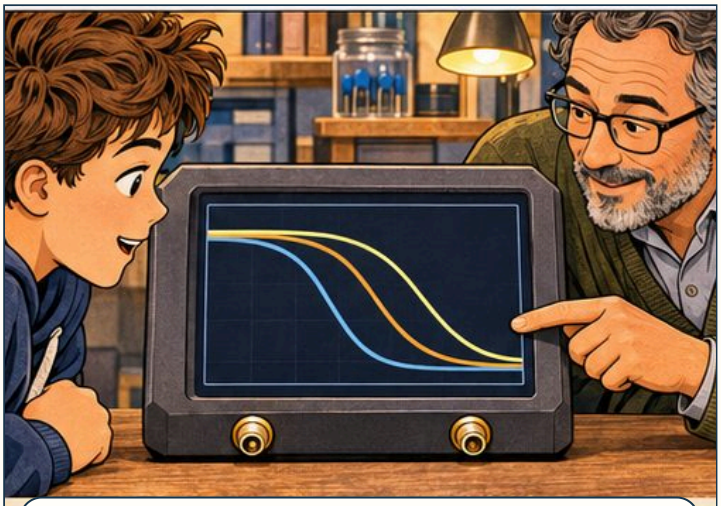
Nimellisarvo ei ole taattu tarkka arvo.



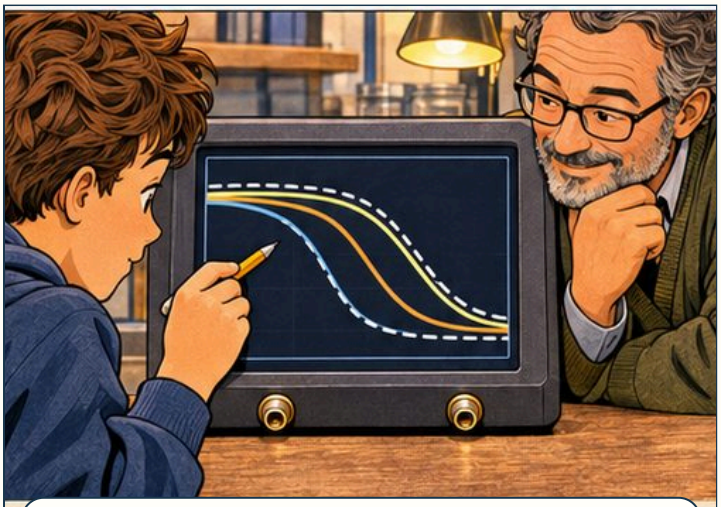
Kondensaattorien ja kelan toleransseilla on merkitystä.



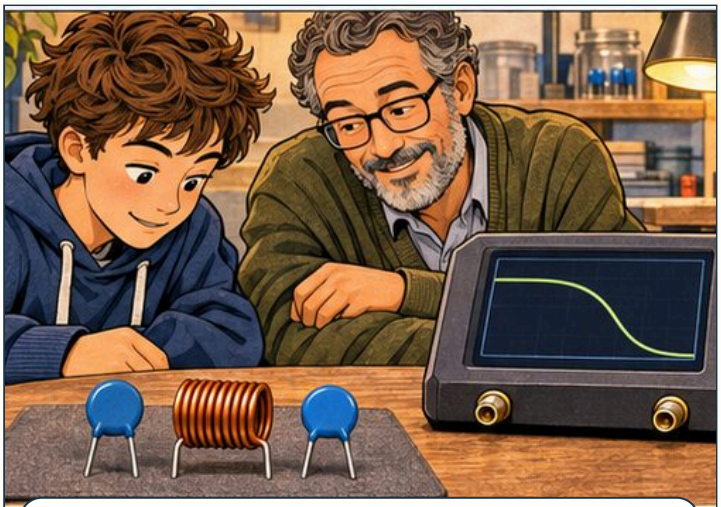
Kaksi samoin merkittyä komponenttia voivat poiketa hieman.



Simuloinnilla voidaan tutkia useita arvoyhdistelmiä.



Se auttaa ennakoimaan mahdollisten vasteiden vaihteluväliä.



Mittauksessa tutkitaan sitten todella käytettyjä osia.

Piilossa olevat komponentit



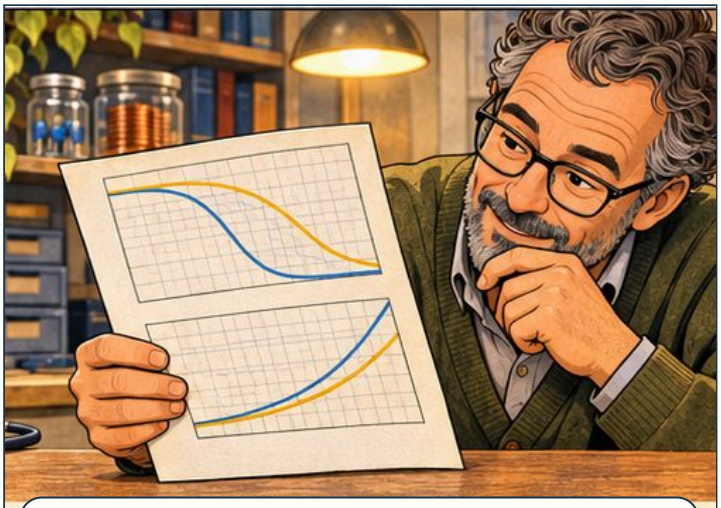
Todellisella kelalla on myös resistanssia ja loiskapasitanssia.



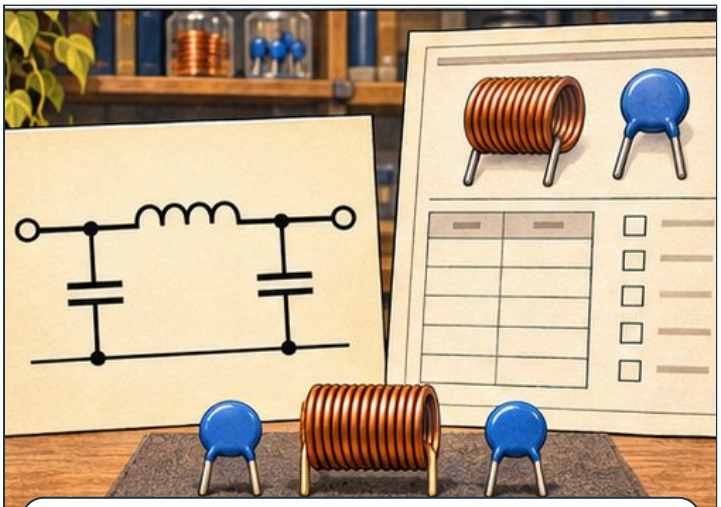
Kondensaattorilla on muun muassa häviöitä ja loisinduktanssia.



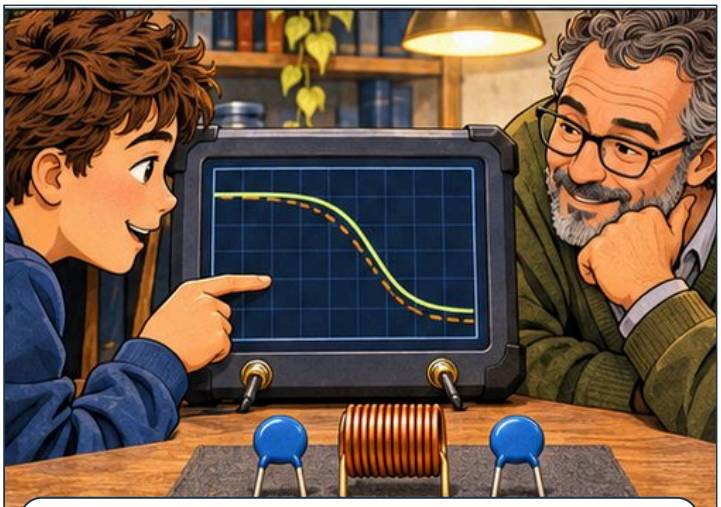
Niiden käyttäytyminen muuttuu tiettyjen resonanssien lähellä.



