ON4CRD

Köide 05

# Filtrite arvutamine



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

# Õiguslikud teated

**Köide 05 · Filtrite arvutamine**

Veebisaidi väljaandja : Radio Club Durnal ON4CRD

Väljaande juht : Radio Club Durnal ON4CRD juhatus

https://on4crd.be

Õiguslikud teated

## Intellektuaalomand

Saidil avaldatud tekstid, pildid, dokumendid, logod ja materjalid jäävad nende vastavate autorite või klubi omandisse. Igasugune reprodutseerimine või taaskasutamine peab austama allikat, kehtivaid õigusi ja autori luba.

## Vastutus

Klubi töötab selle nimel, et avaldada kasulikku ja kontrollitud teavet, kuid ei garanteeri vigade, väljajätmiste või katkestuste puudumist. Tehnilist või regulatiivset teavet tuleb kontrollida ametlike allikatega, kui see toetab otsust.

Illustratsioonid on loodud tehisintellekti abiga.

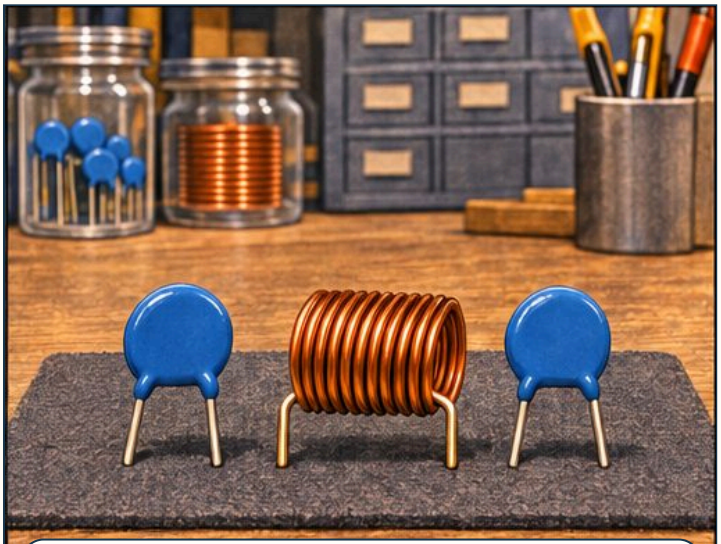
# Uus ülesanne



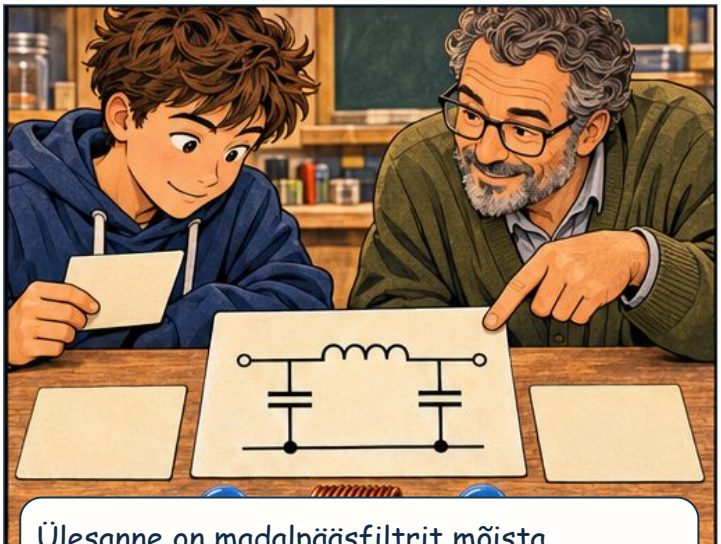
Pärast elektritöötuba avab Lucas klubis taas oma märkmiku.



Henri valmistab ette signaalikvaliteedi esitlust.



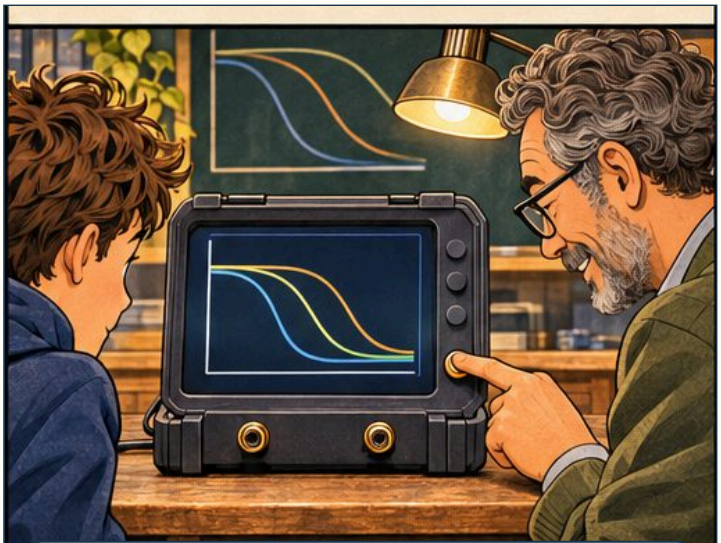
Laual ootavad kaks kondensaatorit ja pool.



Ülesanne on madalpääsfiltrit mõista, arvutada ja mõõta.



Noor tahab teada, mida kolm komponenti muuta suudavad.



Kõigepealt uurivad nad, mida signaal sisaldab.

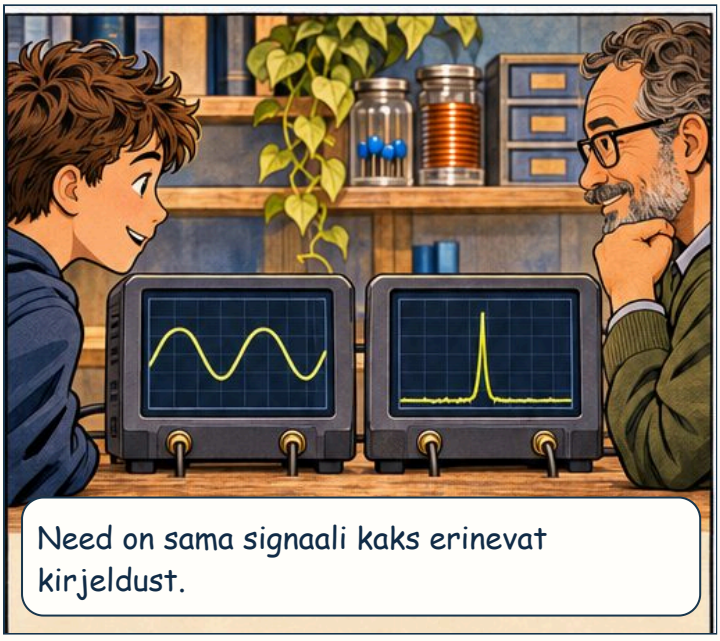
# Signaal ja selle portree



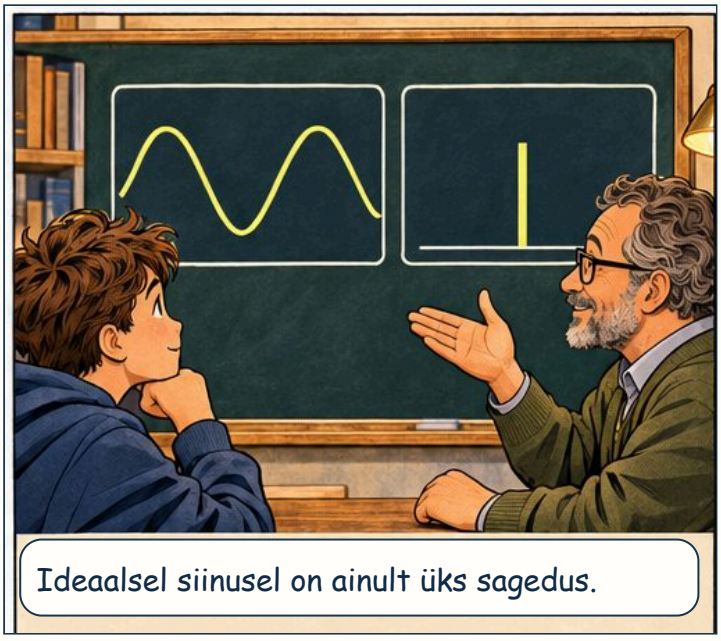
Ajakõver näitab signaali muutumist ajas.



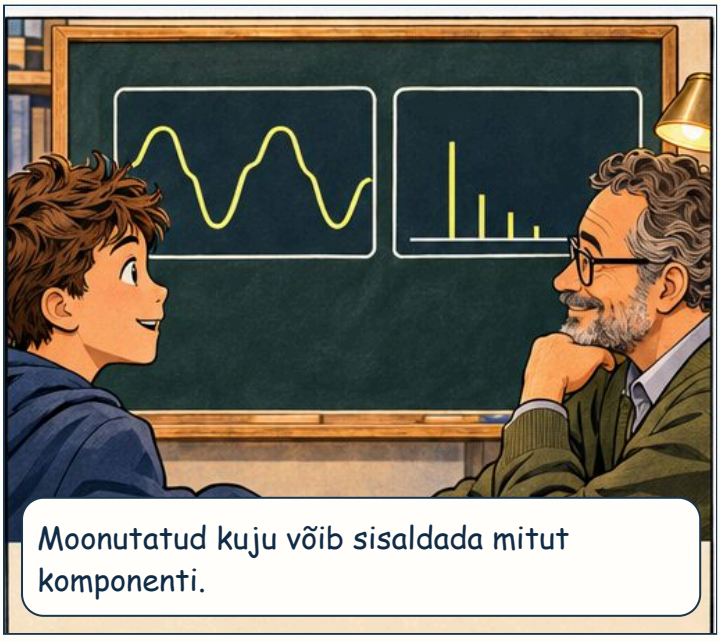
Spekter esitab selle komponendid sageduse järgi.



Need on sama signaali kaks erinevat kirjeldust.



Ideaalsel siinusel on ainult üks sagedus.

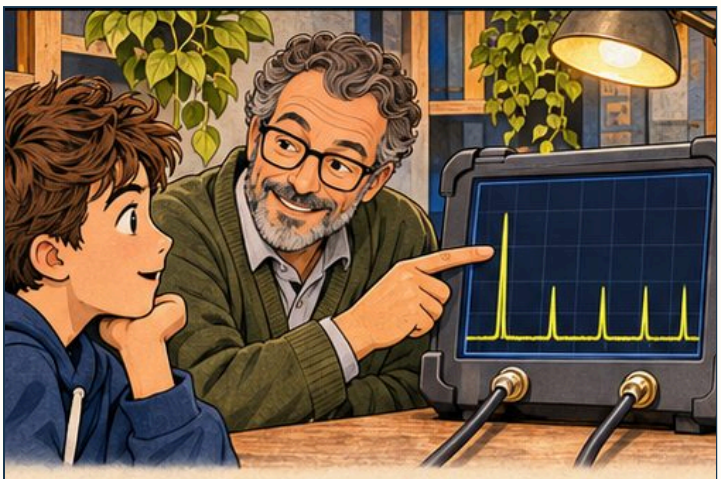


Moonutatud kuju võib sisaldada mitut komponenti.



Noor avastab pildi, mida ta varem lugeda ei osanud.

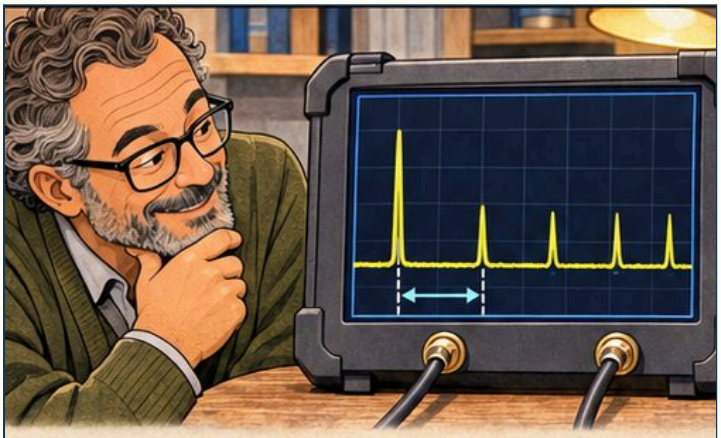
# Harmoonilised tulevad nähtavale



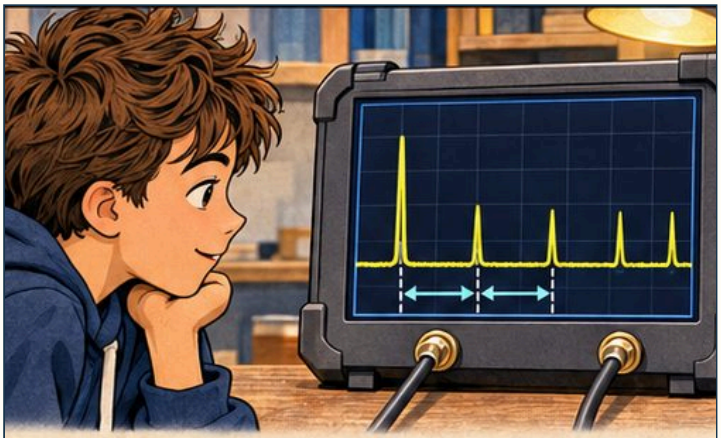
Põhisagedus annab perioodilisele signaalile esimese lähtekoha.



Harmooniliste sagedused on selle sageduse täisarvkordsed.



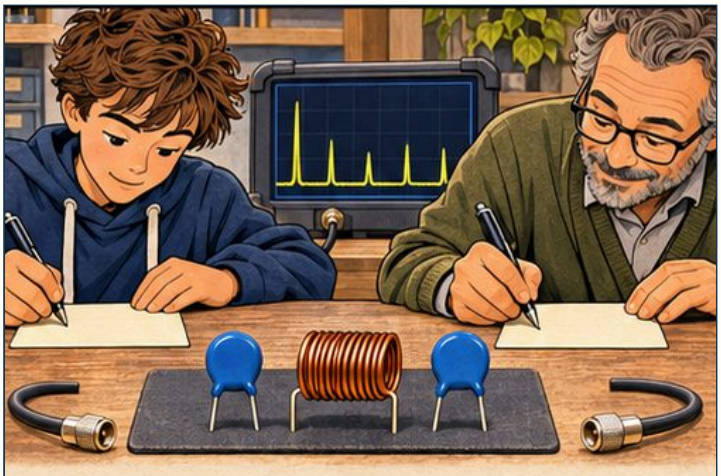
Teine harmooniline asub kahekordsel põhisagedusel.



Kolmas asub kolmekordsel põhisagedusel.

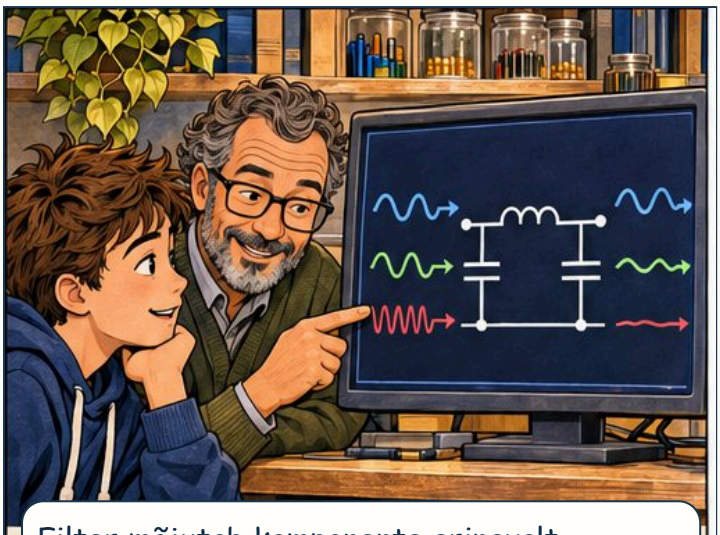


Kõik soovimatud komponendid pole siiski harmoonilised.

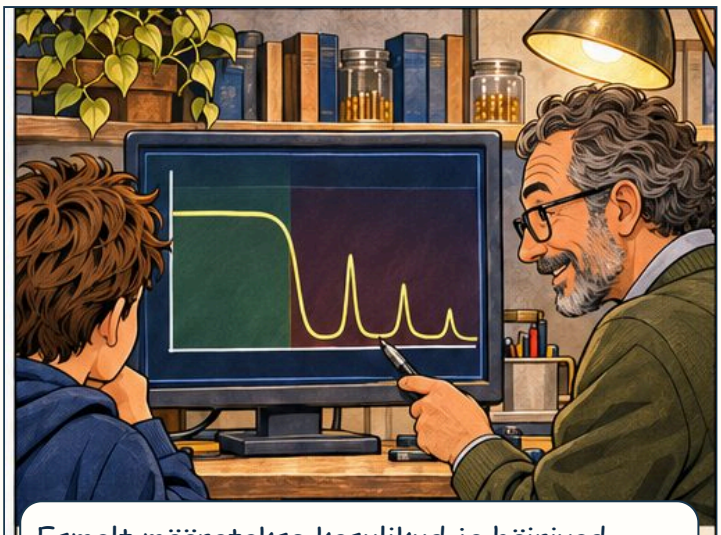


Filter peab vastama täpselt määratud vajadusele.

# Valime, mida säilitada



Filter mõjutab komponente erinevalt vastavalt nende sagedusele.



Esmalt määratakse kasulikud ja häirivad sagedused.



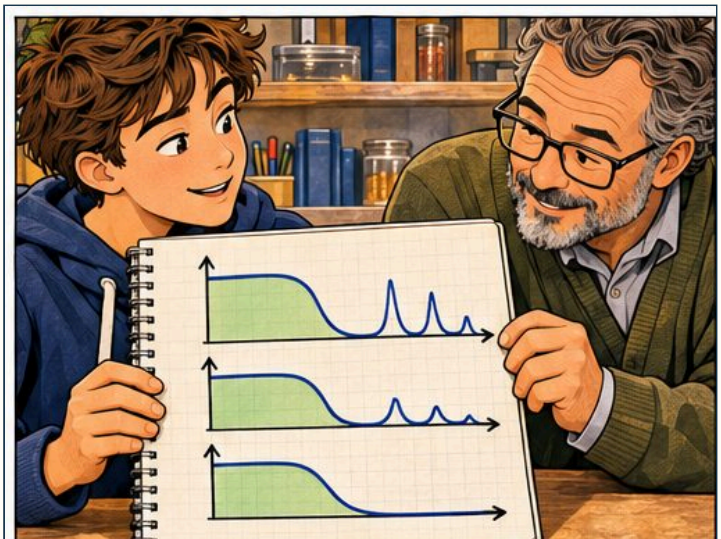
Määratakse ka soovitud sumbuvused.



Nende eesmärkideta pole komponentide arvutamisel suurt mõtet.

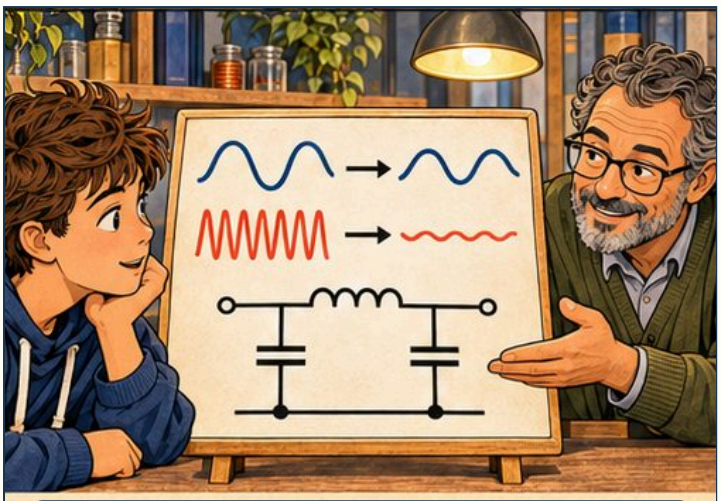


Noor piiritleb näidisspektris kasuliku ala.



Tema märkmikust saab lähteülesanne.

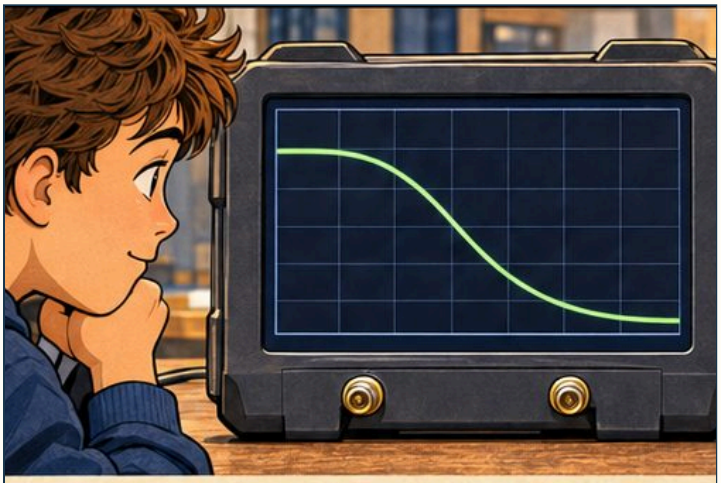
# Madalpääsfiltri valik



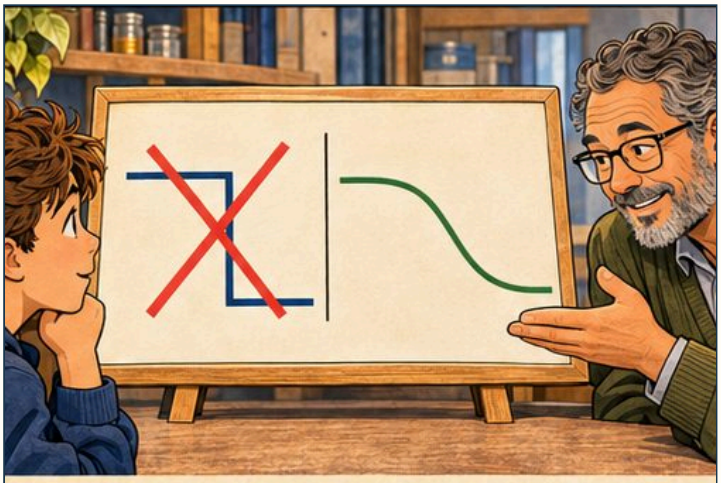
Madalpääsfilter edastab madalaid sagedusi paremini kui kõrgeid.



Selle pääsuriba asub madalate sageduste pool.



Kõrgemal suureneb sumbuvus järk-järgult.



Tegelik üleminek pole kunagi täiuslik püstsein.



See tüüp sobib nende tänaseks esitluseks.