Datalehdet ilmoittavat tutkittavia rajoituksia.



Pelkkä arvo pikofaradeina tai mikrohenryinä ei siis riitä.



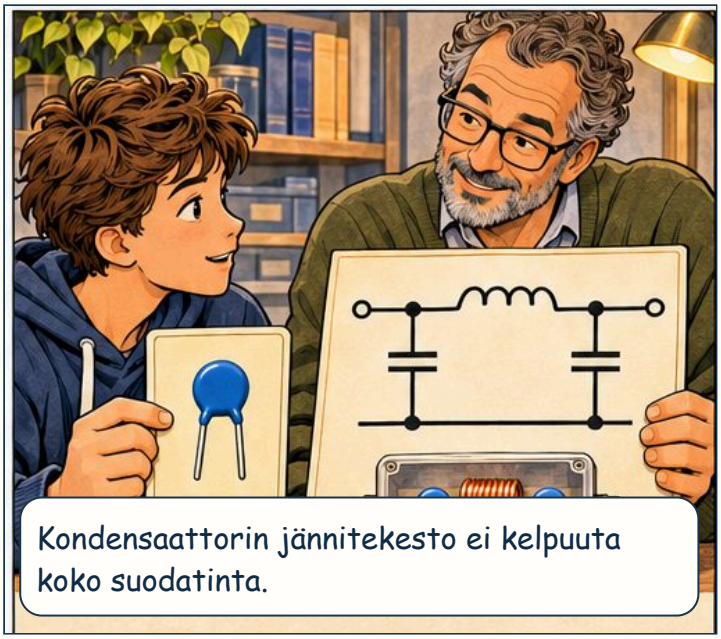
Nuori oppii lukemaan ensimmäistä riviä pidemmälle.

Pöytäkoe ei hyväksy lähetintä





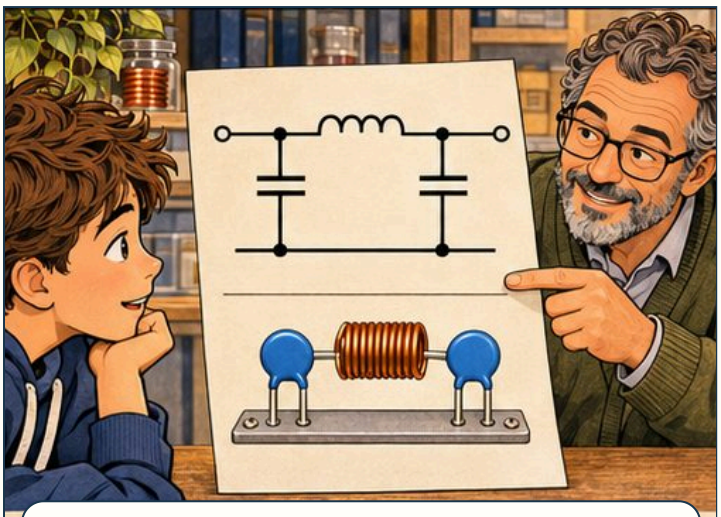




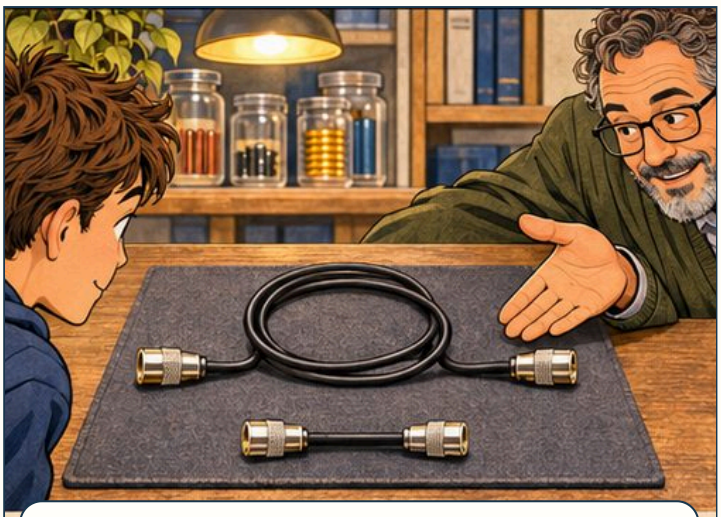




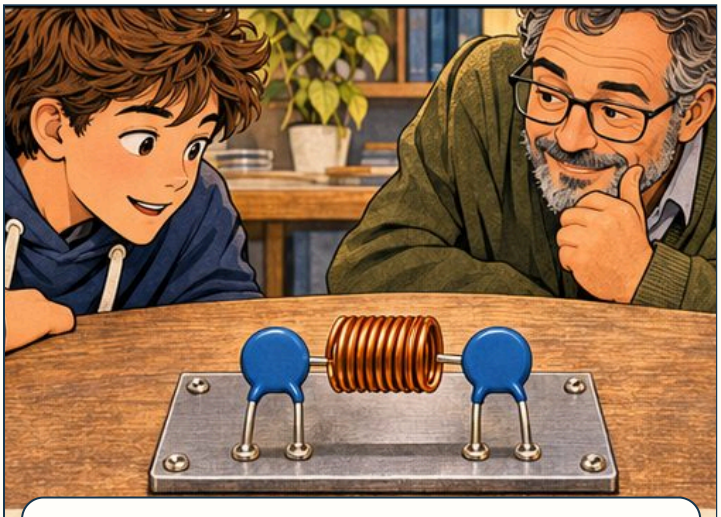
Sijoittelun piirtäminen



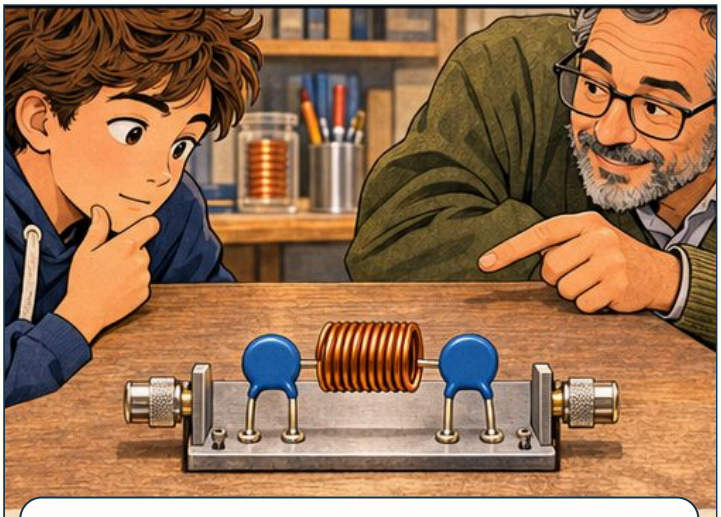
Kytkentäkuva näyttää liitännät, mutta ei niiden koko geometriaa.



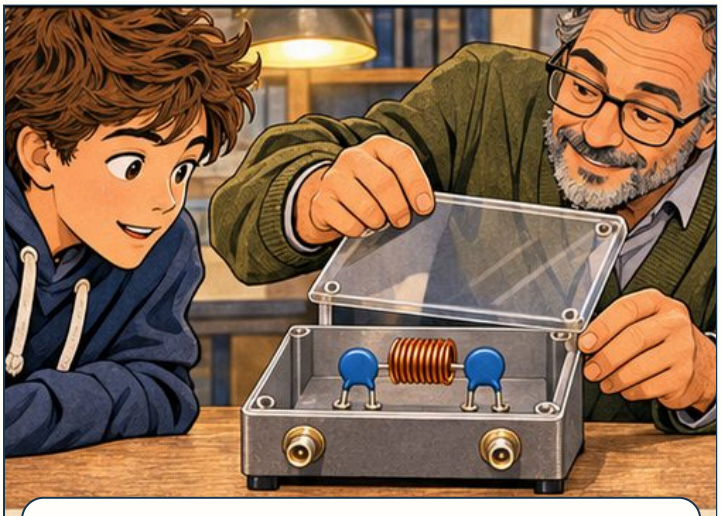
Näillä taajuuksilla johtimien pituus ja sijoittelu voivat vaikuttaa.



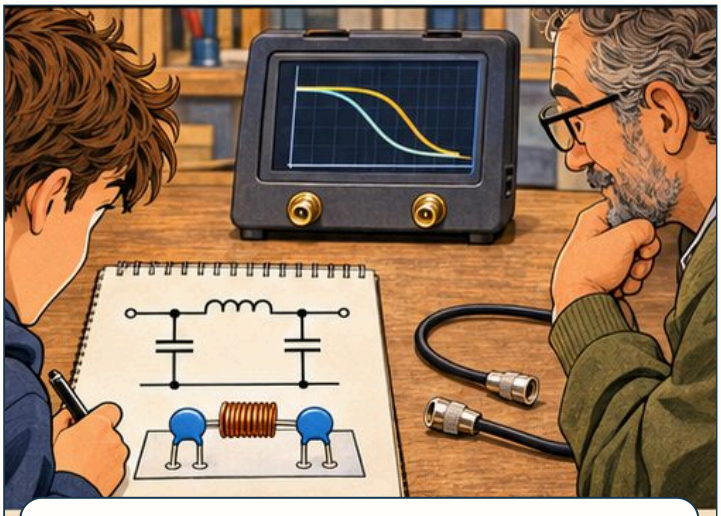
He suunnittelevat yhteisen maan ja lyhyet liitännät.



He myös erottavat reitit, jotka voisivat kytkeytyä suoraan.



Henri valmistelee mittaukseen soveltuvan esittelymoduulin.

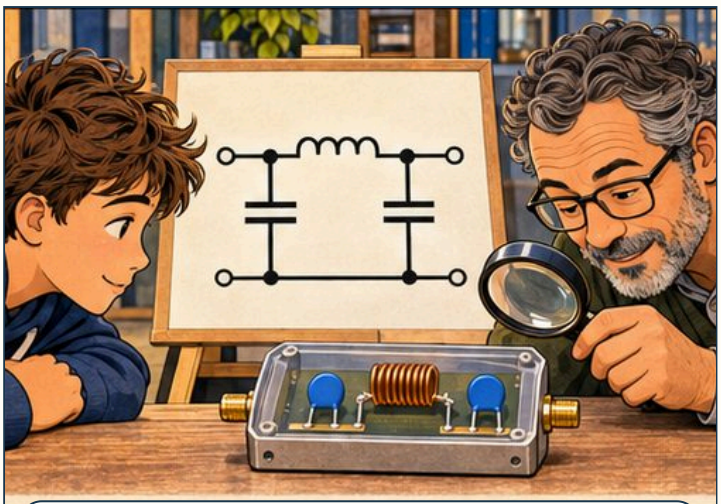


Lucas vertaa sijoittelua kytkentään liitäntä kerrallaan.

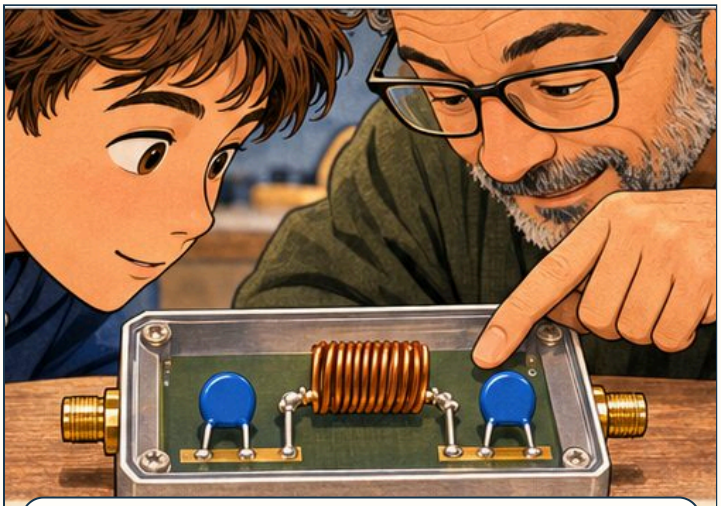
Tarkista ennen kytkemistä



Mittauslähde pidetään sammutettuna valmistelun ajan.



He tarkistavat liitännät, komponentit ja yhteisen maan.



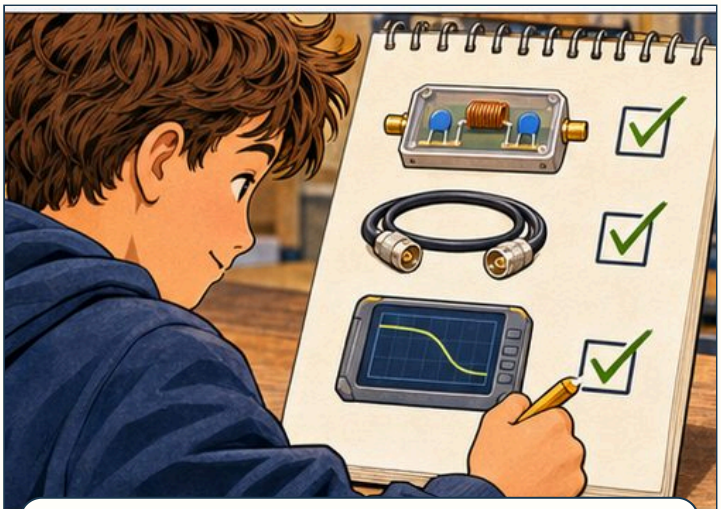
He etsivät oikosulkua, väärää liitäntää tai vaurioitunutta osaa.



Sitten tarkistetaan liittimet ja kaapelit.



Mentori tarkistaa laitteen tulorajat.