Noor joonistab tõkke asemel nõlva.

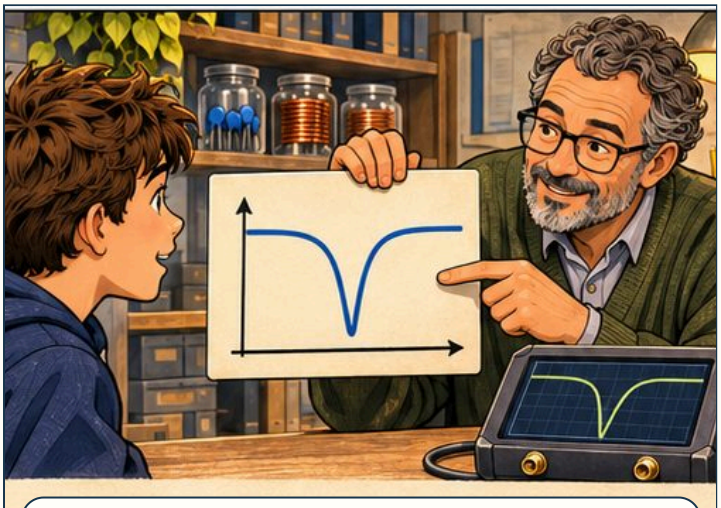
# Muud võimalikud teed



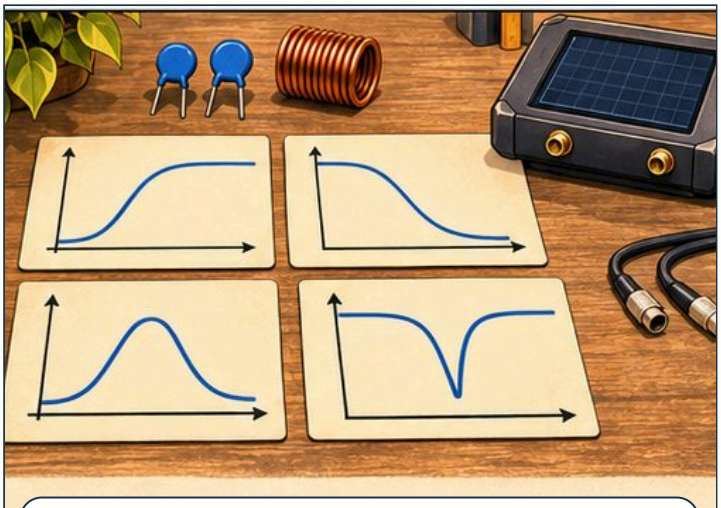
Kõrgpääsfilter summutab madalaid sagedusi ja säilitab kõrged.



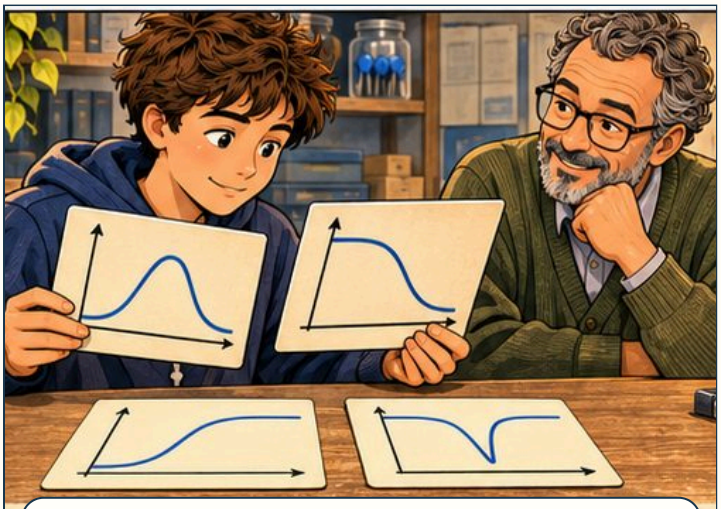
Ribapääsfilter eelistab kahe piiri vahele jäävat ala.



Ribatõkkefilter seevastu summutab valitud sagedusriba.



Need perekonnad lahendavad erinevaid ülesandeid.



Nimi kirjeldab sageduskarakteristikut, mitte üldist paremust.

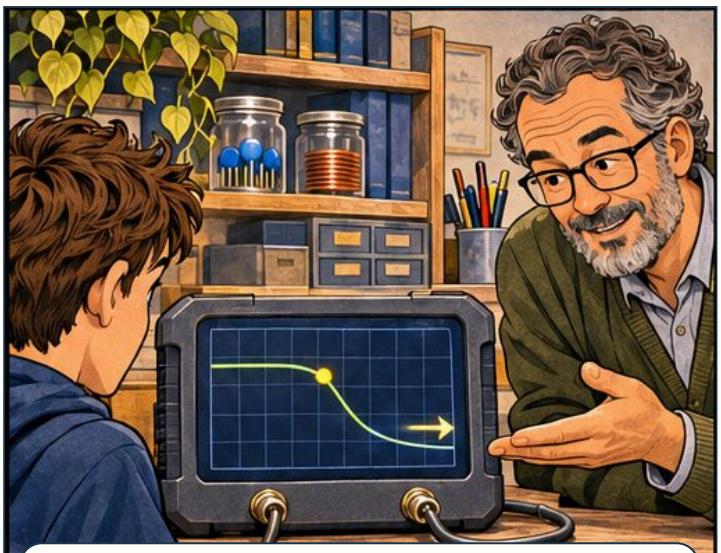


Noor paneb kolm kaarti järgmise töötoa jaoks kõrvale.

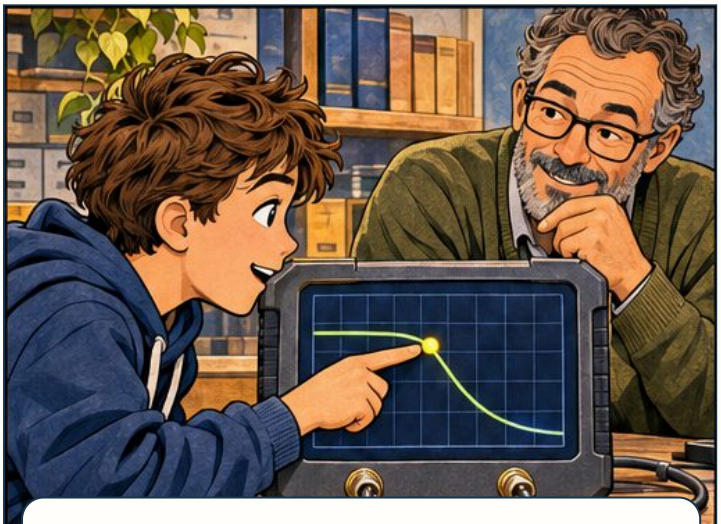
# Piir, mis ikka läbi laseb



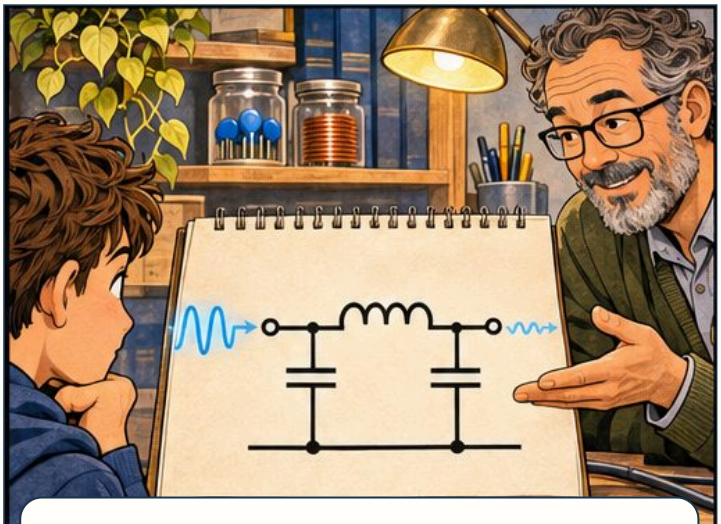
Lõikesagedus tähistab siin võrdlustaset.



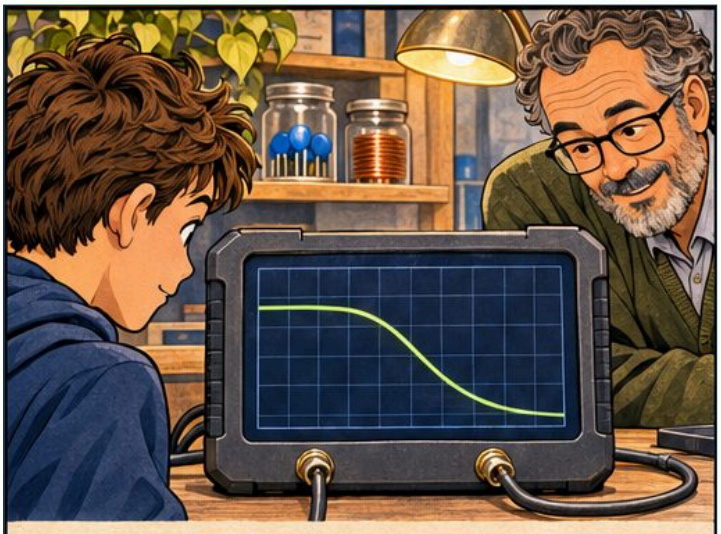
See ei tähenda signaali järsku kadumist.



Nende ideaalsel Butterworthi filtril vastab see ligikaudu −3 dB-le.



Filter edastab sellel sagedusel seega endiselt energiat.



Sellest kõrgemal sumbuvus kasvab edasi.

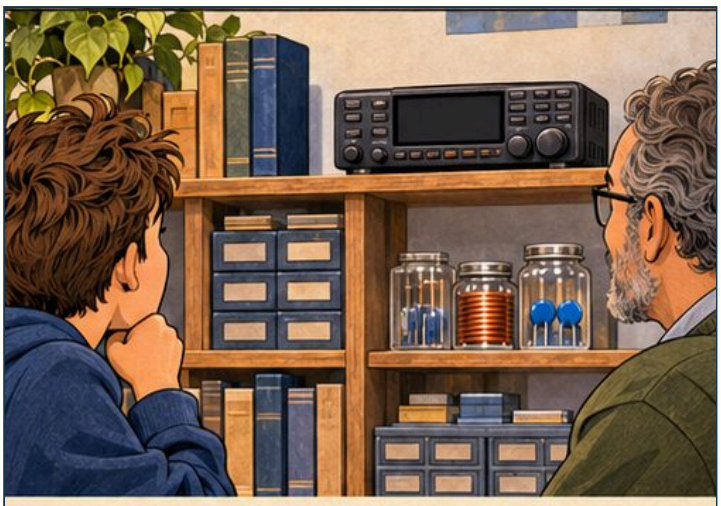


See täpsustus väldib esimest väärarusaama.

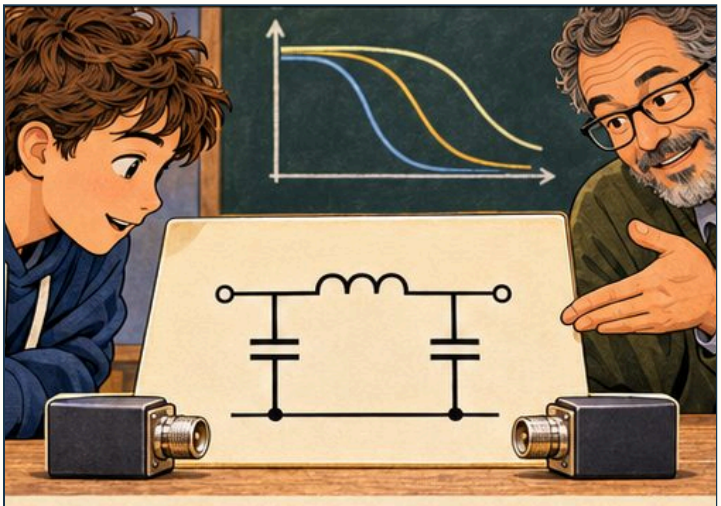
# Laborinäide



Nad valivad teoreetiliseks lõikesageduseks 10 MHz.



See õppeväärtus ei määra saatesagedust.



Allika ja koormuse võrdlustakistus on 50 Ω.



Skeemi uuritakse töölaual nõrga signaaliga.



Antenni ega saatjat ei ühendata.

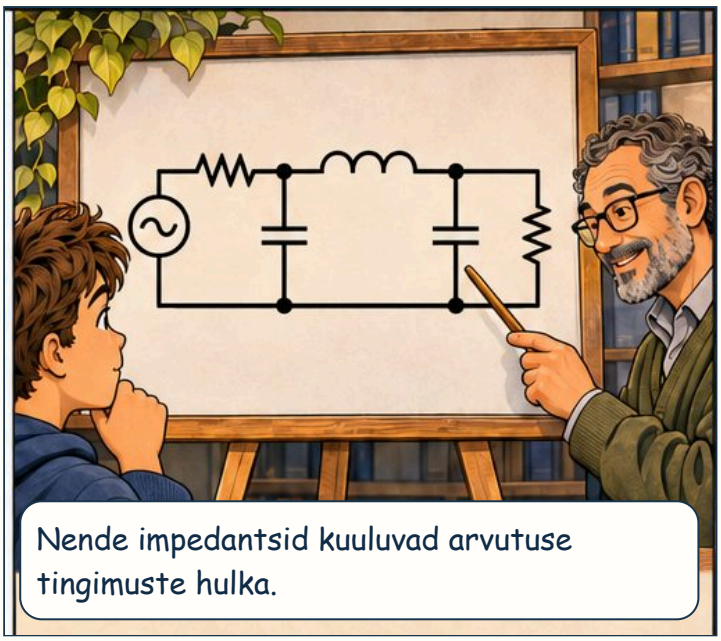


Eesmärk on mõõdetav karakteristik, mitte raadioside.

# Miks märkida 50 oomi?



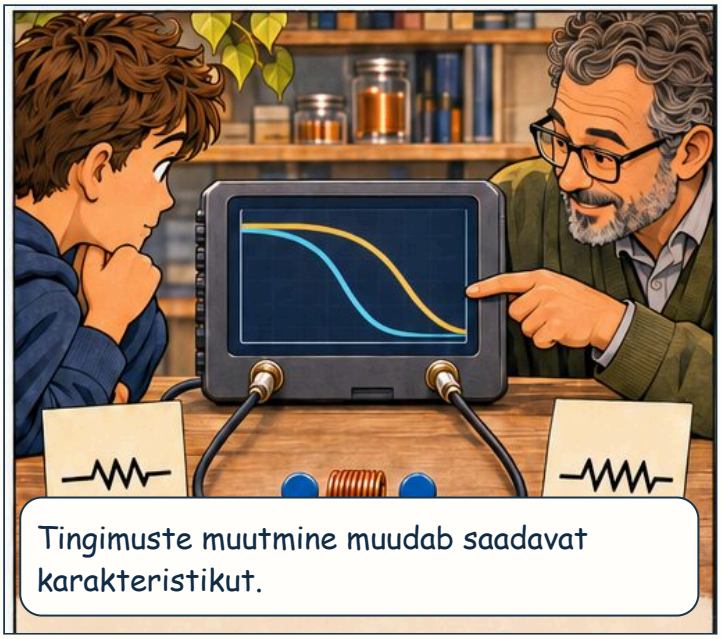
Filter töötab allika ja koormuse vahel.



Nende impedantsid kuuluvad arvutuse tingimuste hulka.



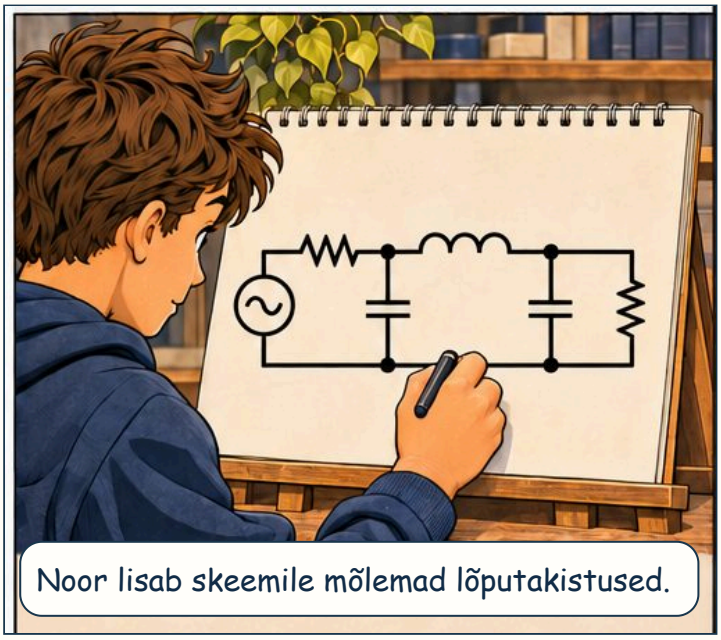
Siin on kumbki ideaalselt aktiivtakistuslik ja võrdne 50 Ω-ga.



Tingimuste muutmine muudab saadavat karakteristikut.

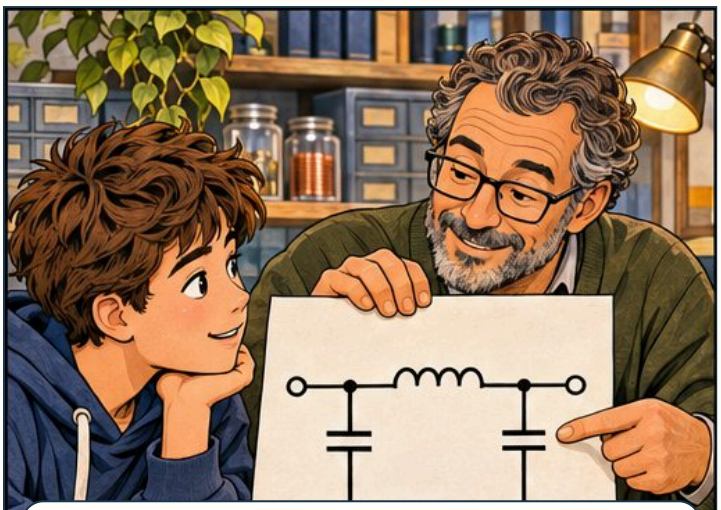


Seega ei piisa kolme väärtuse kopeerimisest.



Noor lisab skeemile mõlemad lõputakistused.

# Mudel ja tegelik skeem



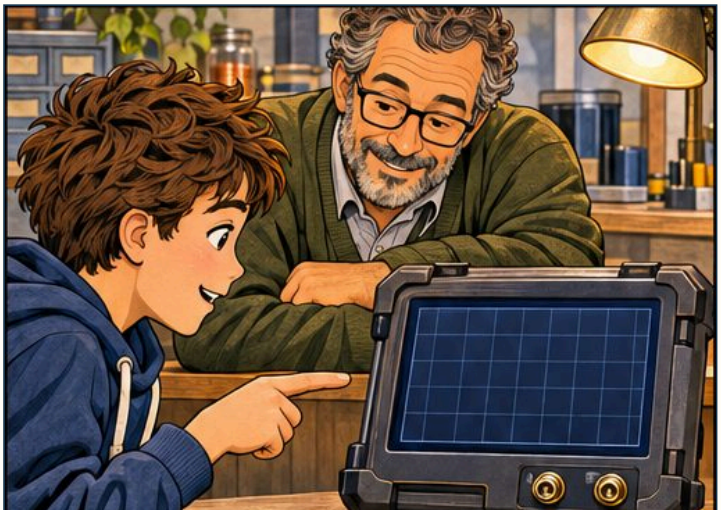
Arvutus algab ideaalsete kadudeta komponentidega.



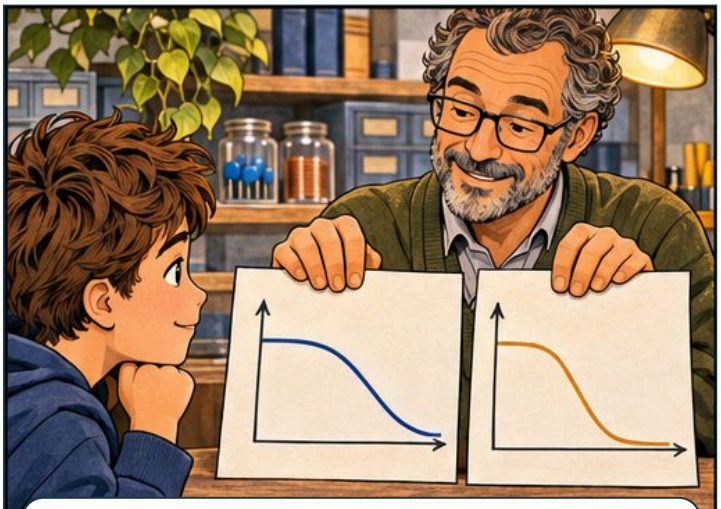
Tegelikul skeemil on takistused ja parasiitnähtused.



Mudel võimaldab ennustada esialgset sageduskarakteristikut.



Mõõtmised aitavad seejärel erinevusi uurida.

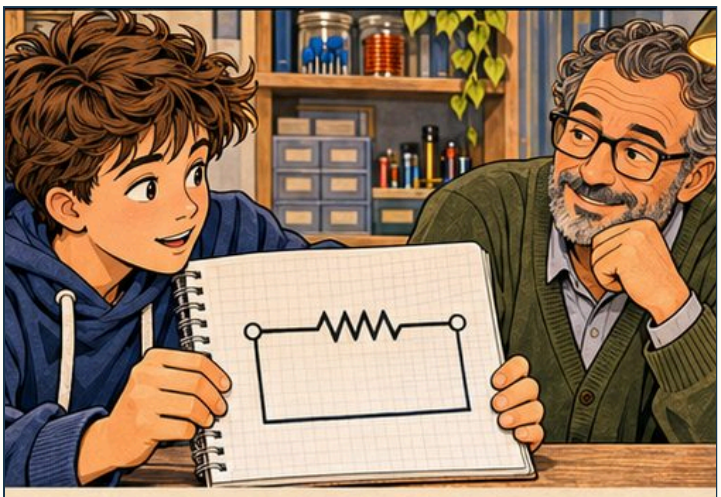


Ennustuse ja tulemuse segiajamine takistab kõrvalekallete mõistmist.