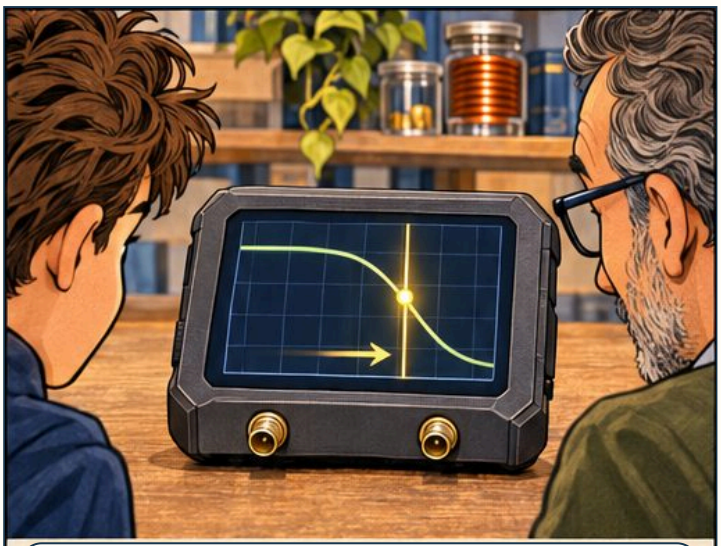


Nuori viimeistelee listansa ennen ensimmäistä pyyhkäisyä.

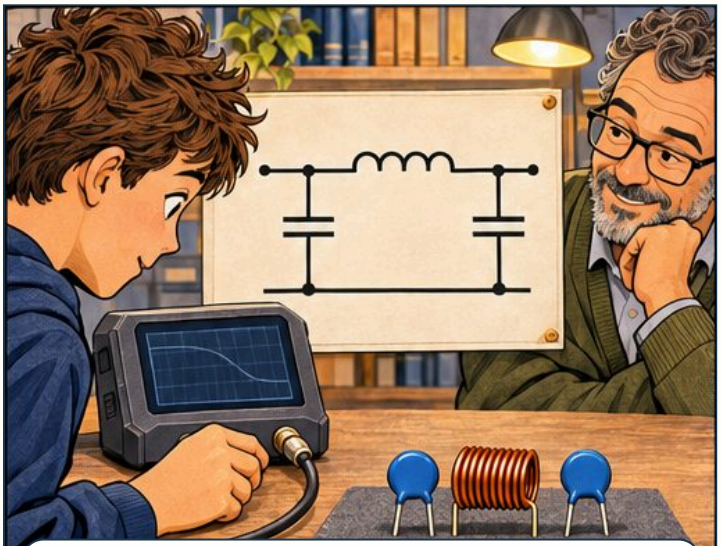
Analysaattori esittää kysymykset



Verkkoanalysaattori lähettää tunnetun heikon signaalin.



Se pyyhkäisee valitun taajuusalueen.



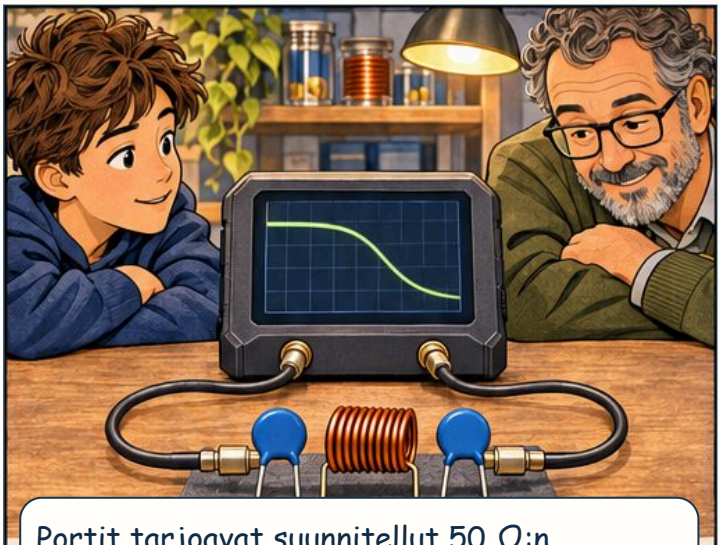
Portti 1 syöttää suodattimen tuloa.



Portti 2 tarkkailee siirtoa lähdössä.



Parametrilla S21 voidaan seurata tätä siirtoa.



Portit tarjoavat suunnitellut 50 Ω:n vertailuimpedanssit.

Kalibroi oikeassa kohdassa



Kaapelit ja sovittimet vaikuttavat mittaukseen.



Siksi he seuraavat laitteen kalibrointimenettelyä.



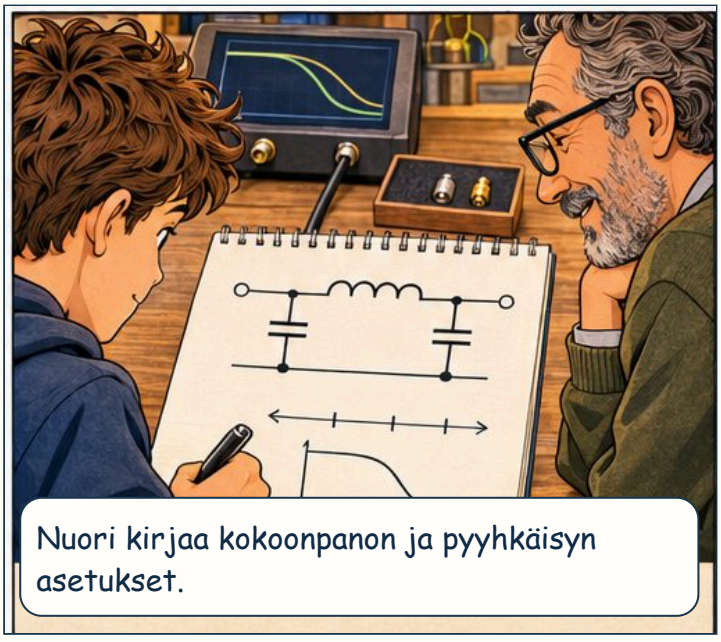
Sopivat kalibrointinormaalit kytketään ohjeen mukaan.



Vertailutasot asetetaan kaapelien päihin.



Kalibroinnin jälkeen liitännät säilytetään mahdollisimman ennallaan.



Nuori kirjaa kokoonpanon ja pyyhkäisyn asetukset.

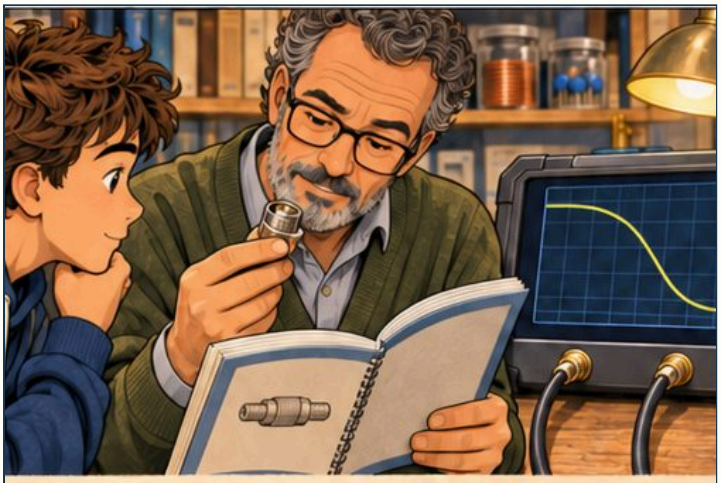
Suoran reitin tarkistus



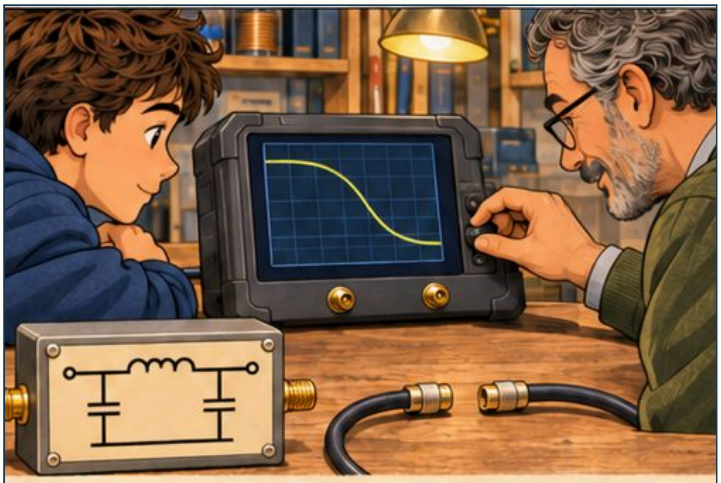
Ennen suodatinta suora liitäntä auttaa tarkistamaan vertailun.



Odotetun siirron täytyy vastata tätä liitäntää.



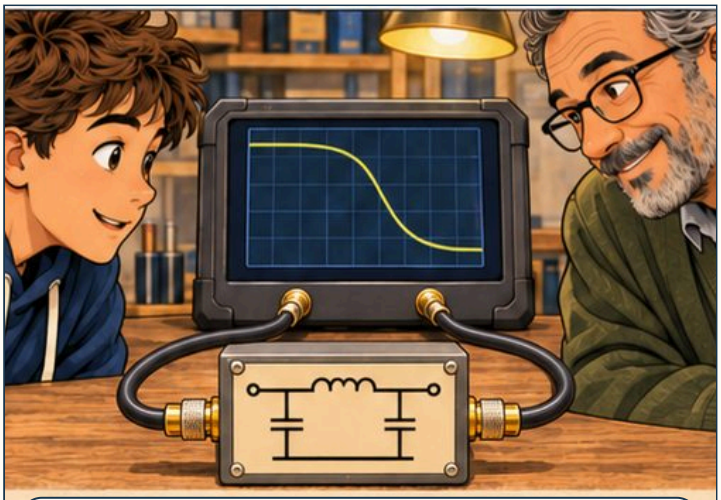
Poikkeama vaatii kaapelien, kalibroinnin ja asetusten tutkimista.



Suodatinta ei muuteta mittauspenkin vian peittämiseksi.



Tarkistuksen jälkeen lähde sammutetaan kytkemistä varten.

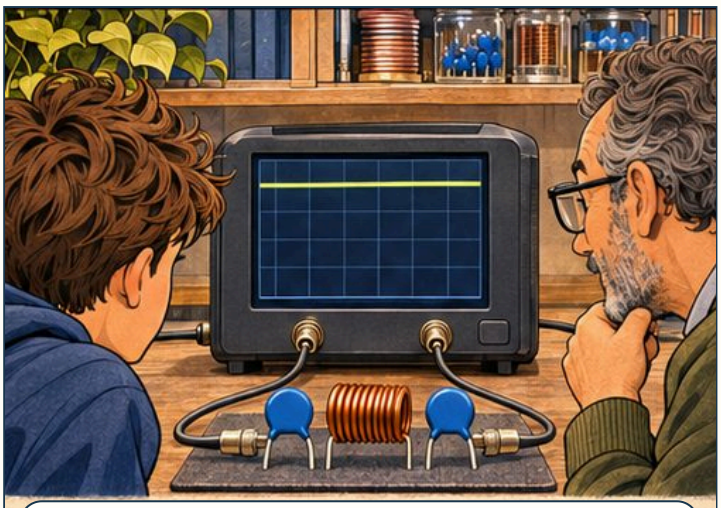


Suodatin asetetaan sitten kahden kaapelin väliin.

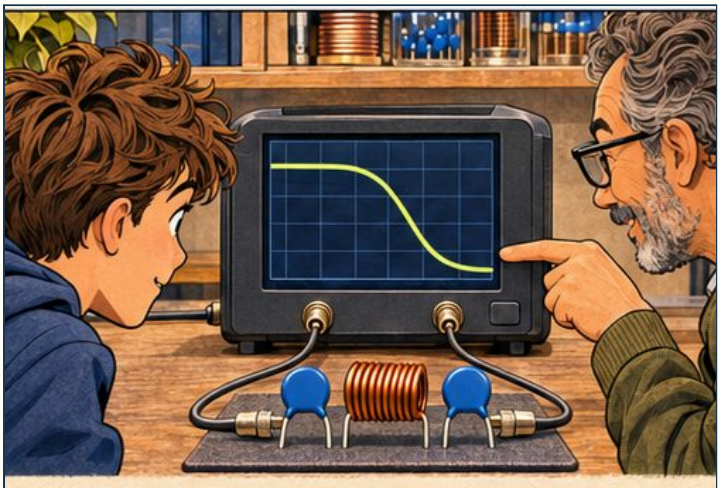
Ensimmäinen pyyhkäisy



He käynnistävät hyötykaistan ja siirtymän kattavan pyyhkäisyn.



Käyrä pysyy korkeammalla matalilla taajuuksilla.



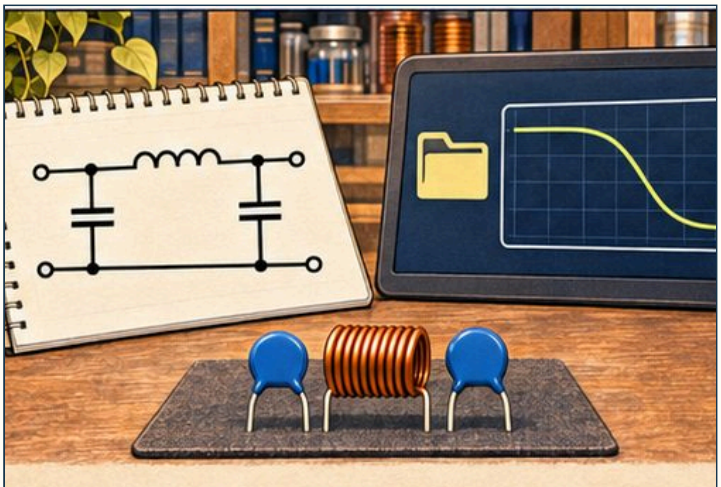
Sitten se laskee taajuuden kasvaessa.



Nuori tunnistaa ennustetun muodon olettamatta täydellistä yhtäläisyyttä.



Hän tallentaa käyrän ja mittausolosuhteet.



Säilytettyä tulosta voidaan verrata jokaisen muutoksen jälkeen.

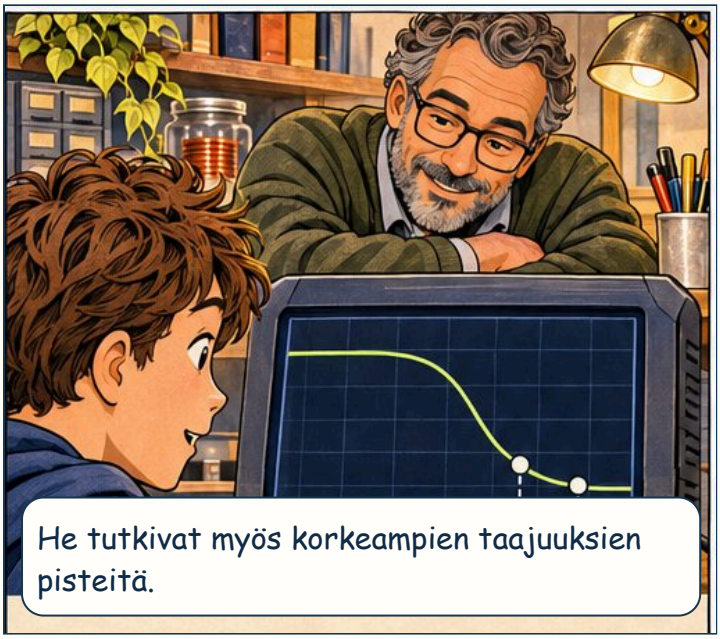
Tarkkojen pisteiden lukeminen



Merkit osoittavat laskennassa valitut taajuudet.