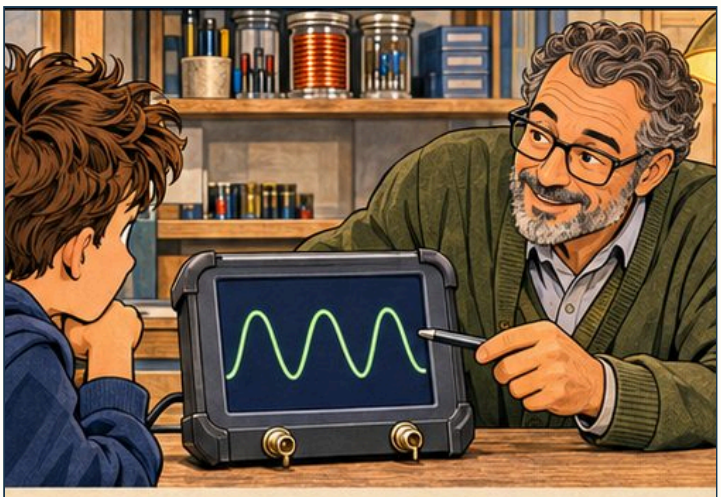


Märkmikus on kummagi jaoks eraldi koht.

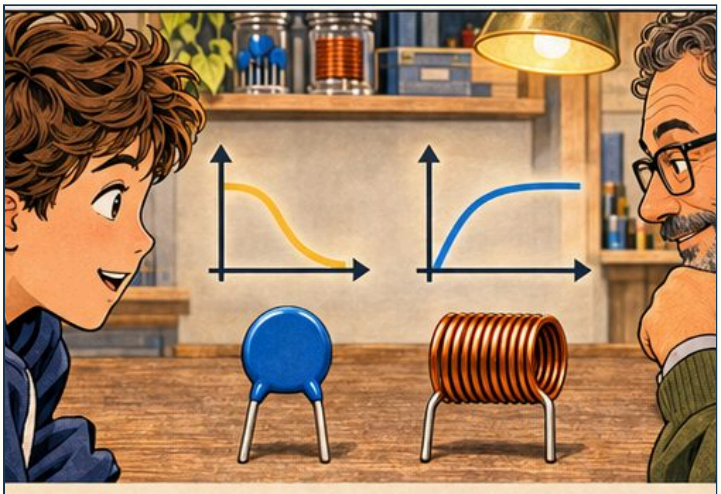
# Takistist enam ei piisa



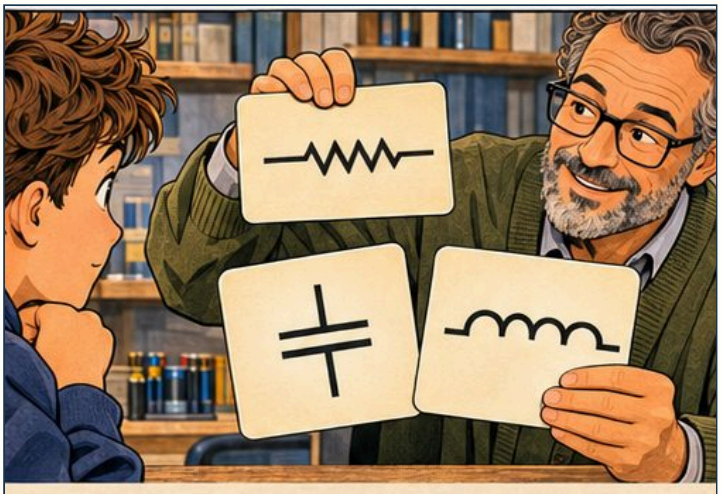
Eelmises köites seoti alalisvoolu korral pinget, voolu ja takistust.



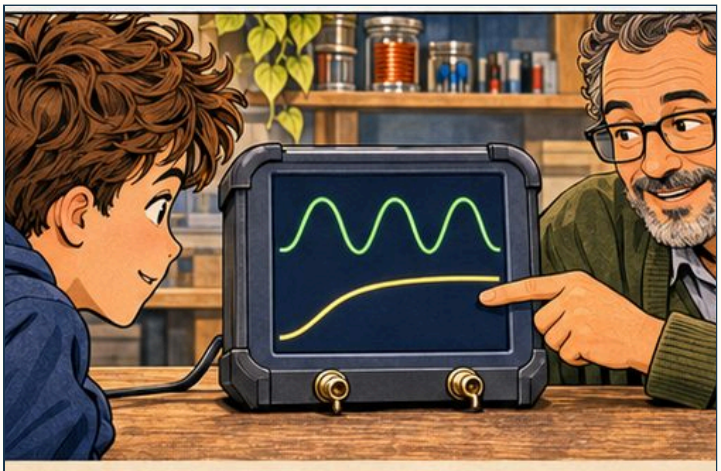
Siin muutub signaal kiiresti ja sagedus on oluline.



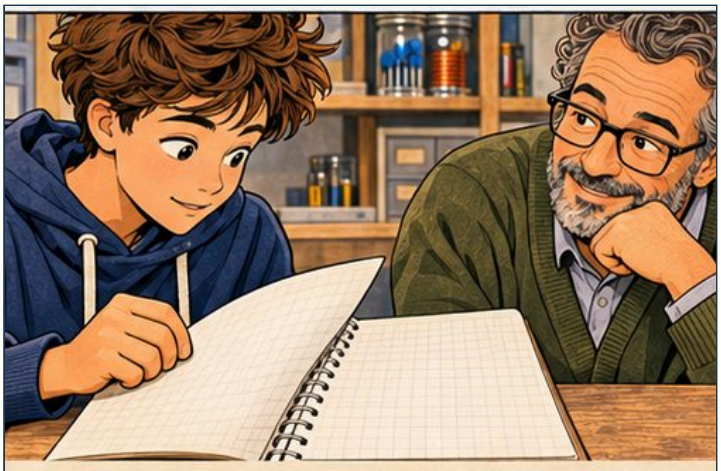
Kondensaatorid ja poolid annavad sagedusest sõltuva reaktiivtakistuse.



See pole sama mis tavaline aktiivtakistus.



Impedants kirjeldab elektrilist käitumist vahelduvvoolu korral laiemalt.

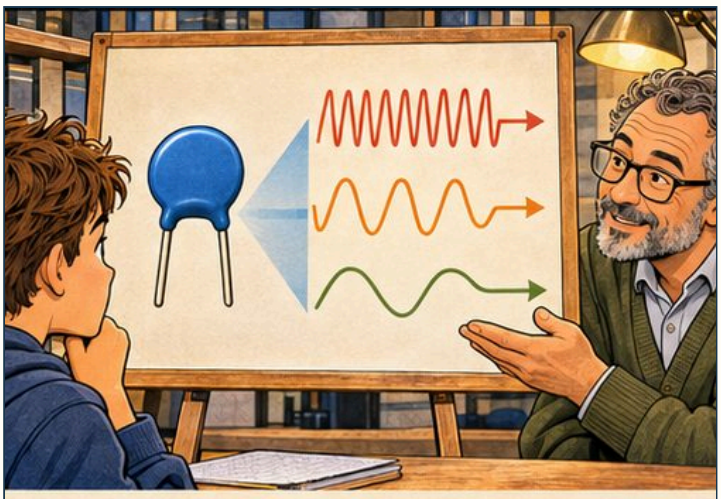


Noor mõistab, miks on vaja uut mudelit.

# Kondensaatori ülesanne



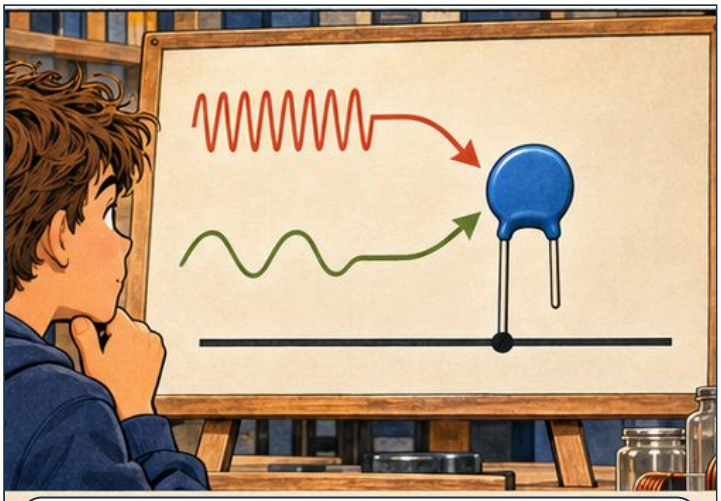
Mahtuvust tähistatakse C-ga ja mõõdetakse faradites F.



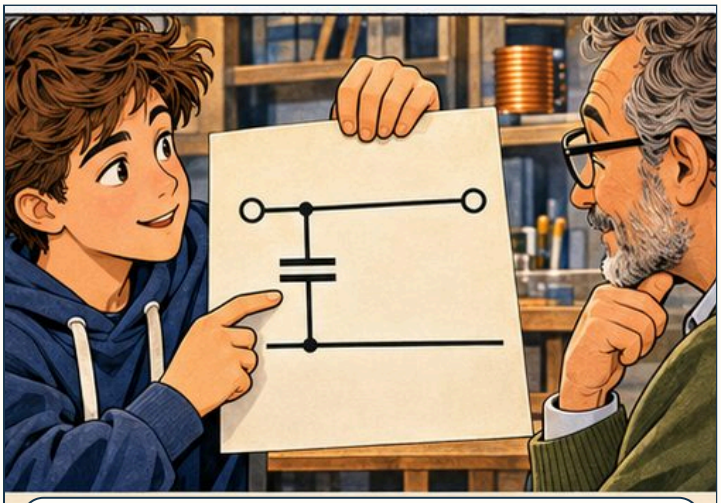
Ideaalse kondensaatori reaktiivtakistus väheneb sageduse kasvades.



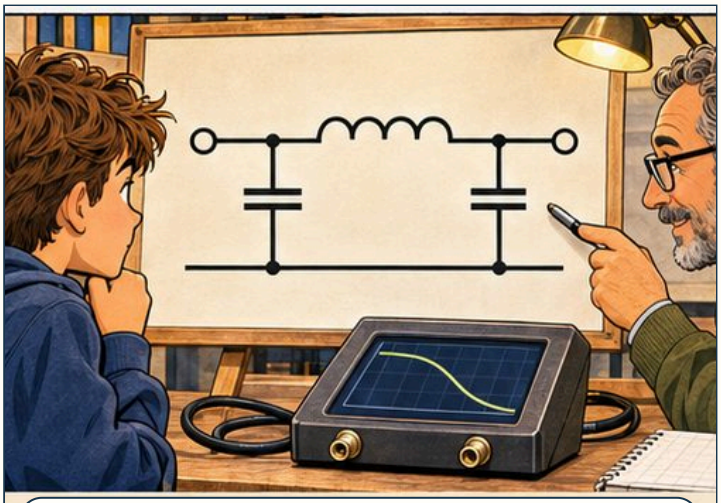
Selle suurus on Xc = 1/(2πfC).



Sama mahtuvuse juures kohtavad kõrgemad sagedused väiksemat reaktiivtakistust.



Nende filtris ühendatakse kondensaatorid ühise massiga.

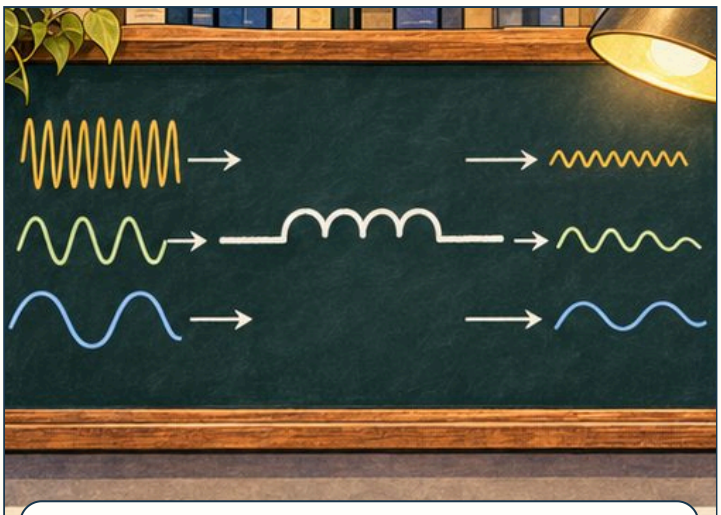


Nende ülesanne sõltub ka ülejäänud skeemist.

# Pooli ülesanne



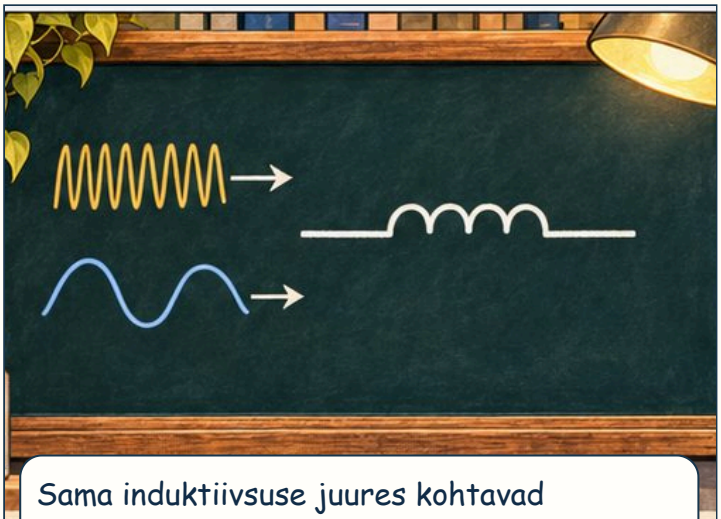
Induktiivsust tähistatakse L-iga ja mõõdetakse henrides H.



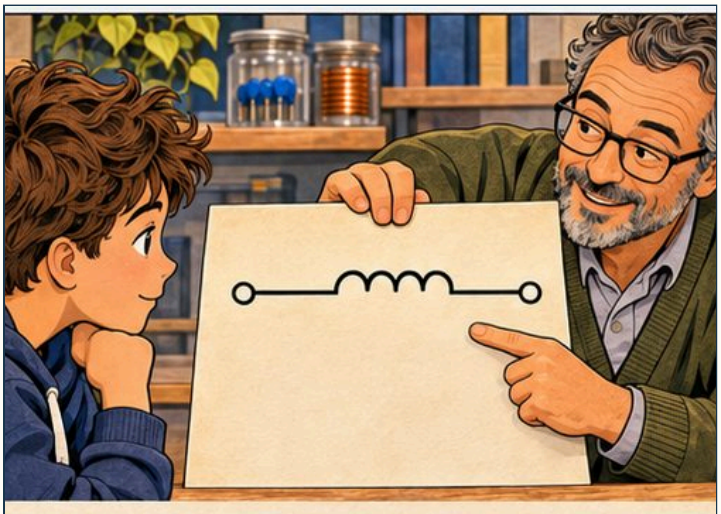
Ideaalse pooli reaktiivtakistus suureneb koos sagedusega.



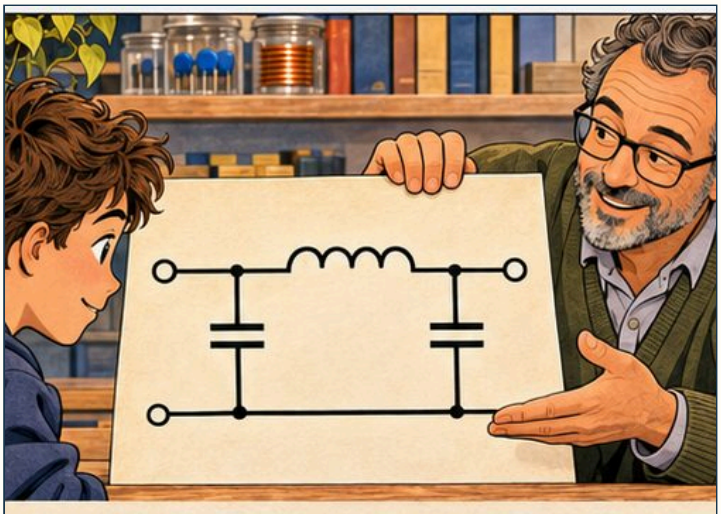
Selle suurus on XL = 2πfL.



Sama induktiivsuse juures kohtavad kõrgemad sagedused suuremat reaktiivtakistust.

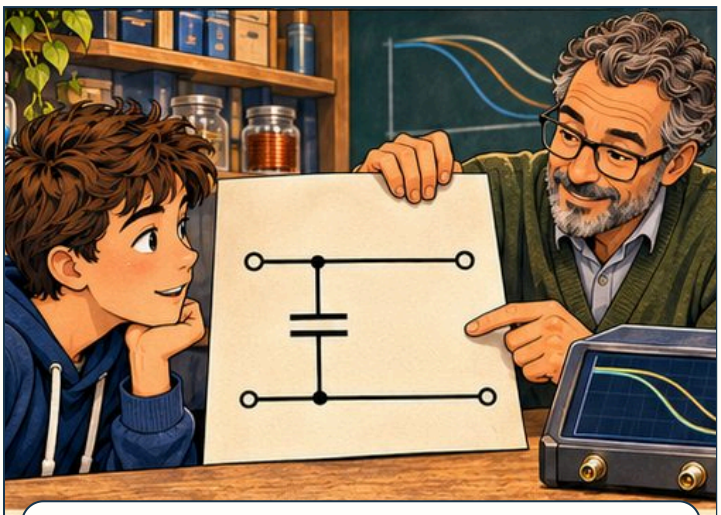


Nende filtris asub pool signaali teel.

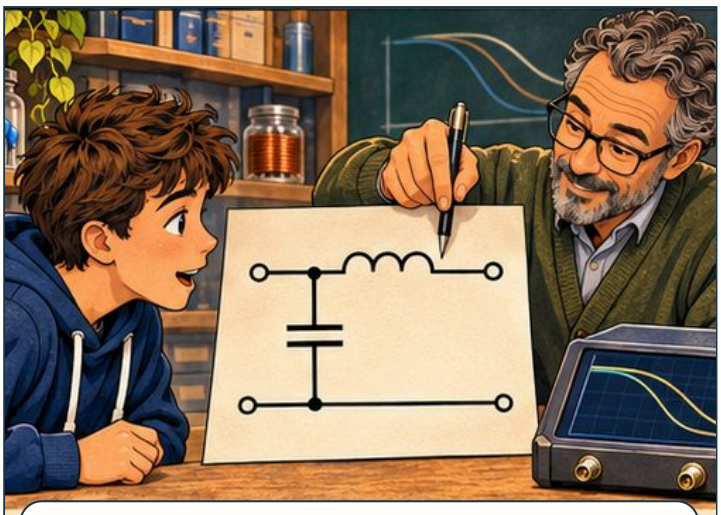


Mõlemat tüüpi komponendid toimivad koos.

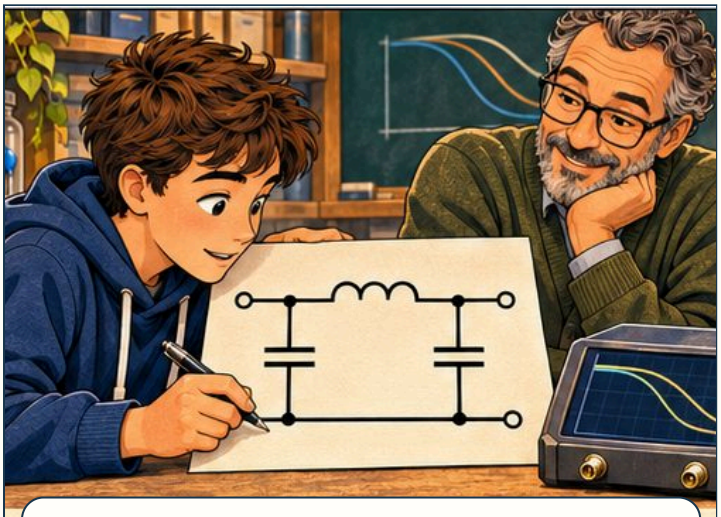
# Skeem võtab π kuju



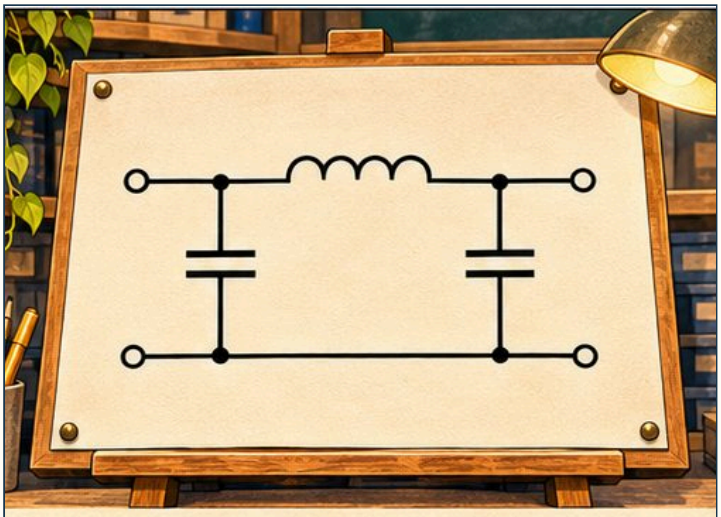
Sisend ühendatakse esimese kondensaatori kaudu massiga.



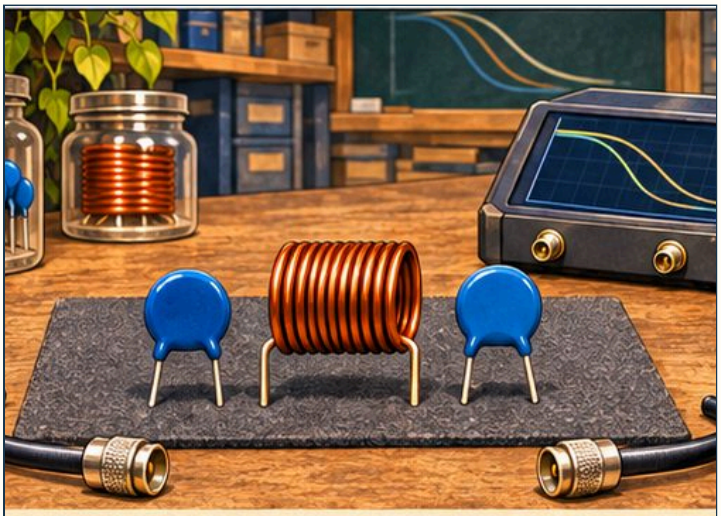
Pool ühendab seejärel sisendi ja väljundi jadamisi.



Teine kondensaator ühendab väljundi sama massiga.



Pooli mõlemalt küljelt laskub üks haru.



Paigutus meenutab kreeka tähte π.

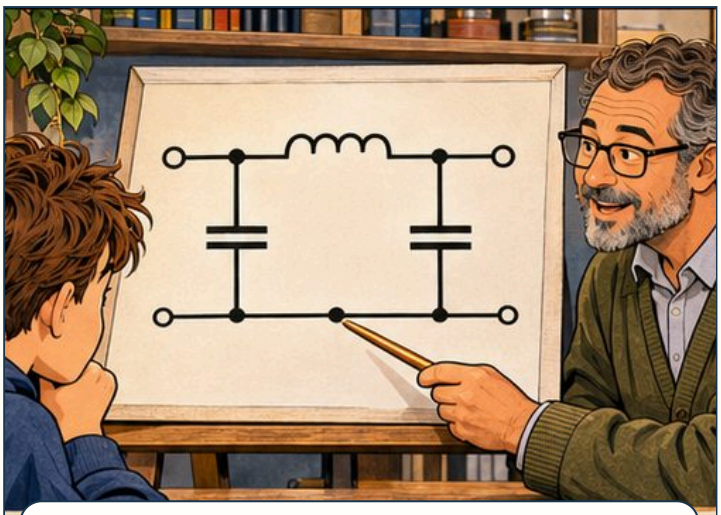


Noor jälgib pliiatsiga iga ühendust.

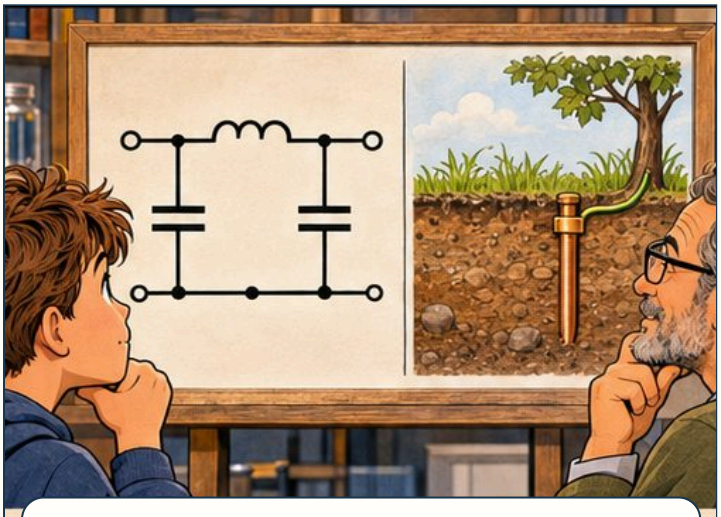
# Mass skeemil



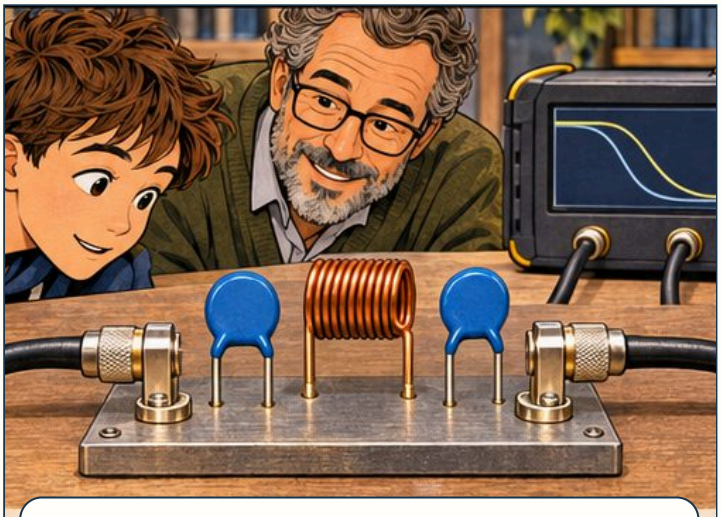
Mõlemal kondensaatoril on ühine elektriline võrdluspunkt.



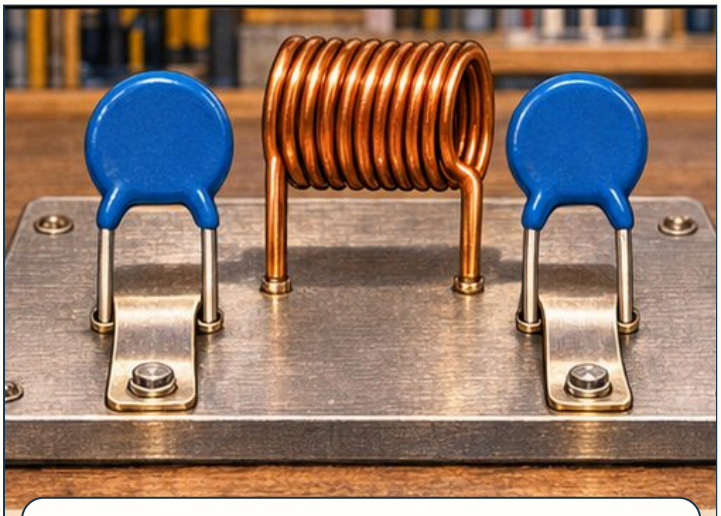
Massi sümbol tähistab siin seda skeemi võrdluspunkti.



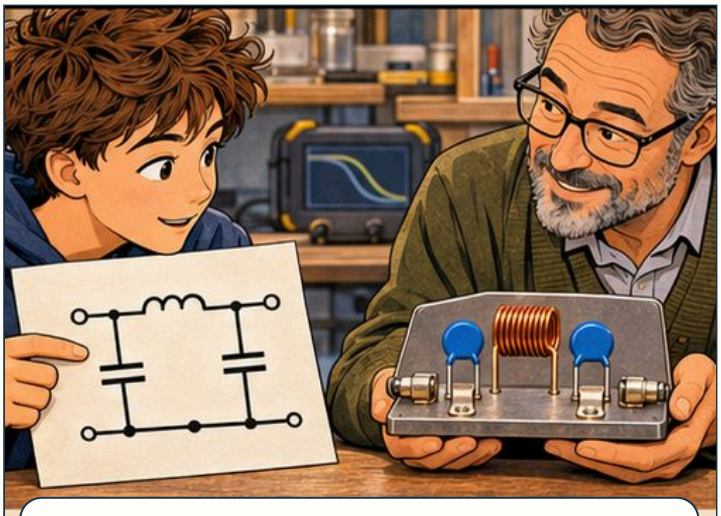
See ei tähenda automaatselt ühendust maaga.



Koaksiaalkaablite varjestused ühendatakse massiga vastavalt kavandile.



Lühike ühendus vähendab mõningaid parasiitnähtusi.

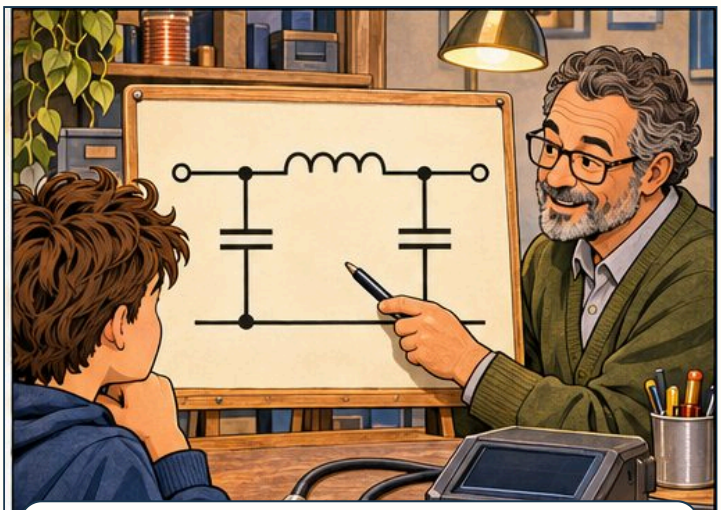


Noor eristab sümbolit ja selle tegelikku teostust.

# Kolm elementi, üks järk



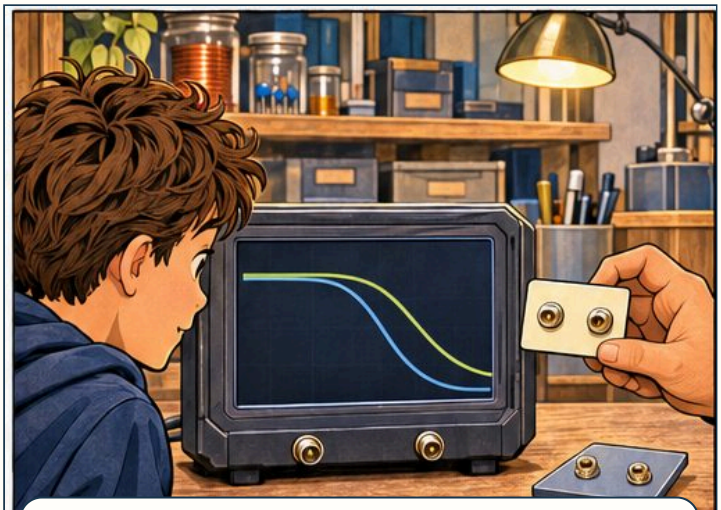
Selles ideaalses võrgus on kolm reaktiivelementi: C, L ja C.



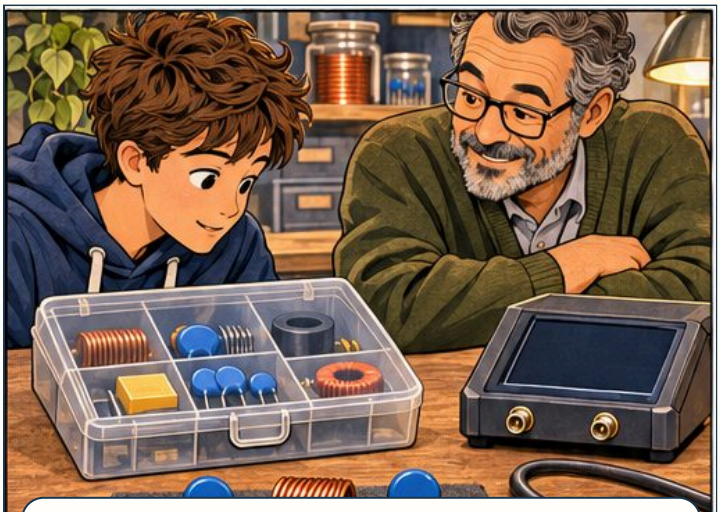
Siin moodustavad need kolmandat järku madalpääsfiltri.



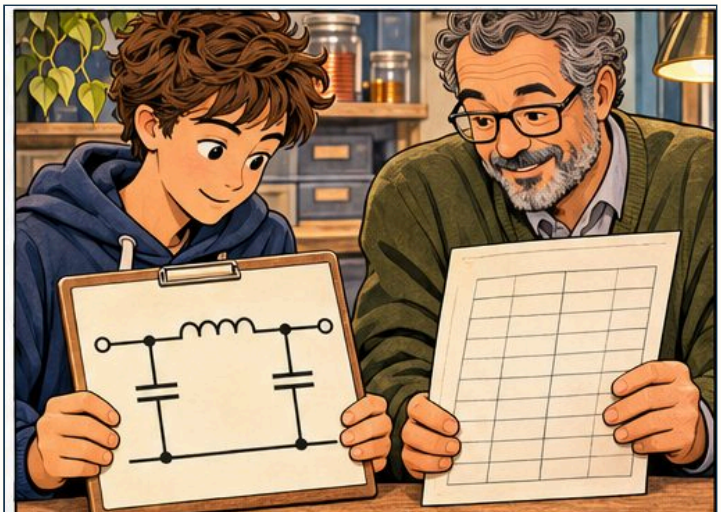
Järk iseloomustab muu hulgas mudeli kauget kallet.



Valesti valitud impedants muudaks siiski karakteristikut.



Juhuslik komponentide lisamine soovitud filtrit ei loo.

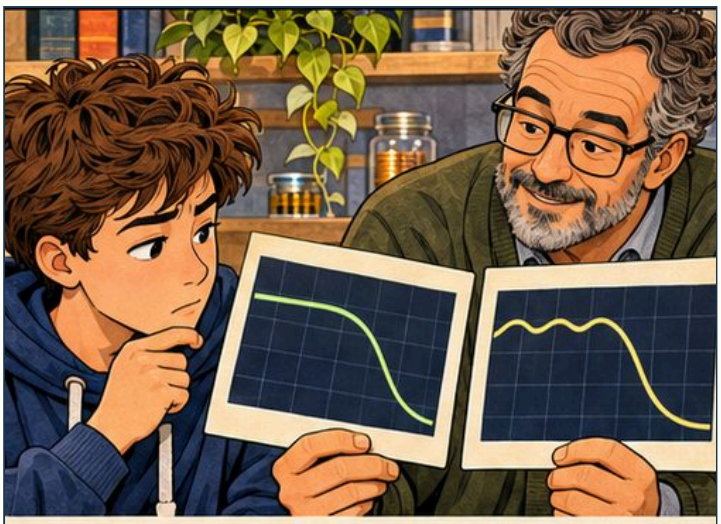


Skeemi kuju ja arvutus peavad kokku sobima.

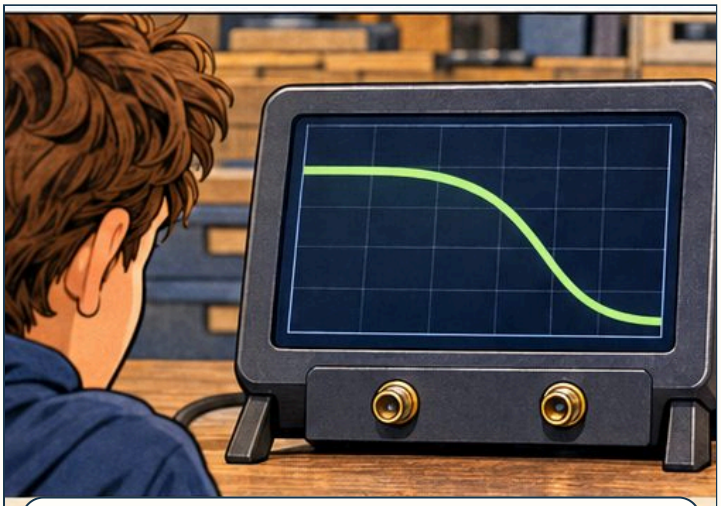
# Miks Butterworth?



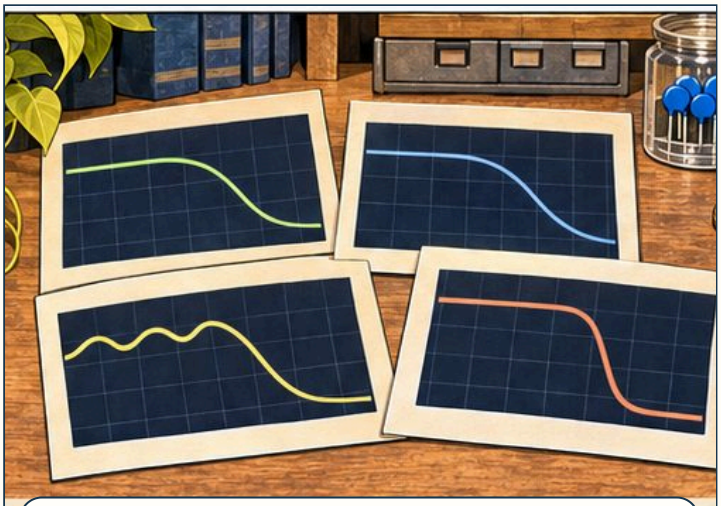
Butterworthi karakteristik on pääsuribas maksimaalselt lame.



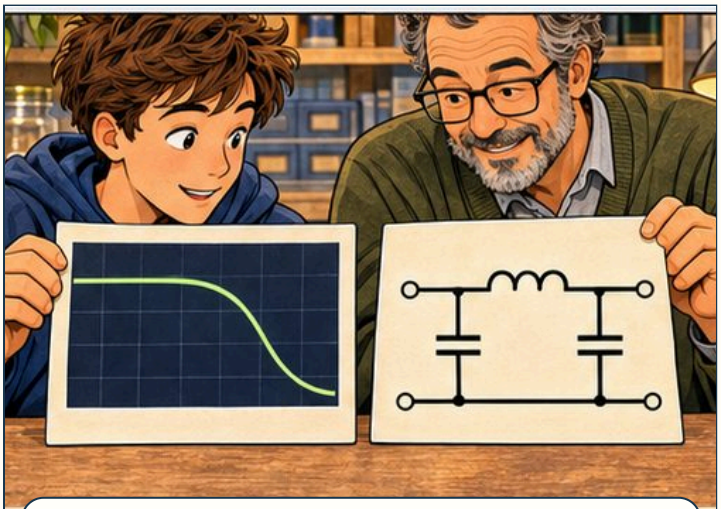
Ideaalsel mudelil selles ribas lainetust pole.



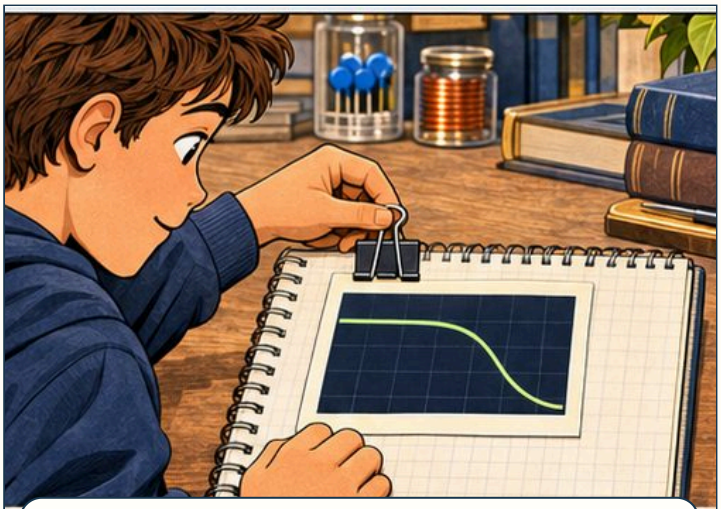
Üleminek on sujuv ja iseloomuliku kõverusega.



Muud karakteristikud kasutavad teistsuguseid kompromisse.



Nad valivad selle perekonna esimese selge lahenduse jaoks.



Nimi ütleb seega rohkem kui üksnes madalpääs.

# Lähtepunktiks prototüüp



Normeeritud prototüüp annab lahenduse koefitsiendid.



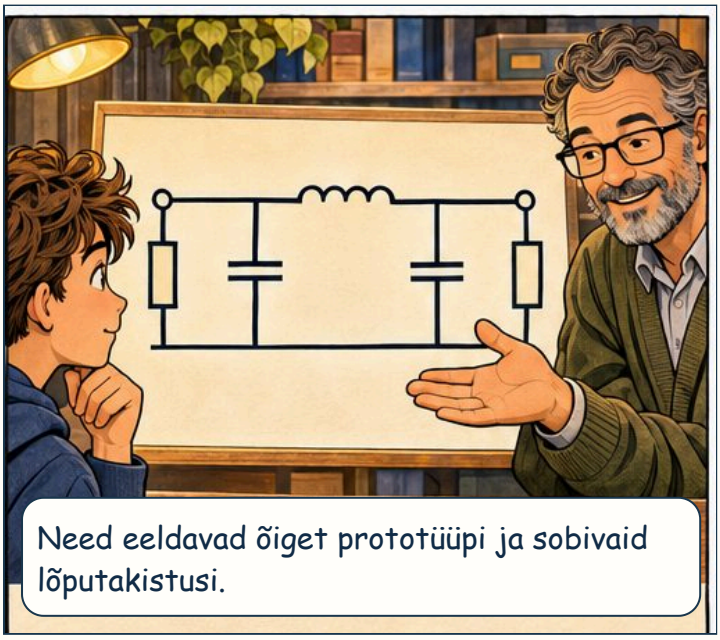
Selle kolmandat järku Butterworthi korral on need 1, 2 ja 1.



Need vastavad järjekorras kondensaatorile, poolile ja kondensaatorile.



Need pole veel ostetavate komponentide väärtused.



Need eeldavad õiget prototüüpi ja sobivaid lõputakistusi.



Veel tuleb määrata sageduse ja impedantsi skaala.

# Skaala muutmine



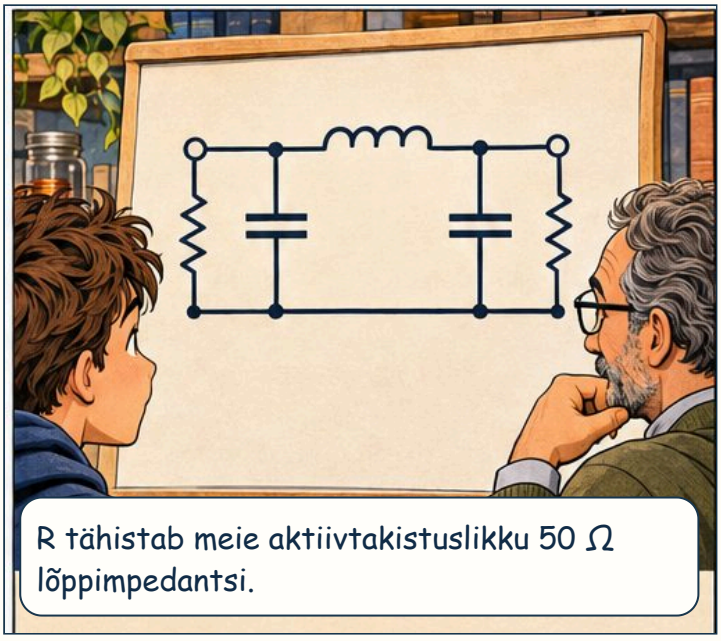
Lõike-nurksagedus on ωc = 2πfc.



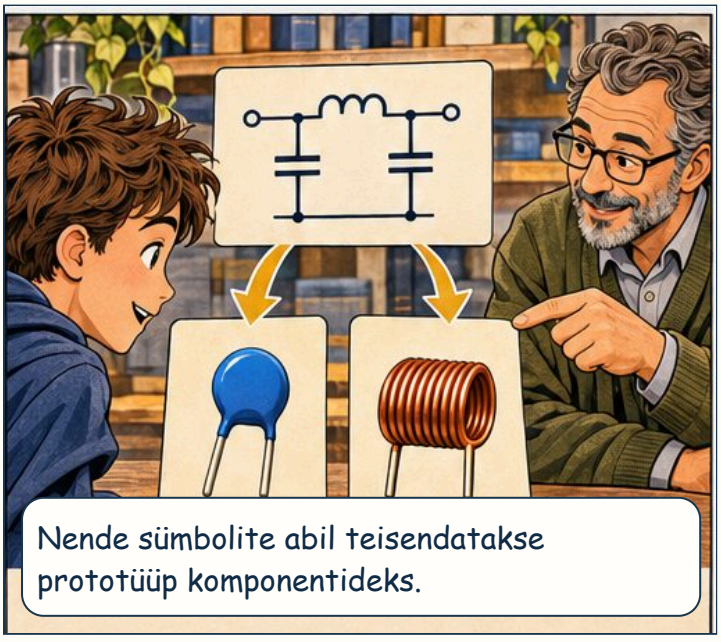
Siin tähistab fc lõikesagedust hertsides.