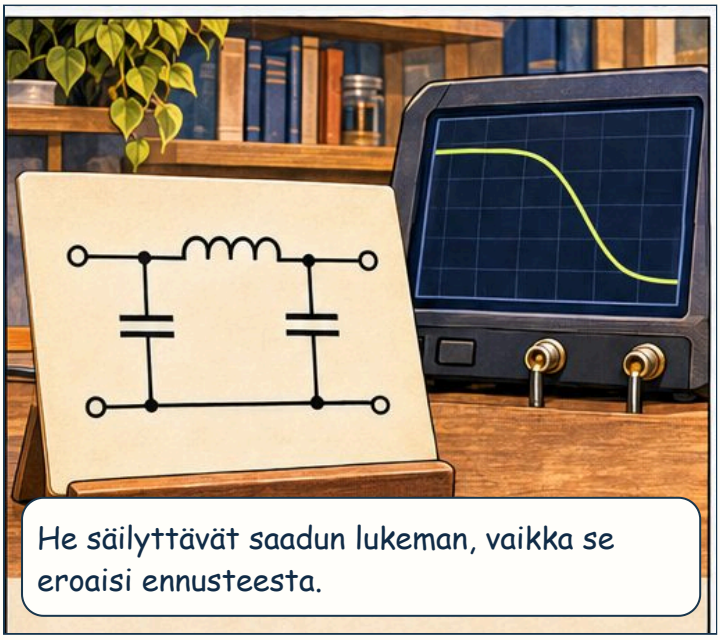
He lukevat siirron odotetun rajataajuuden ympärillä.



He tutkivat myös korkeampien taajuuksien pisteitä.



Todelliset lukemat menevät mittaussarakkeeseen.



He säilyttävät saadun lukeman, vaikka se eroaisi ennusteesta.



Nuori merkitsee myös päivämäärän ja kokoonpanon.

Poikkeaman ymmärtäminen





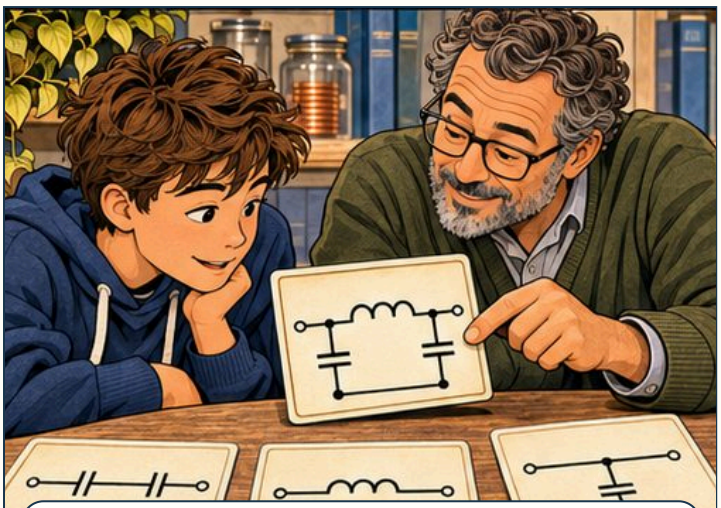




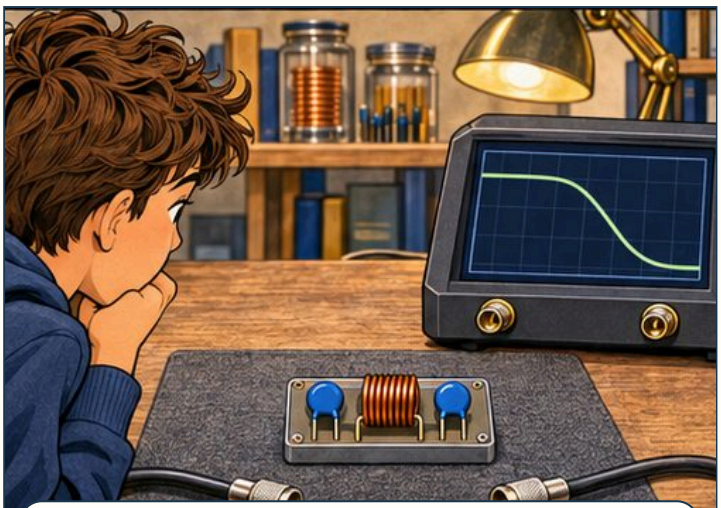




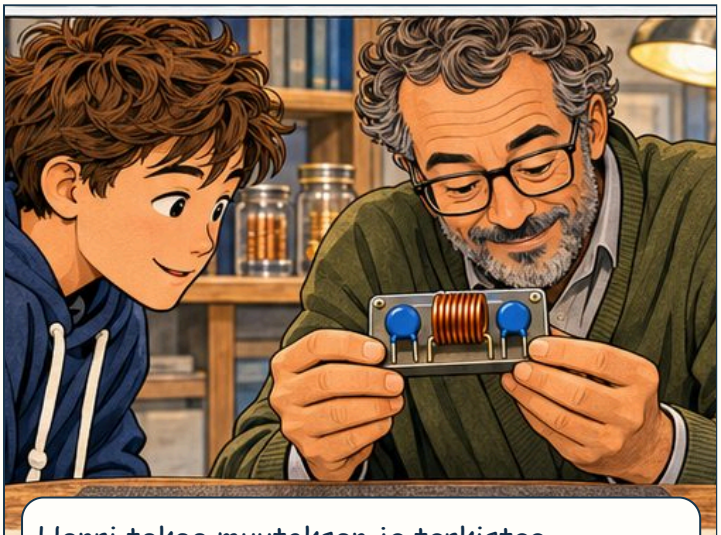
Yksi muutos kerrallaan



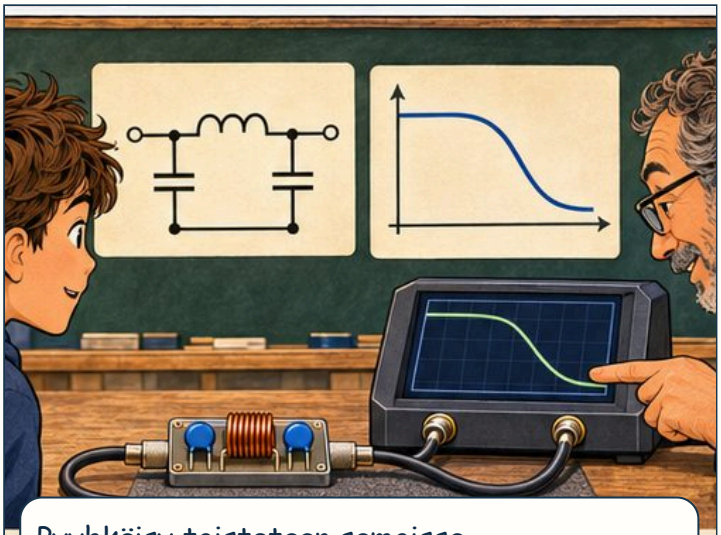
He valitsevat yhden oletuksen ja valmistelevat perustellun muutoksen.