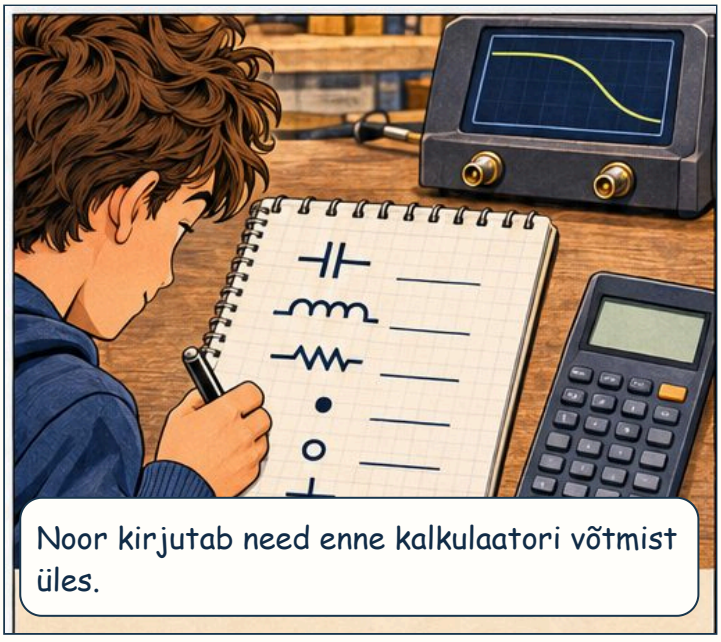
Nurksagedust ωc väljendatakse radiaanides sekundis.



R tähistab meie aktiivtakistuslikku 50 Ω lõppimpedantsi.



Nende sümbolite abil teisendatakse prototüüp komponentideks.



Noor kirjutab need enne kalkulaatori võtmist üles.

# Ühikud enne arve



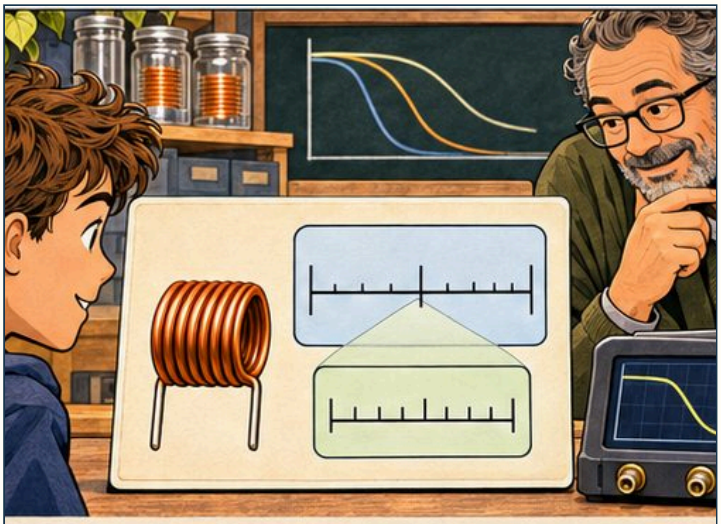
Üks megaherts on miljon hertsi.



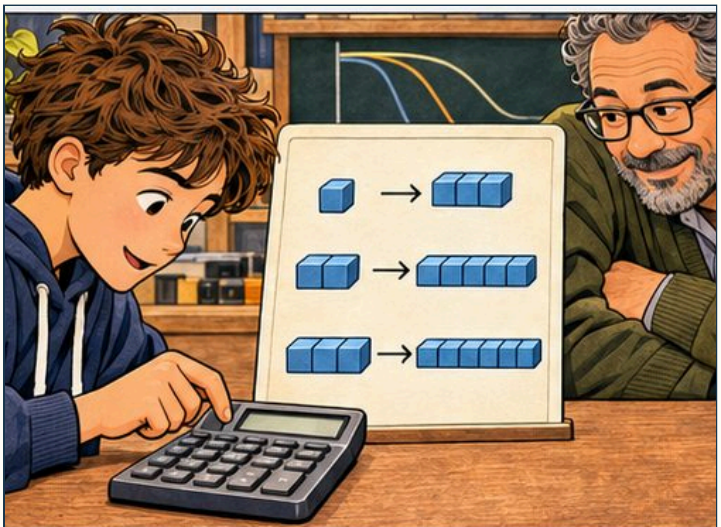
Nende 10 MHz piir on seega 10 000 000 Hz.



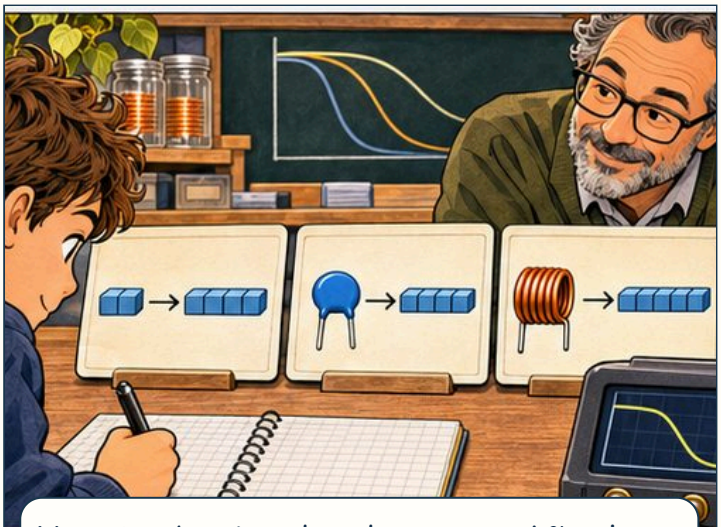
Üks pikofarad on $10^{-12}$ F.



Üks mikrohenri on $10^{-6}$ H.

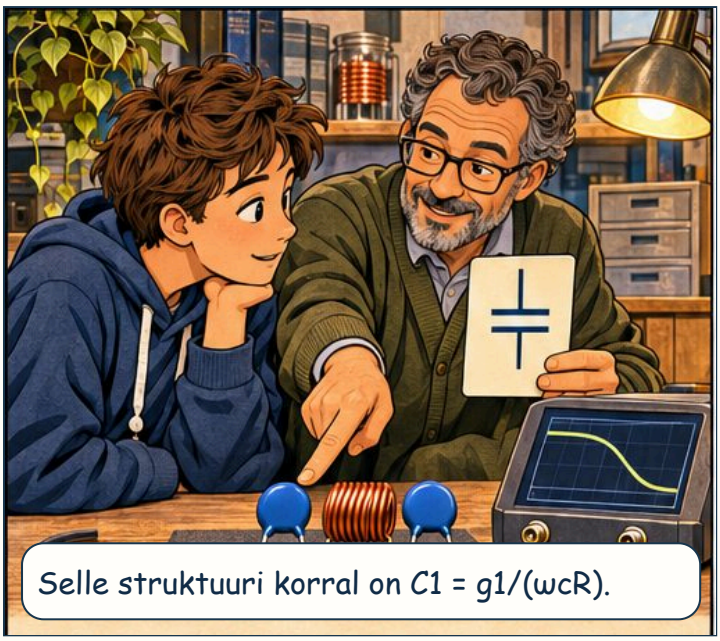


Valemites kasutatakse esmalt põhiühikuid.

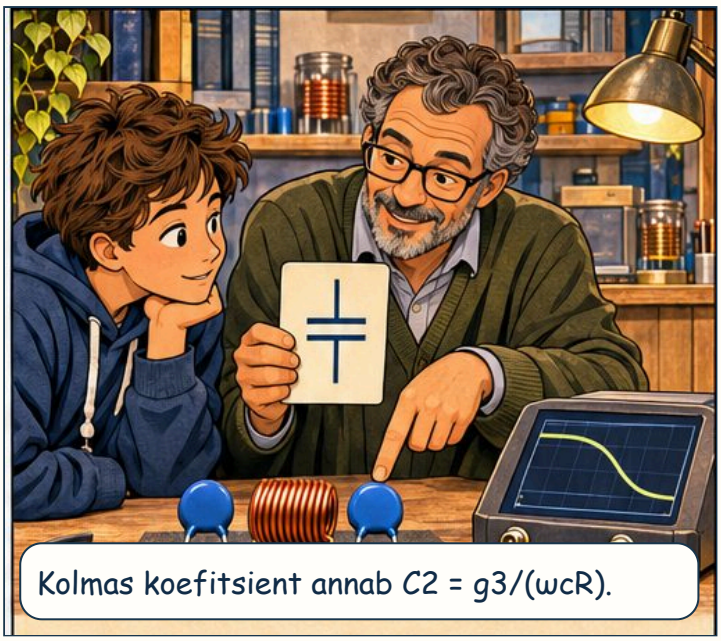


Noor jätab teisendused arvutuste kõrvale nähtavale.

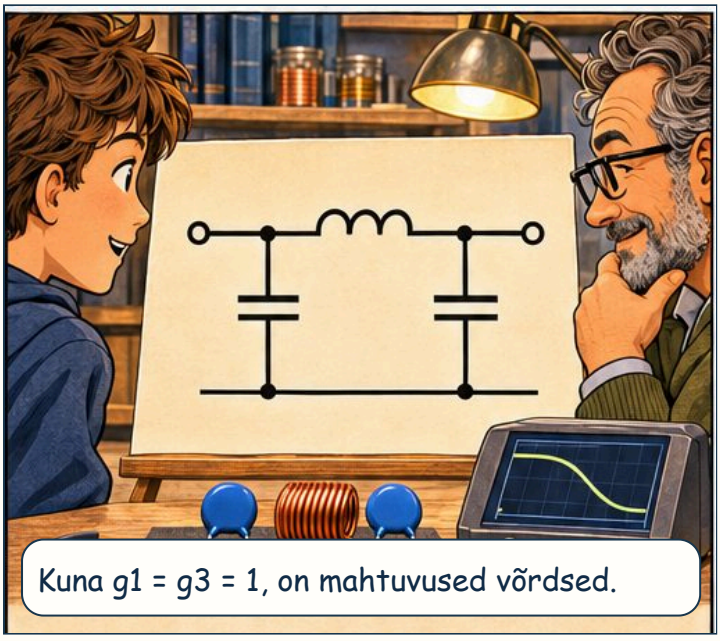
# Kondensaatorite valem



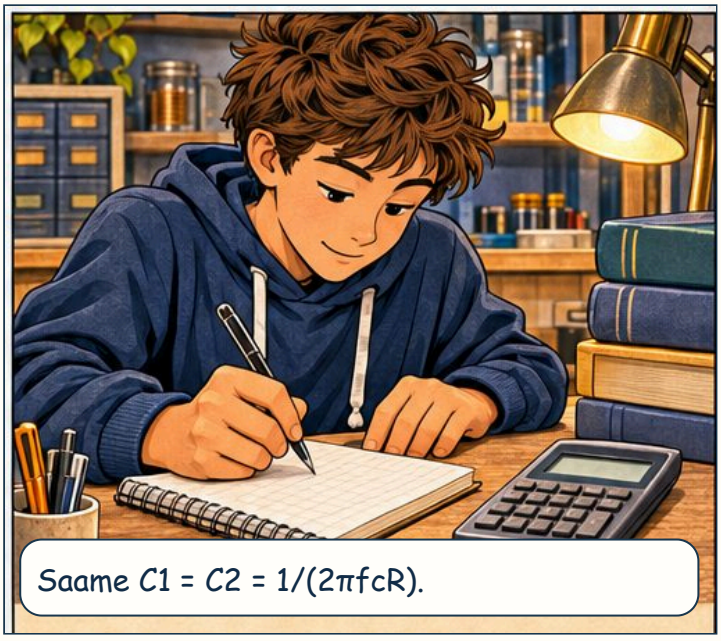
Selle struktuuri korral on C1 = g1/(ωcR).



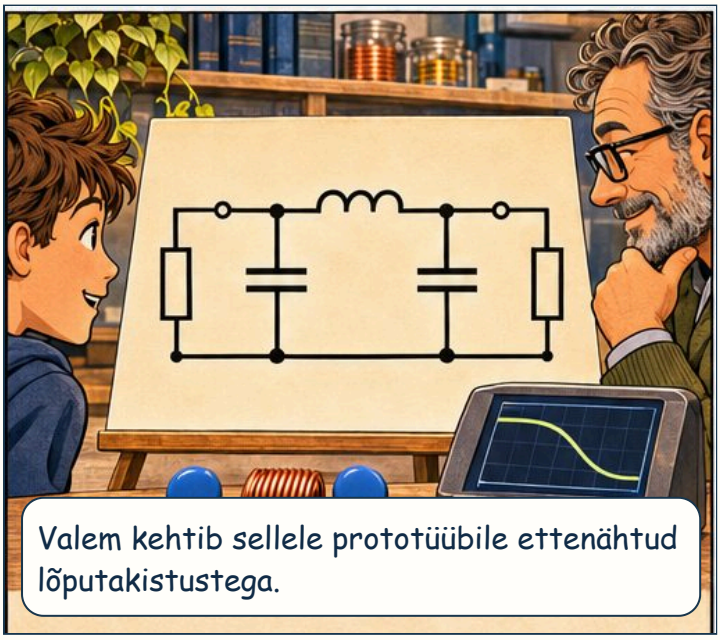
Kolmas koefitsient annab C2 = g3/(ωcR).



Kuna g1 = g3 = 1, on mahtuvused võrdsed.



Saame C1 = C2 = 1/(2πfcR).



Valem kehtib sellele prototüübile ettenähtud lõputakistustega.

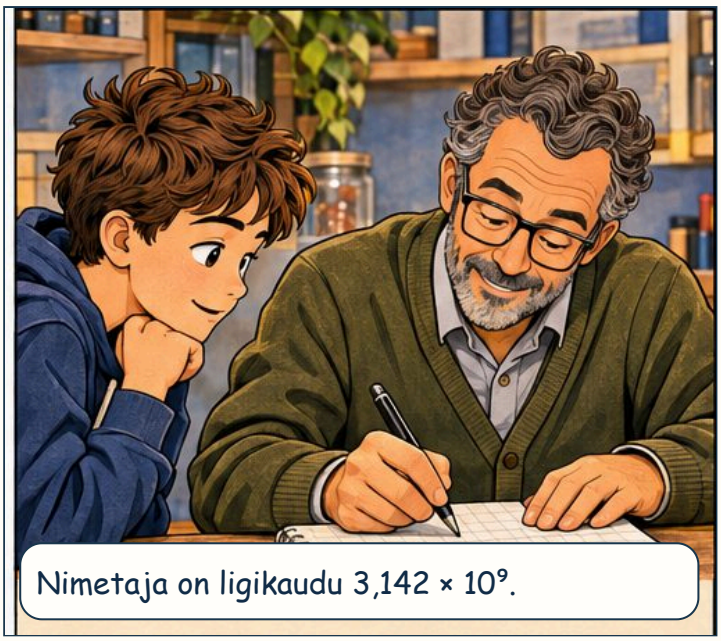


Noor kontrollib enne asendamist iga sümbolit.

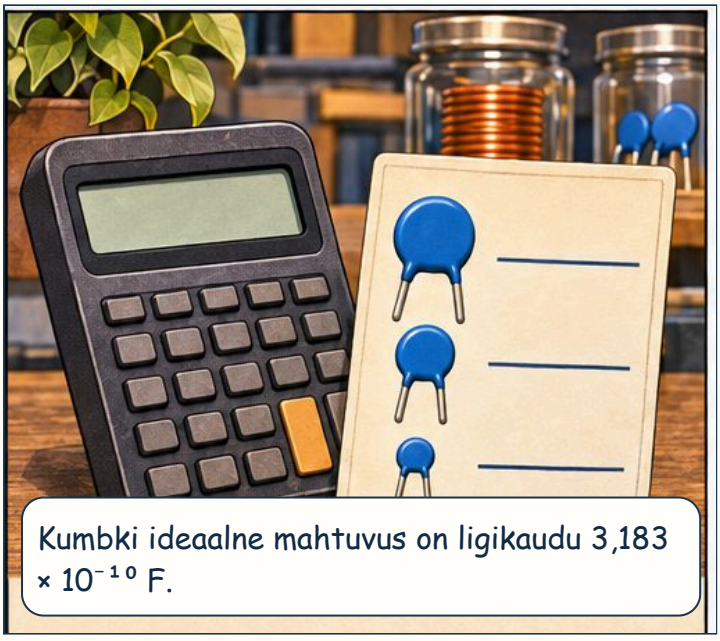
# Mahtuvuste arvutamine



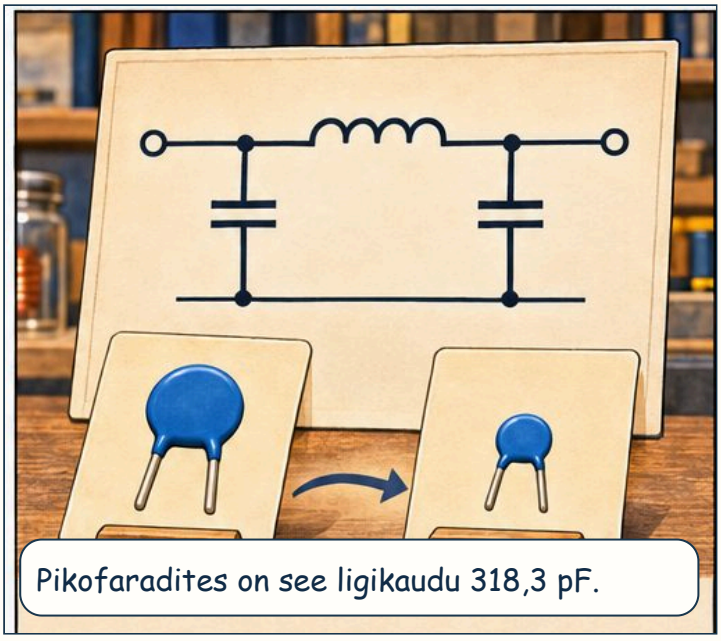
Nad asendavad fc väärtusega 10 000 000 Hz ja R väärtusega 50 Ω.



Nimetaja on ligikaudu 3,142 × $10^{9}$.



Kumbki ideaalne mahtuvus on ligikaudu 3,183 × $10^{-10}$ F.



Pikofaradites on see ligikaudu 318,3 pF.

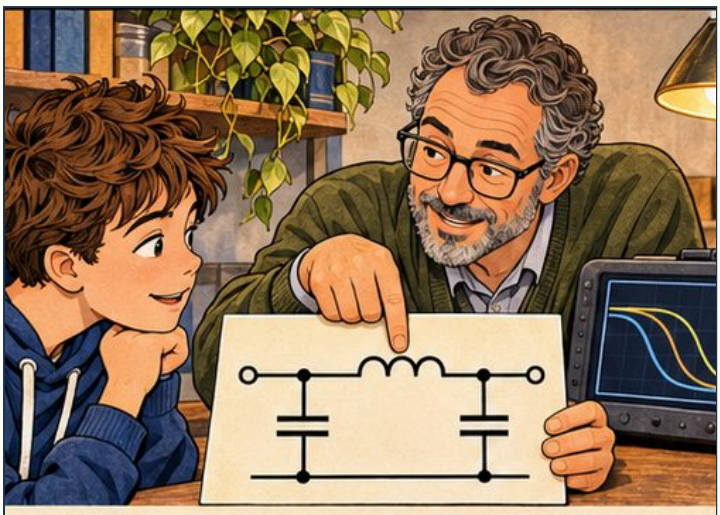


Mõlemal kondensaatoril on seega sama teoreetiline väärtus.



Lucas kirjutab tulemuse koos selgelt nähtava ühikuga.

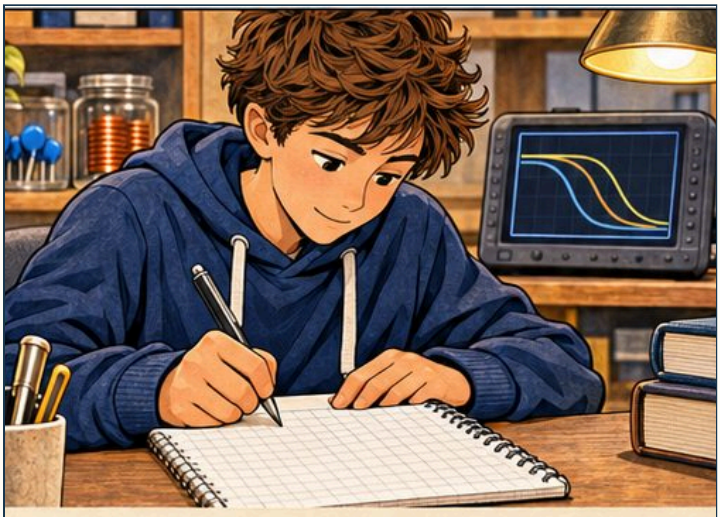
# Pooli valem



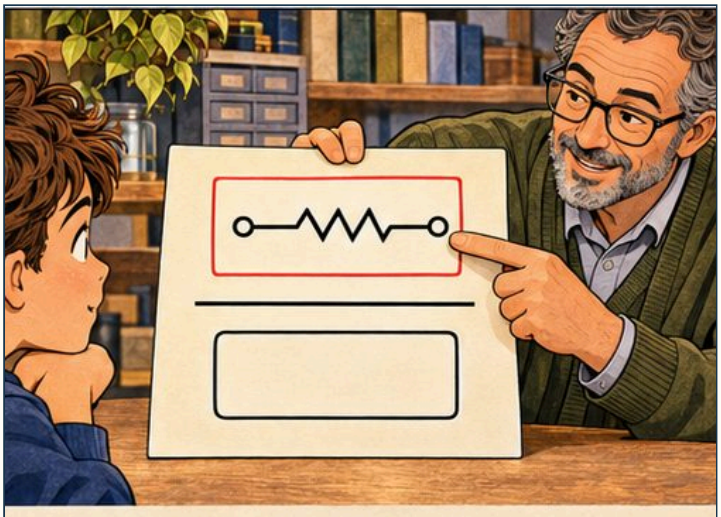
Jadapooli korral on L = g2R/ωc.



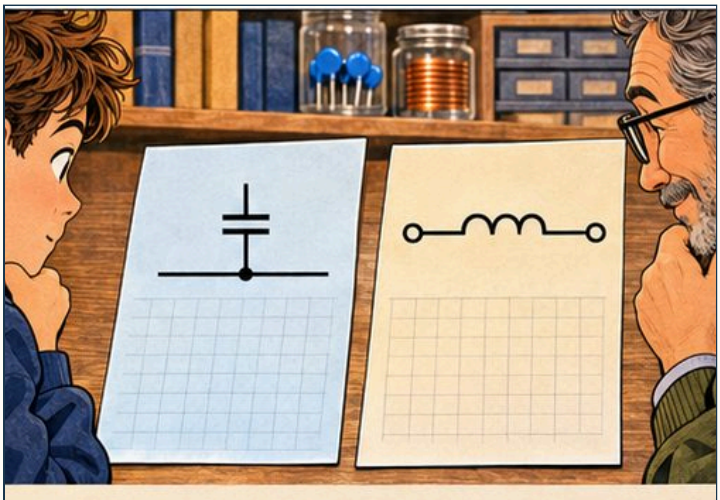
Keskmine koefitsient on siin g2 = 2.



Saame seega L = 2R/(2πfc).



Lõputakistus asub seekord lugejas.

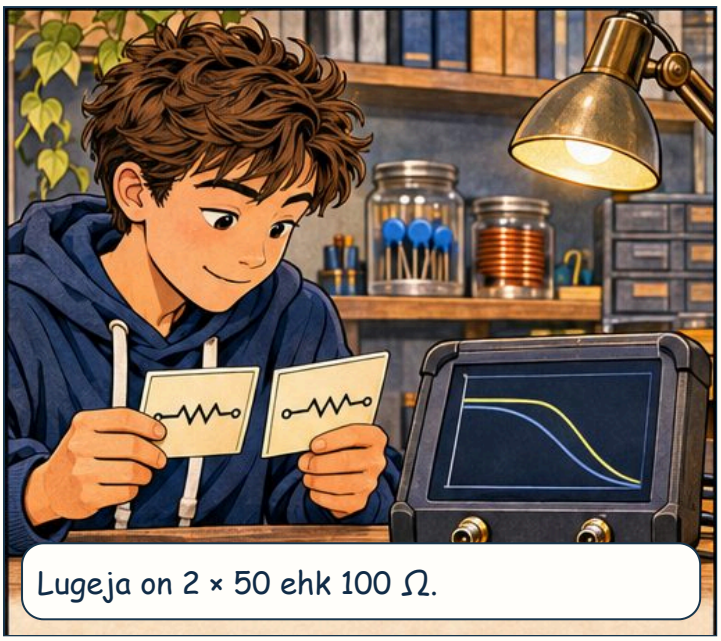


Noor võrdleb seda kondensaatorite valemiga.

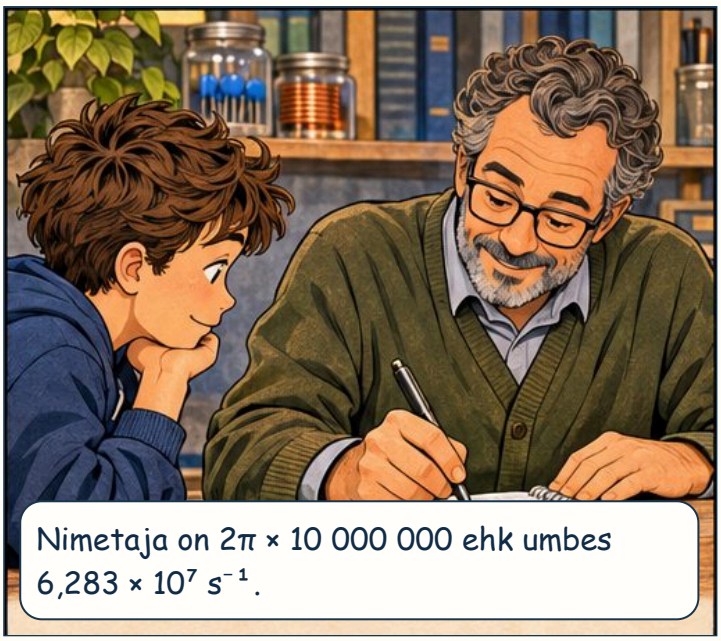


Väline sarnasus ei asenda uuesti lugemist.

# Induktiivsuse arvutamine



Lugeja on 2 × 50 ehk 100 Ω.



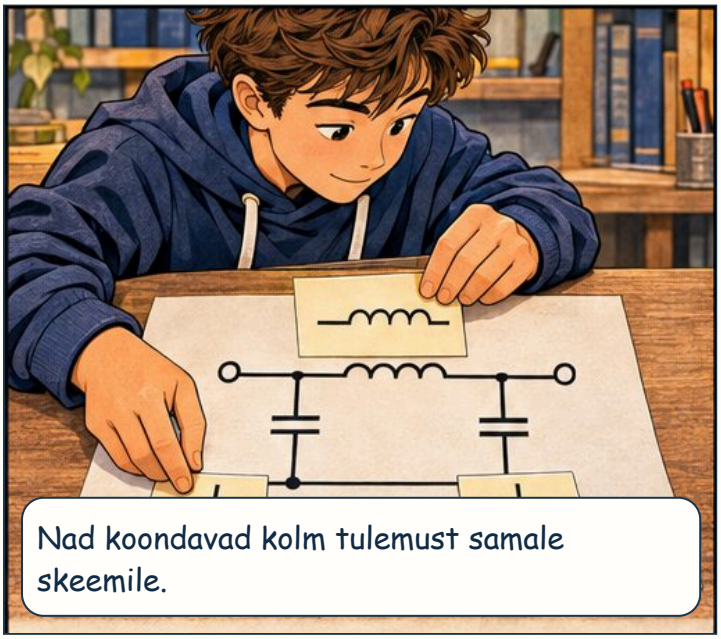
Nimetaja on $2\pi \times 10\,000\,000$ ehk umbes $6{,}283 \times 10^{7}\ s^{-1}$.



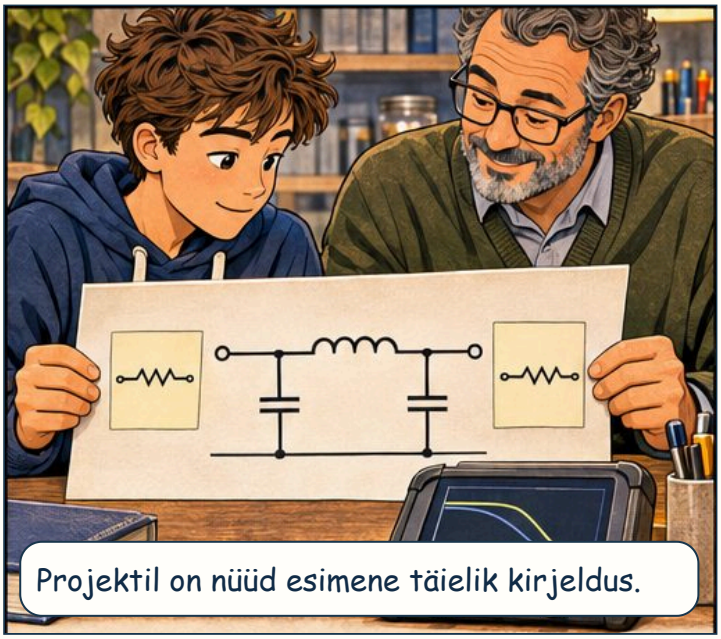
Arvutus annab ligikaudu $1{,}592 \times 10^{-6}$ H.



Ideaalse pooli induktiivsus on seega ligikaudu 1,59 µH.



Nad koondavad kolm tulemust samale skeemile.



Projektil on nüüd esimene täielik kirjeldus.

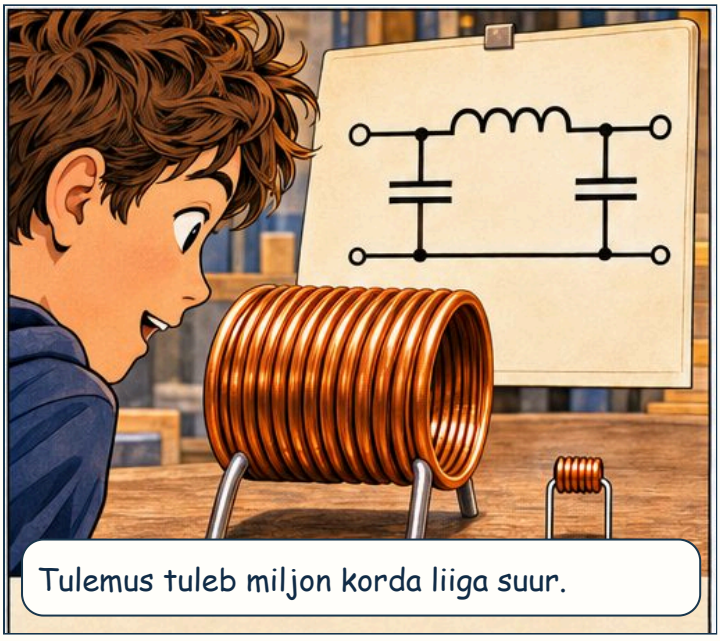
# Miljonikordne viga



Noor proovib arvutust kiiresti uuesti sisestada.



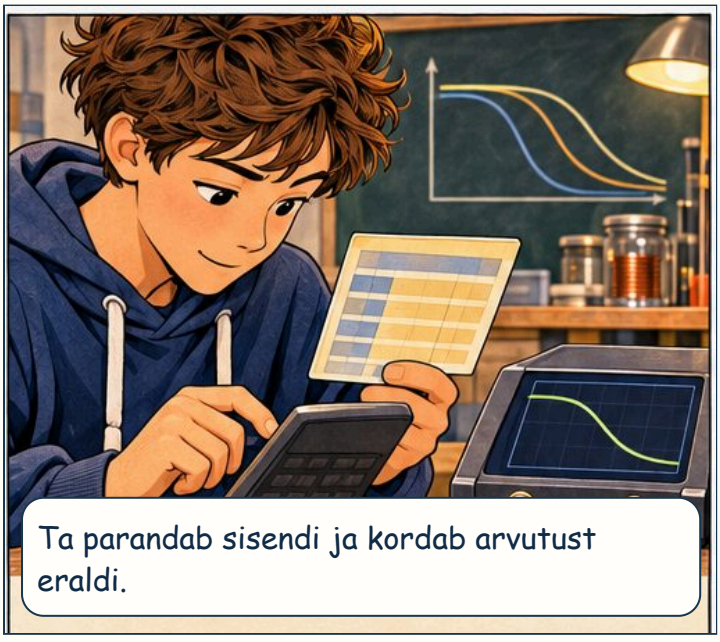
Ta sisestab 10, mitte 10 000 000.



Tulemus tuleb miljon korda liiga suur.



Võrdlus oodatud komponentidega toob vea kohe välja.

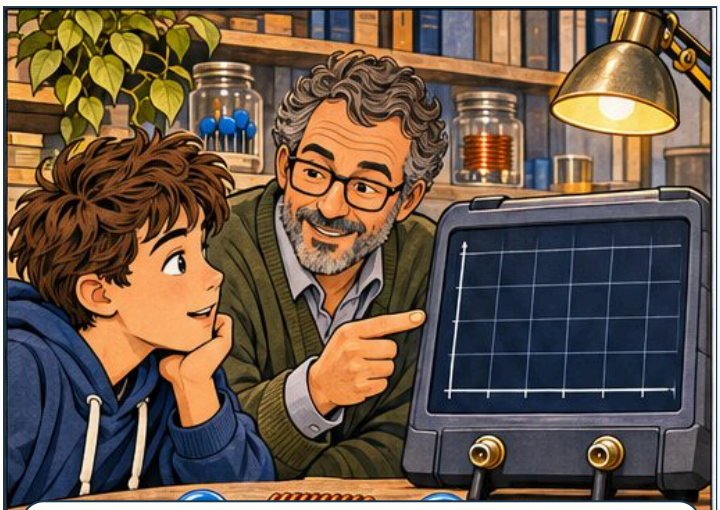


Ta parandab sisendi ja kordab arvutust eraldi.



Suurusjärgu kontrollimisest saab kasulik harjumus.

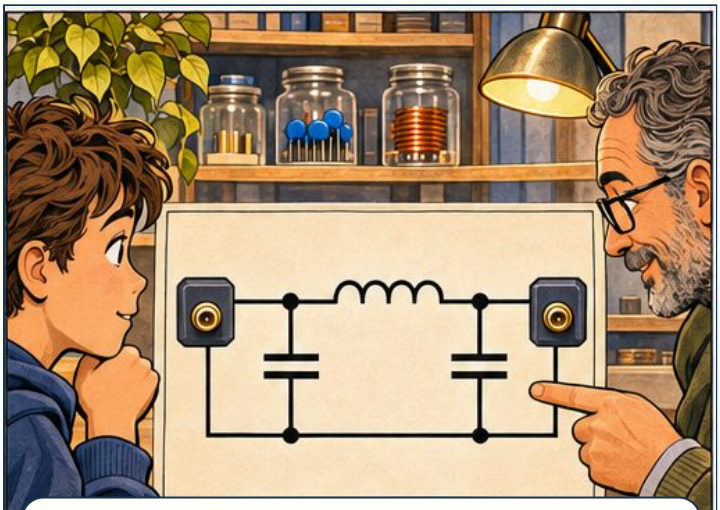
# Terve kõvera ennustamine



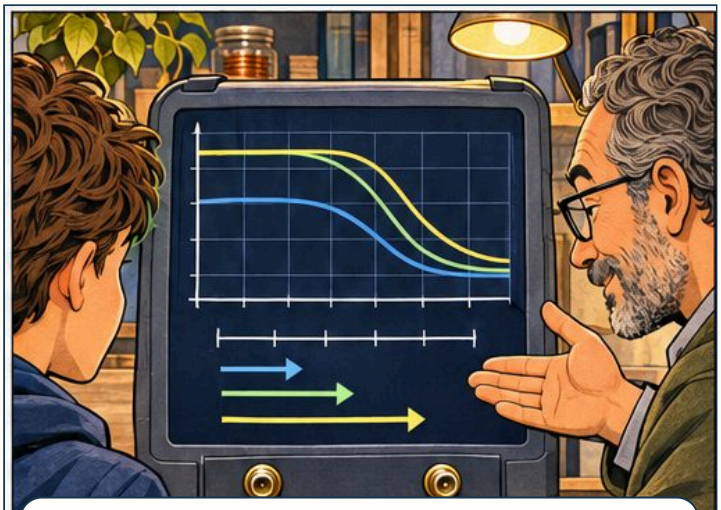
Kolm väärtust ei kirjelda veel kogu karakteristikut.



Ideaalses mudelis on S21 mooduli ruut 1/[1 + (f/fc)⁶].



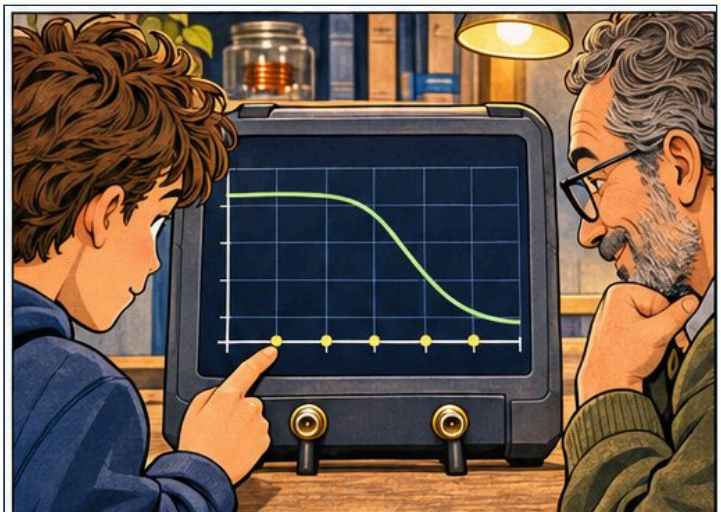
S21 kirjeldab siin ülekannet 50 Ω võrdlusportide vahel.



Ülekantav võimsus muutub seega koos suhtega f/fc.



Teoreetiline kõver annab enne mõõtmist võrdlusaluse.



Noor valmistab ette mitu võrdlussagedust.

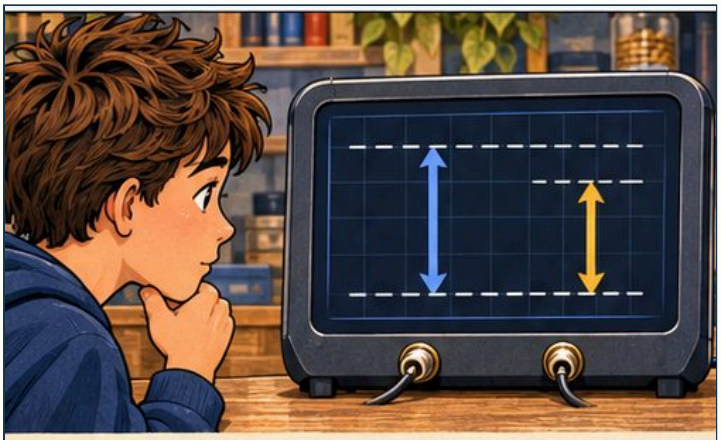
# Mida tähendab miinus kolm detsibelli?



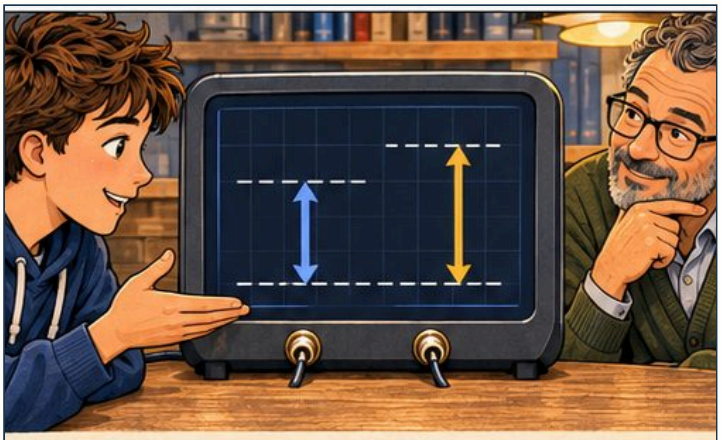
Kui f = fc, on ideaalne ülekantud võimsuste suhe 1/2.



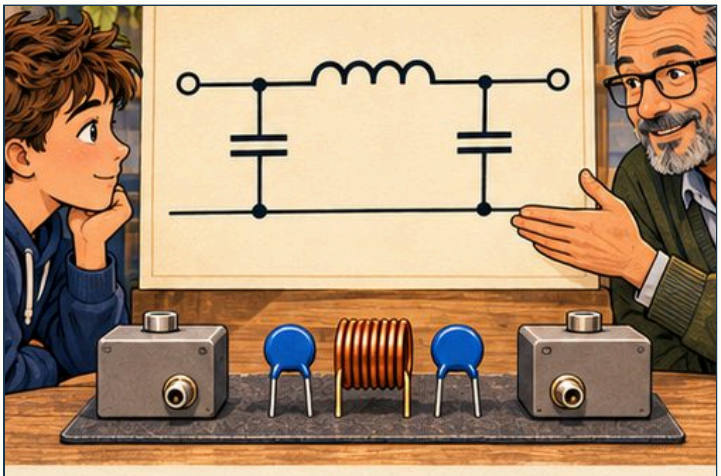
Detsibellides annab 10 log10(1/2) ligikaudu −3,01 dB.



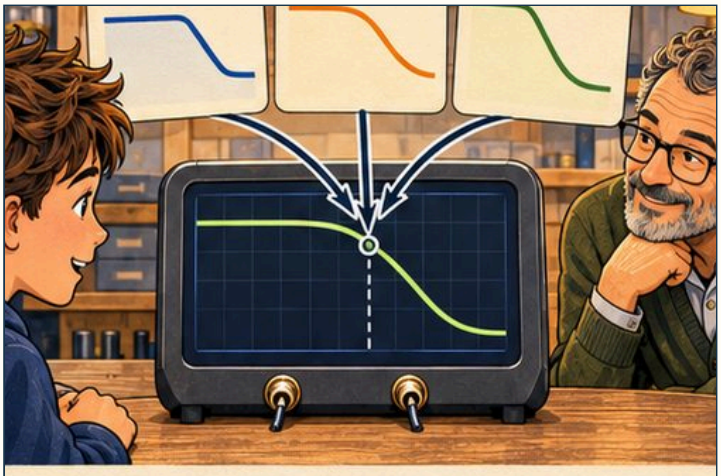
S21 moodul on siis ligikaudu 0,707.



Amplituud ei ole seega poole väiksem.



Arvutus kasutab sobitatud 50 Ω võrdlustakistusi.

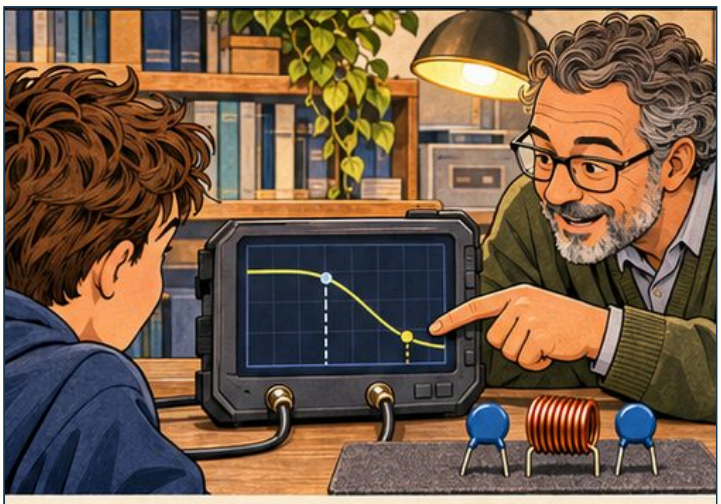


Noor seob ühe kõverapunkti kolm eri kirjeldust.