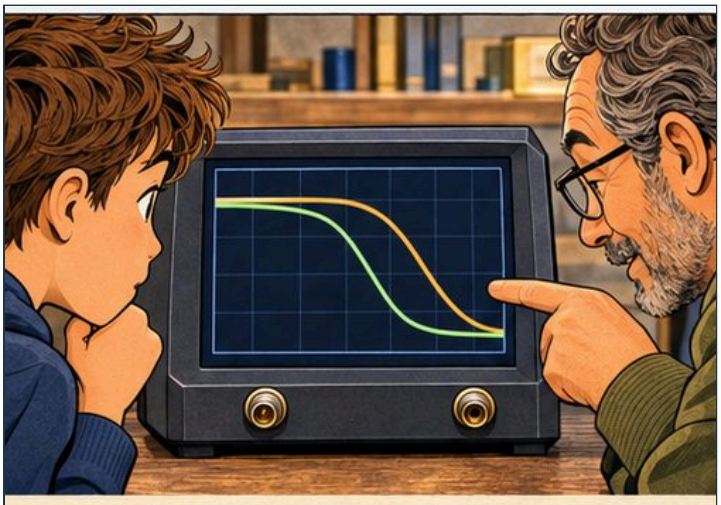
Lähde sammutetaan ja moduuli irrotetaan ennen työtä.



Henri tekee muutoksen ja tarkistaa kytkennän.



Pyyhkäisy toistetaan samoissa dokumentoiduissa olosuhteissa.

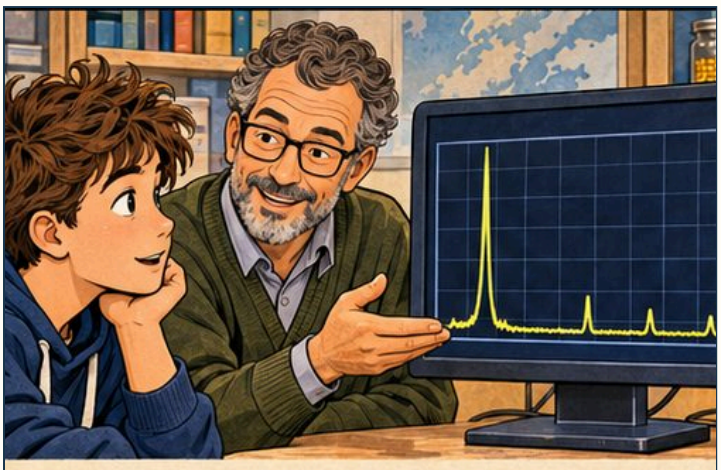


He vertaavat vanhaa ja uutta käyrää.

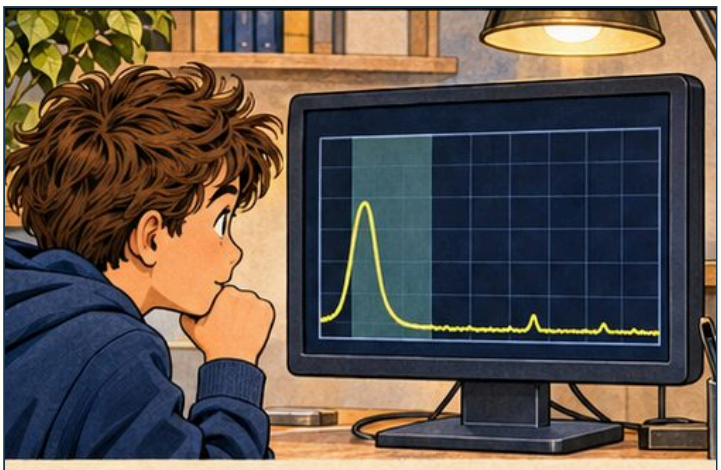


Menetelmä estää useiden mahdollisten syiden sekoittamisen.

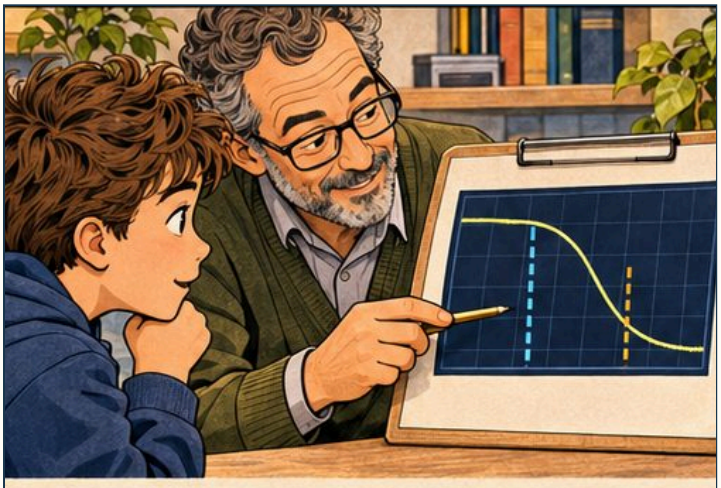
Vaimennuksella on rajansa



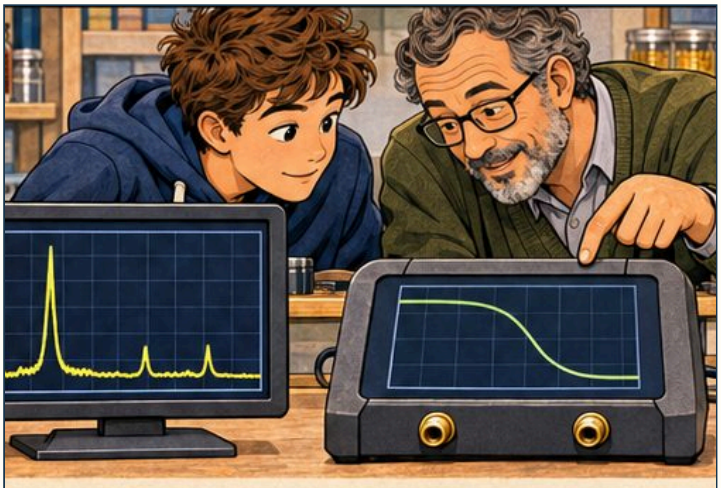
Alipäästösuodatin ei poista kaikkia ei-toivottuja komponentteja.



Sen päästökaistalla oleva komponentti vaimenee vain vähän.



Esto riippuu taajuudesta ja toteutuksesta.



Täydellinen spektritarkastus vaatisi lisää soveltuvia mittauksia.



Suodattimen olemassaolo ei osoita aseman vaatimustenmukaisuutta.



Nuori erottaa hyödyllisen toiminnon yleisestä takuusta.