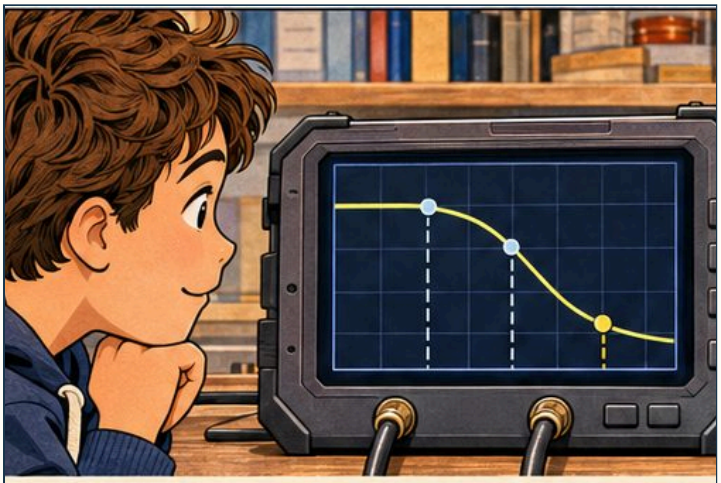
# Lõikesagedusest kõrgemal



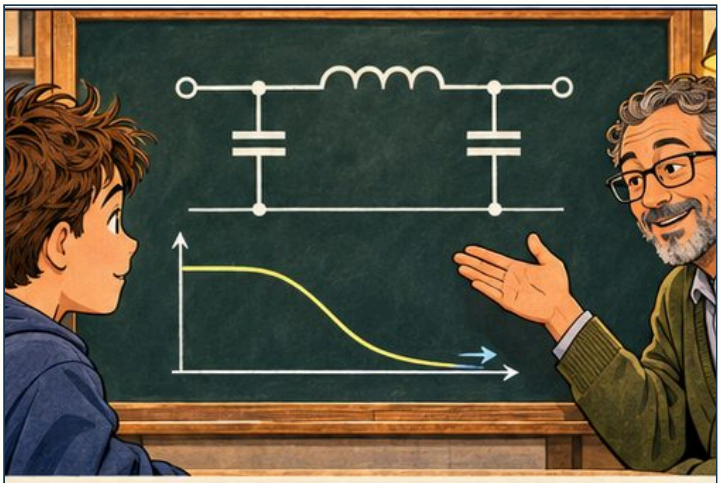
Sagedusel 20 MHz on f/fc võrdne 2-ga.



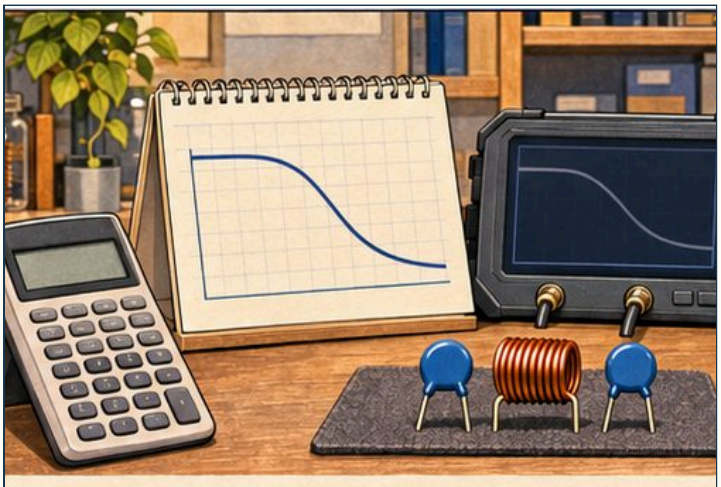
Ideaalne ülekanne on siis ligikaudu −18,13 dB.



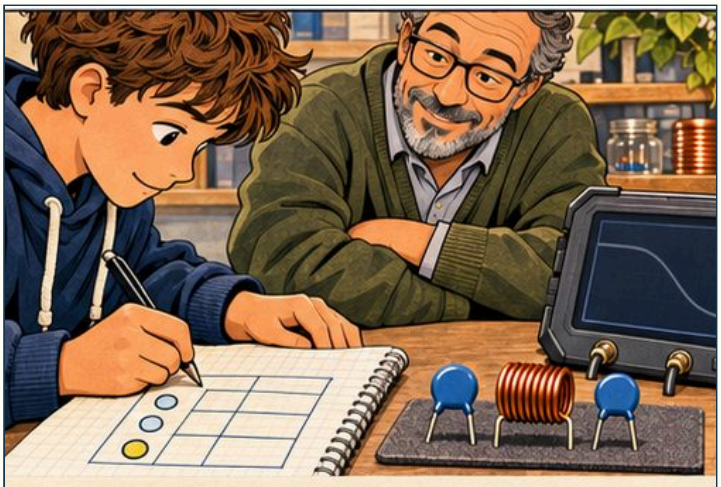
Sagedusel 30 MHz on f/fc = 3: ligikaudu −28,63 dB.



Sumbuvus suureneb, kuid jääb lõplikuks.

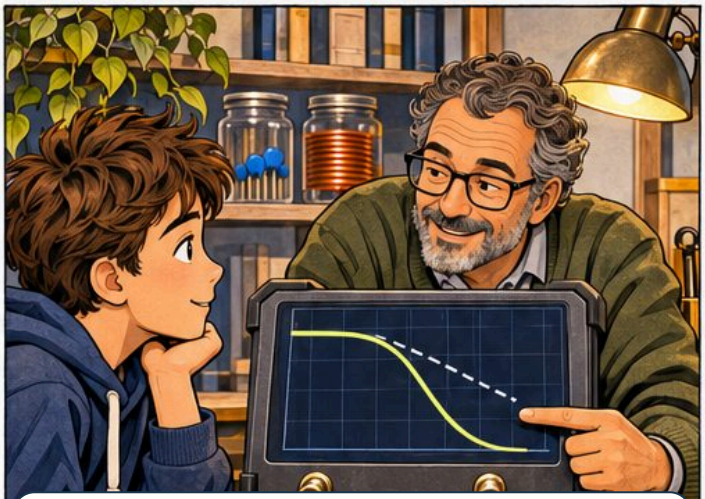


Need arvud on arvutatud, mitte nende skeemil mõõdetud.

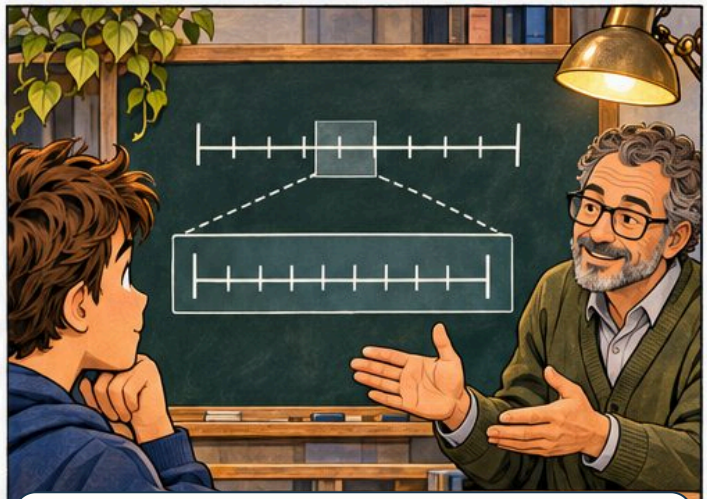


Noor paigutab need ennustuste veergu.

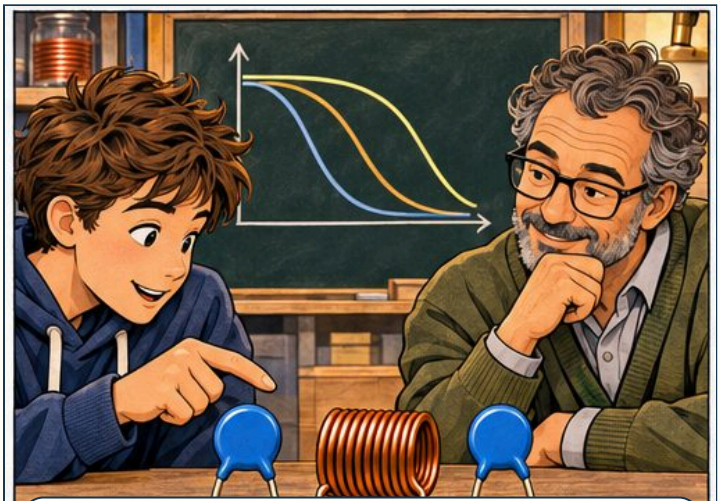
# Kalle ei ole lubadus



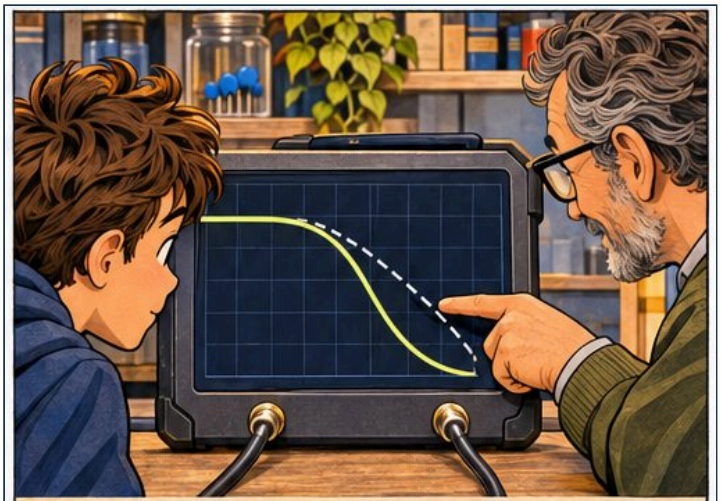
Piirist kaugel läheneb ideaalne sumbuvus 60 dB-le dekaadi kohta.



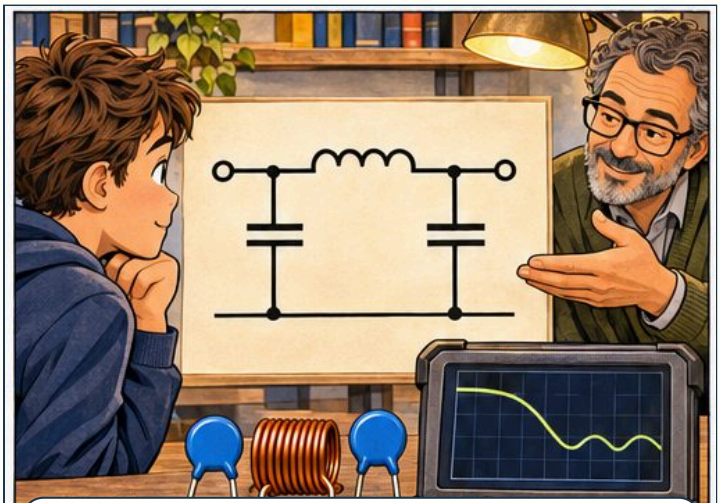
Dekaad tähendab sageduse kümnekordistumist.



See asümptootiline kalle kuulub kolmandat järku mudelile.



Piiri lähedal pole kõver sirgjoon.

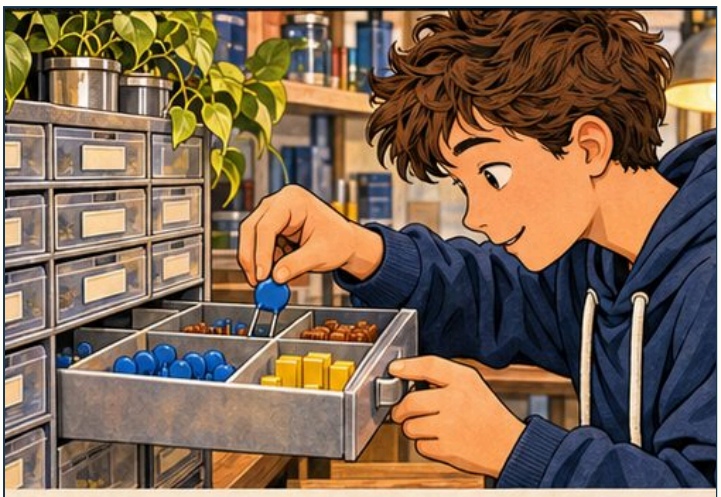


Ka tegelikud komponendid piiravad seda arengut.

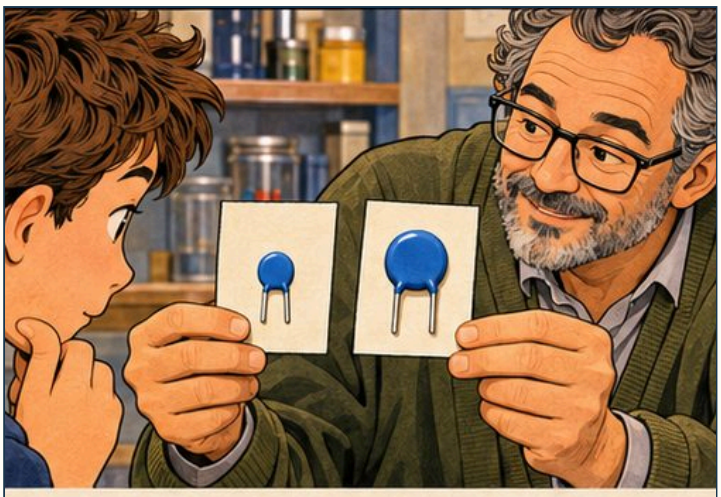


Noor ei kasuta reeglit väljaspool selle tingimusi.

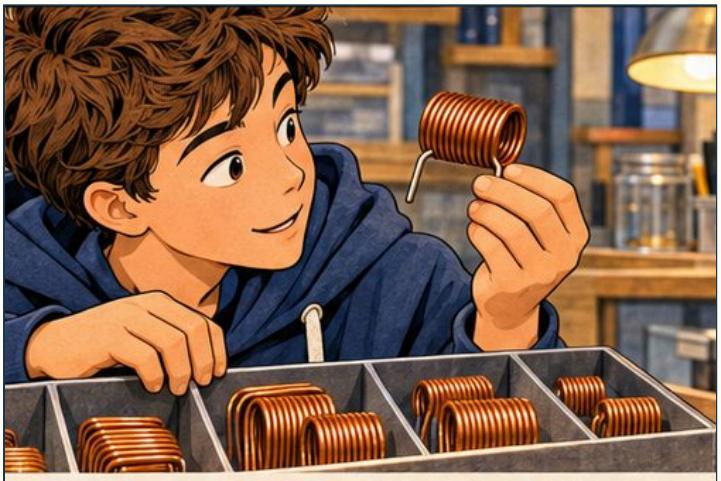
# Saadaolevad väärtused



Sahtlis ei pruugi olla täpselt 318,3 pF kondensaatoreid.



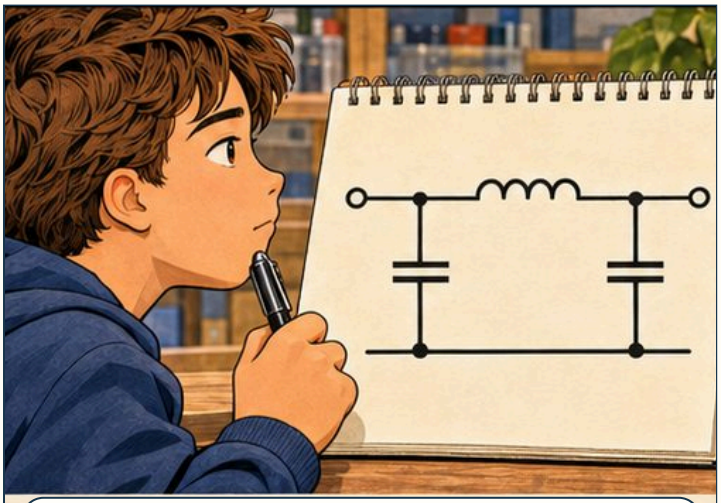
Tavaline 330 pF väärtus pole sama.



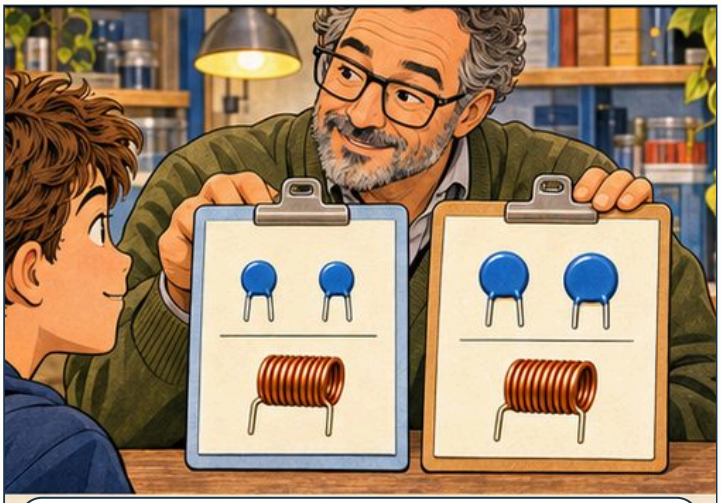
Pool 1,6 µH on arvutatud väärtusele lähedal.



Nende väärtuste valik nõuab uut arvutust või simulatsiooni.

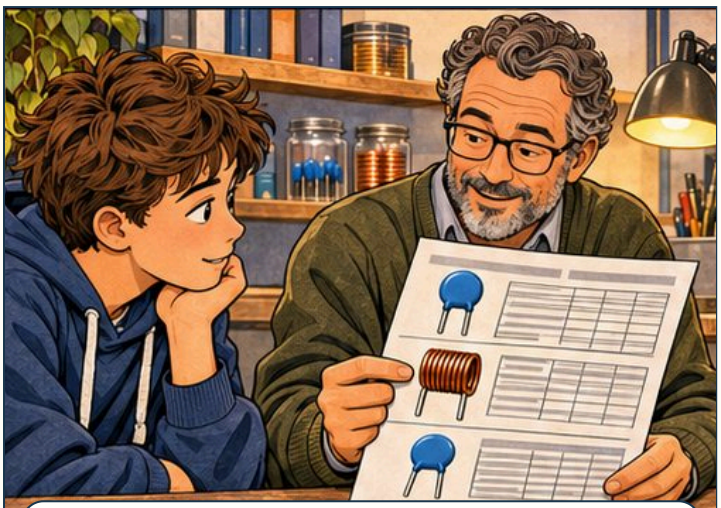


Seda skeemi ei nimetata automaatselt täpselt 10 MHz filtriks.



Noor hoiab ideaalsed ja valitud väärtused eraldi.

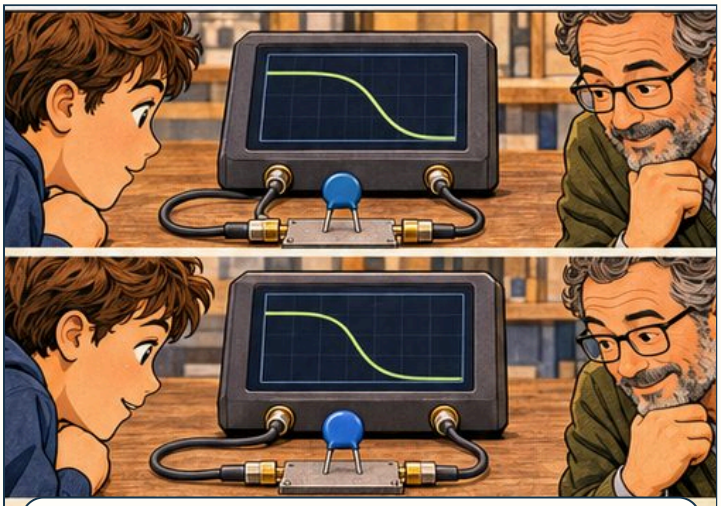
# Igal detailil on tolerants



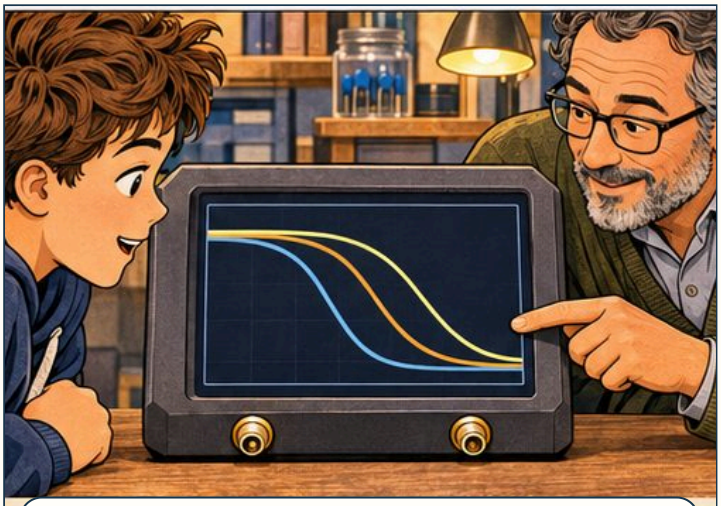
Nimiväärtus pole garanteeritud täpne väärtus.



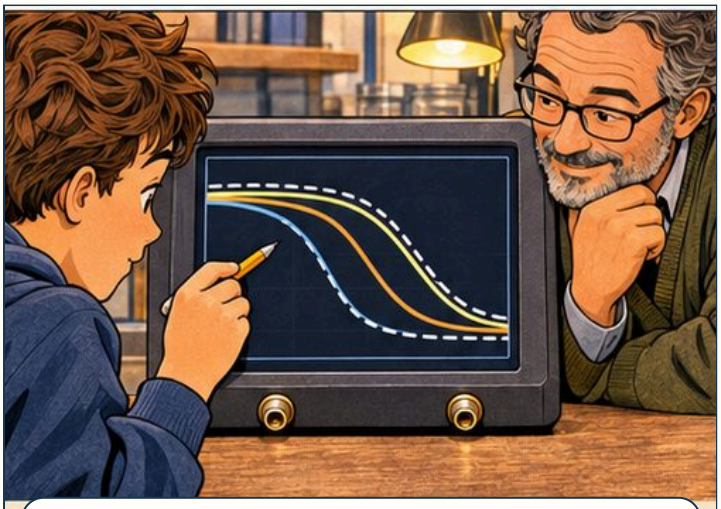
Kondensaatorite ja pooli tolerantsid on olulised.



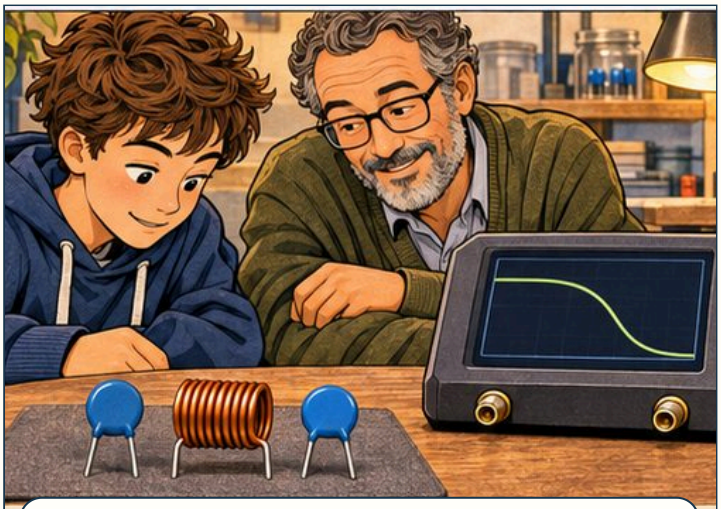
Sama märgistusega komponendid võivad pisut erineda.