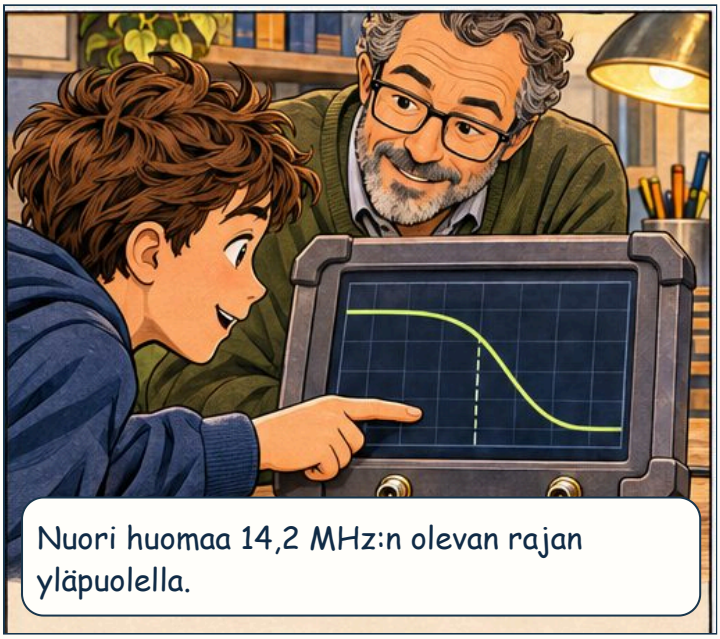
Hyötytaajuuden on päästävä läpi



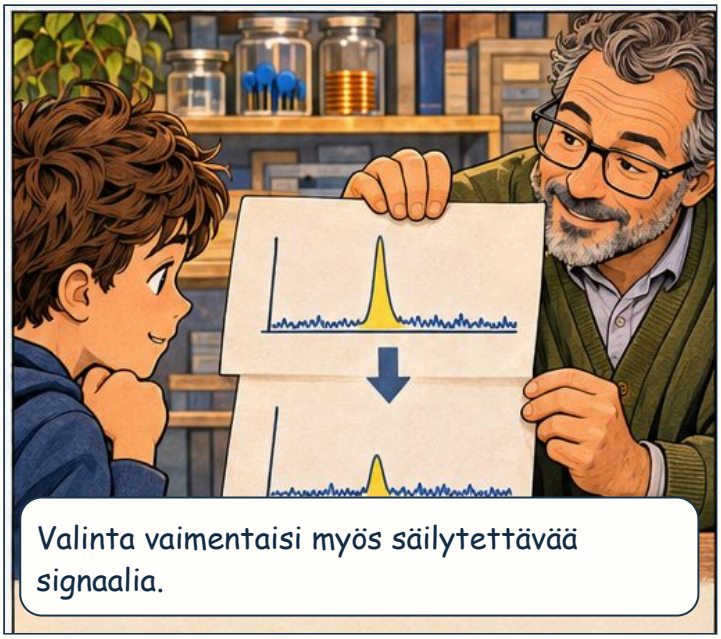
Mentori esittää lopuksi ansan aseman piirroksessa.



Piirros yhdistää 14,2 MHz:n heidän 10 MHz:n rajaansa.



Nuori huomaa 14,2 MHz:n olevan rajan yläpuolella.



Valinta vaimentaisi myös säilytettävää signaalia.



Vaatimusmäärittely on käytävä uudelleen läpi ennen käyttöä.



Laskentaesimerkki ei ole yleispätevä suodatin.

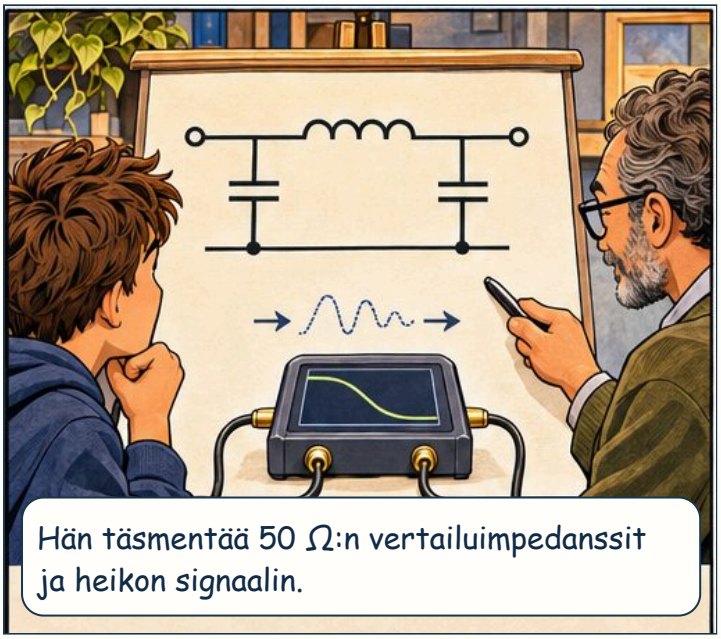
Selitys jaettavaksi



Lucas kokoaa tarpeen, kytkennän, laskut ja komponenttivalinnat.



Hän erottaa ennusteet todella havaituista tuloksista.



Hän täsmentää 50 Ω:n vertailuimpedanssit ja heikon signaalin.



Hän säilyttää käyrät, kalibroinnin ja kokeen rajoitukset.



Henri esittää vierailijaa ja kysyy viimeisen kysymyksen.



Nyt nuori osaa selittää jokaisen ehdon merkityksen.

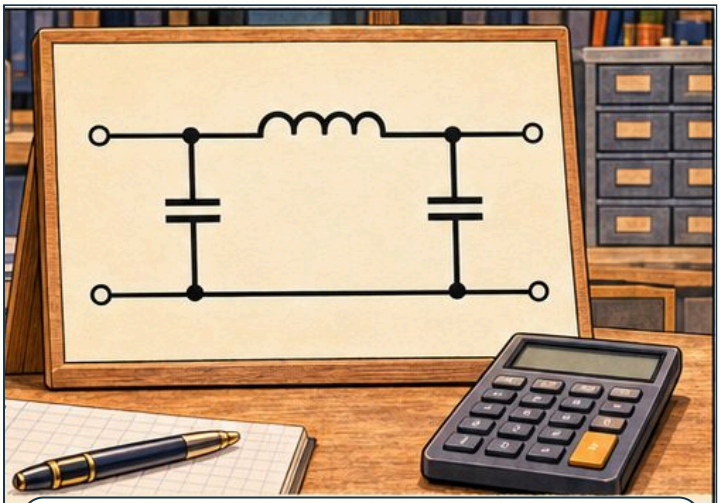
Ymmärrä, laske, mittaa



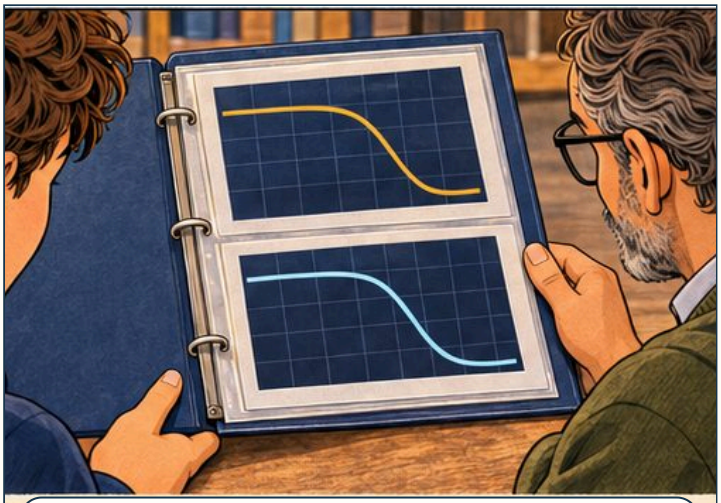
Kolme komponenttia palaavat opetuslaatikkoon.



Nuori osaa nyt yhdistää tarpeen suodattimen vasteeseen.



Hän osaa laskea tämän Butterworth-π-suodattimen ja tarkistaa yksiköt.



Hän osaa myös mitata, verrata ja tutkia poikkeamia.



Muistikirja säilyttää menetelmän oletuksineen ja rajoituksineen.



Kerhon seuraava löytö alkaa jo uudesta kysymyksestä.