Simulatsioon saab uurida mitut väärtuste kombinatsiooni.



See aitab ennustada võimalike karakteristikute vahemikku.



Mõõtmine uurib seejärel tegelikult kasutatavaid detaile.

# Peidetud komponendid



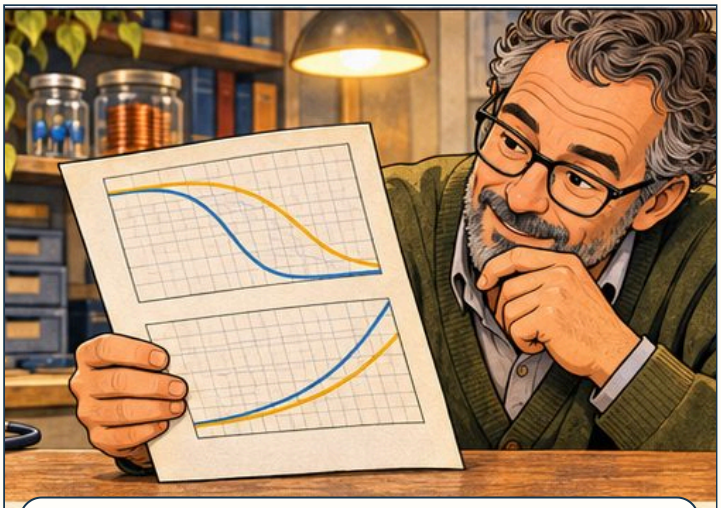
Tegelikul poolil on ka takistus ja parasiitmahtuvus.



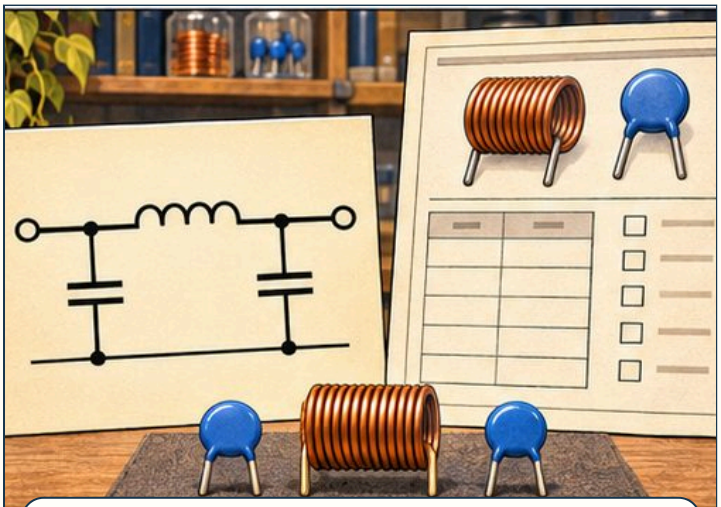
Kondensaatoril on muu hulgas kaod ja parasiitinduktiivsus.



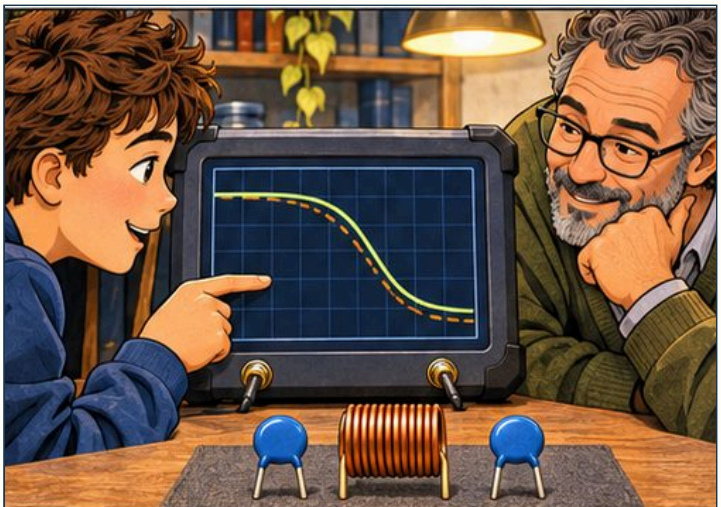
Teatud resonantside lähedal nende käitumine muutub.



Andmelehed annavad piirid, mida tuleb uurida.



Ainult väärtusest pikofaradites või mikrohenrides seega ei piisa.

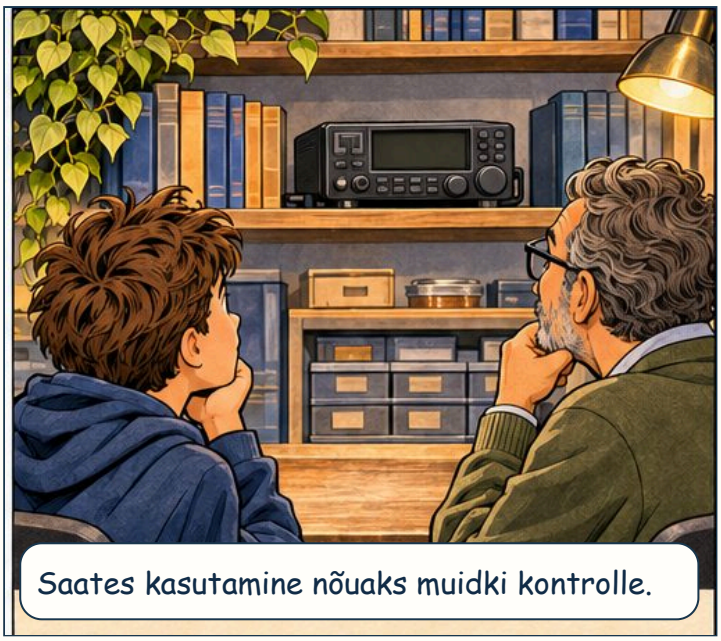


Noor õpib lugema kaugemale esimesest reast.

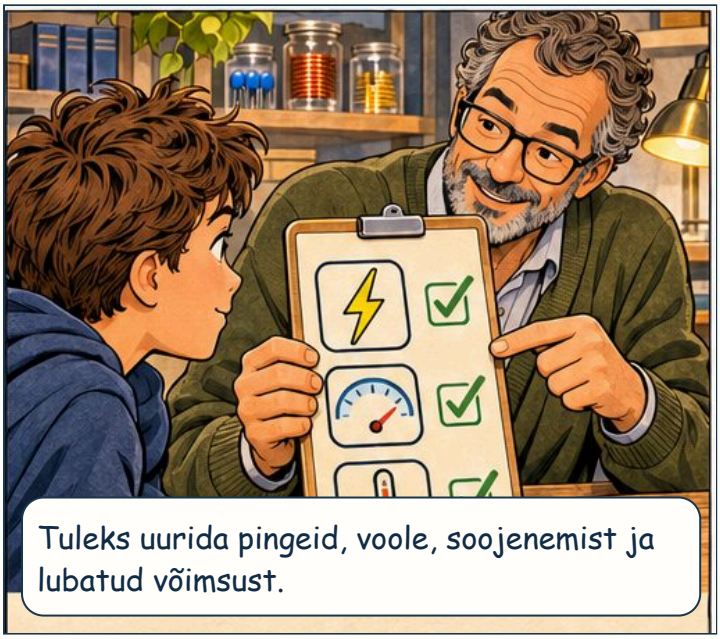
# Töölauakatse ei kvalifitseeri saatjat



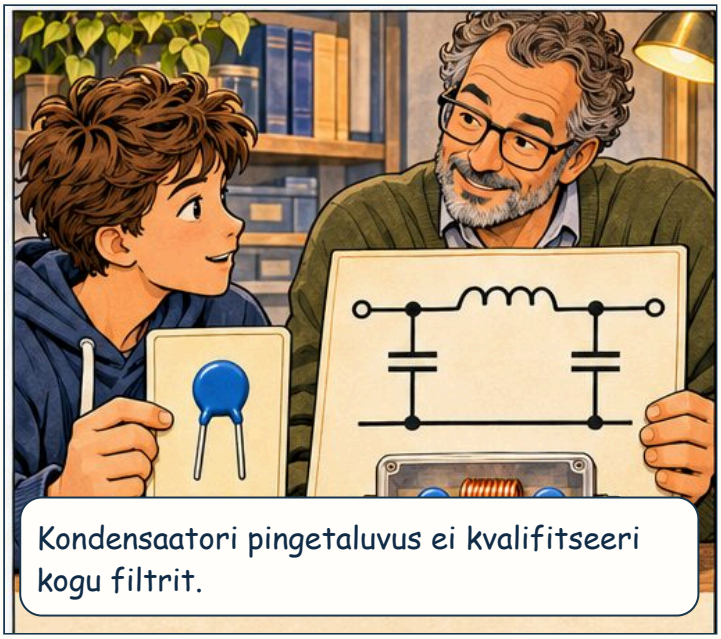
Nende näidismoodul saab üksnes analüsaatori ettenähtud nõrka signaali.



Saates kasutamine nõuaks muidki kontrolle.



Tuleks uurida pingeid, voole, soojenemist ja lubatud võimsust.



Kondensaatori pingetaluvus ei kvalifitseeri kogu filtrit.

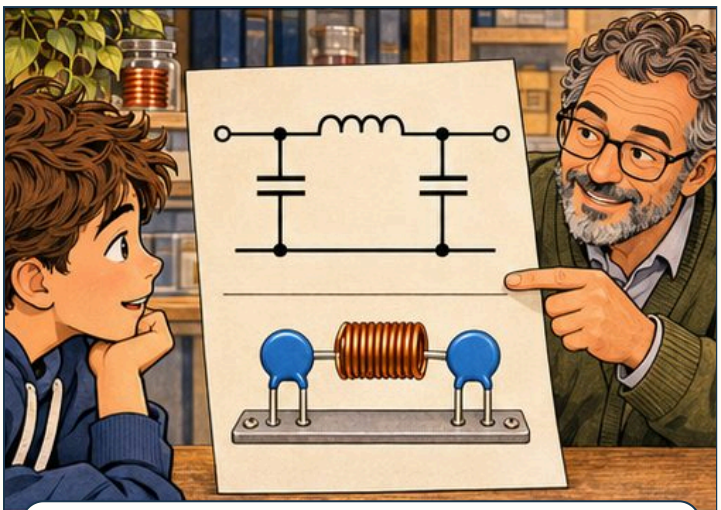


Selles töötoas võimsuskatset ei tehta.

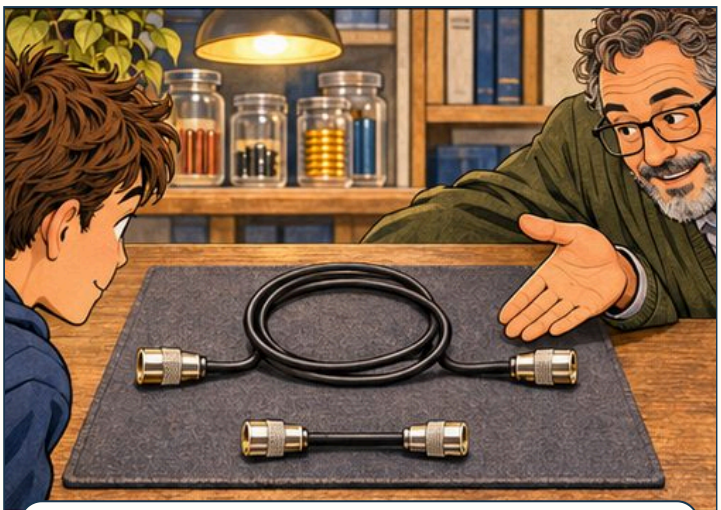


Noor märgib oma lahenduse piirid selgelt üles.

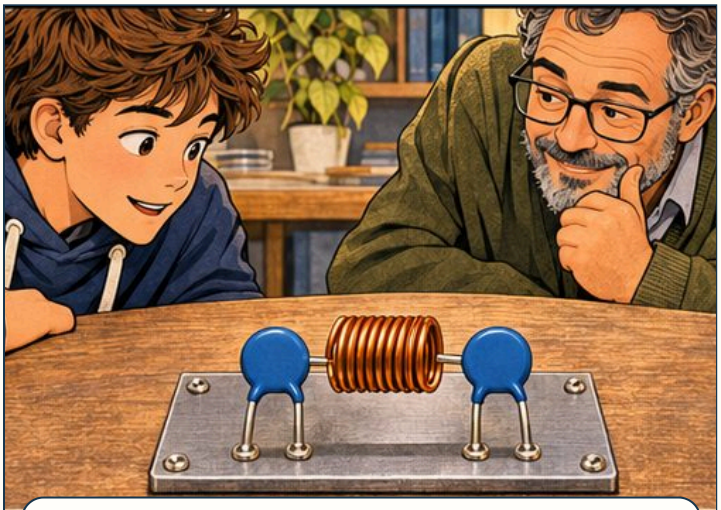
# Paigutuse joonistamine



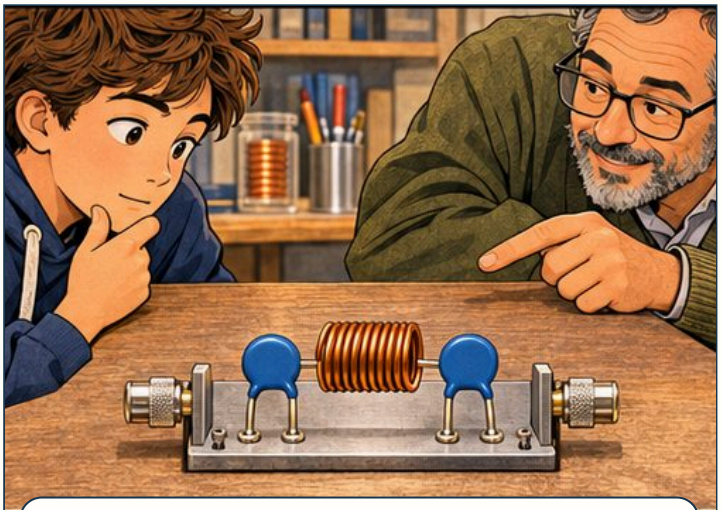
Skeem näitab ühendusi, aga mitte nende kogu geomeetriat.



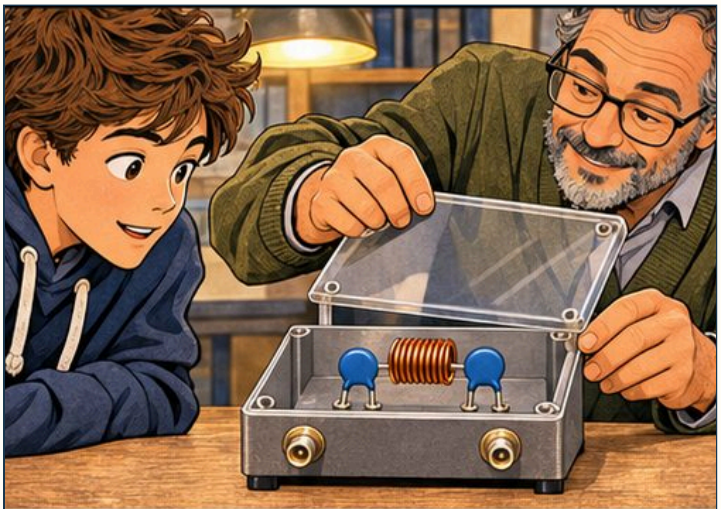
Nendel sagedustel võivad ühenduspikkus ja paigutus olla olulised.



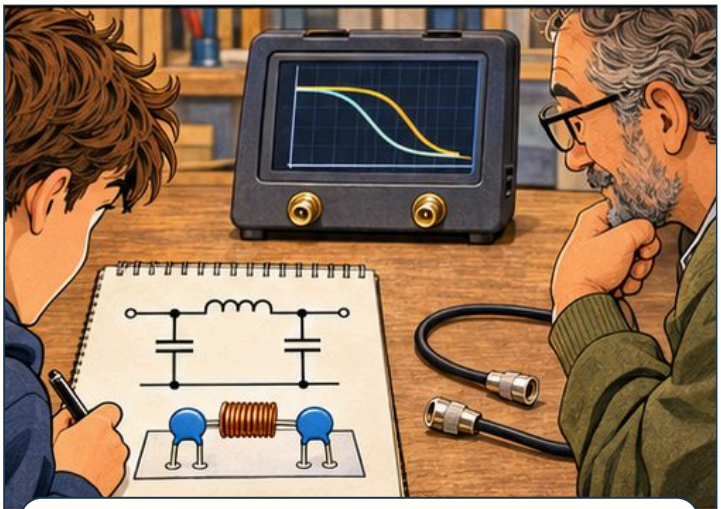
Nad kavandavad ühise massi ja lühikesed ühendused.



Nad eraldavad ka rajad, mis võiksid otse sidestuda.



Henri valmistab ette sobiva mõõtemooduli.

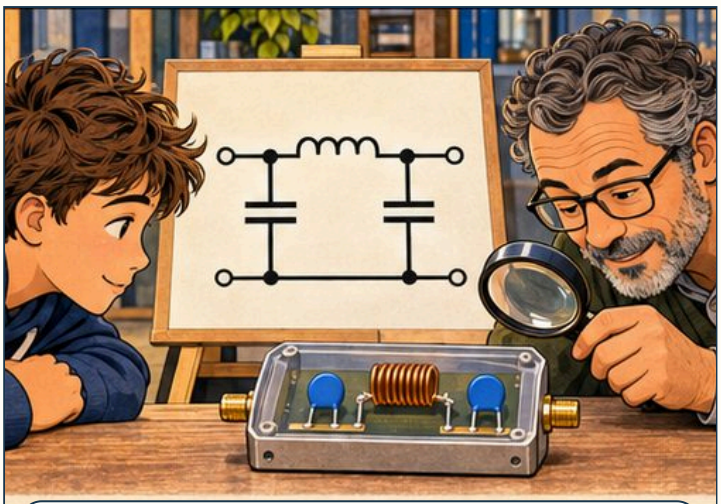


Lucas võrdleb paigutust skeemiga ühendus ühenduse järel.

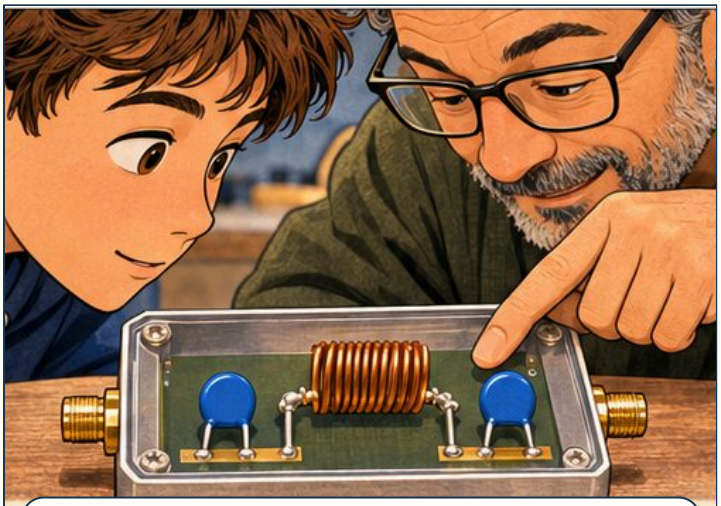
# Kontroll enne ühendamist



Mõõteallikas jääb ettevalmistuse ajal välja lülitatuks.



Nad kontrollivad ühendusi, komponente ja ühist massi.



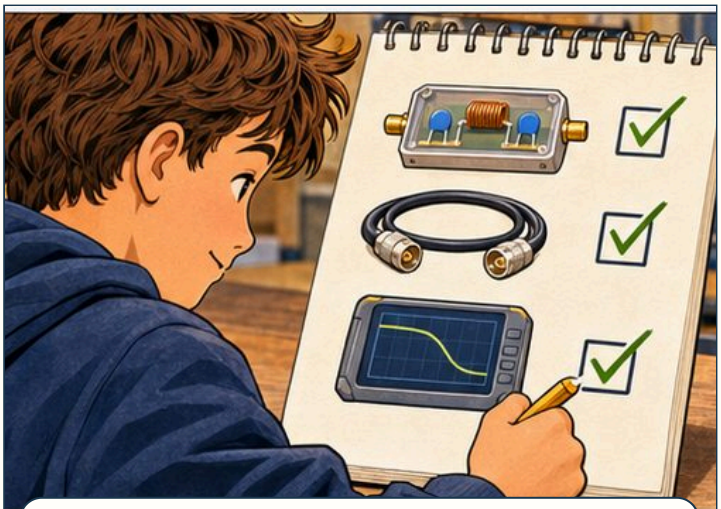
Nad otsivad lühist, valeühendust või kahjustatud detaili.



Seejärel vaadatakse üle pistikud ja kaablid.



Mentor kontrollib seadme sisendpiire.

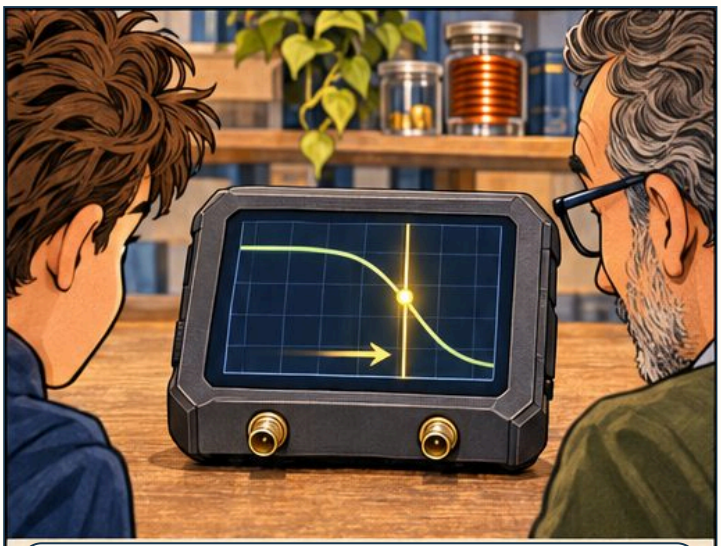


Noor lõpetab kontrollnimekirja enne esimest sageduspühkimist.

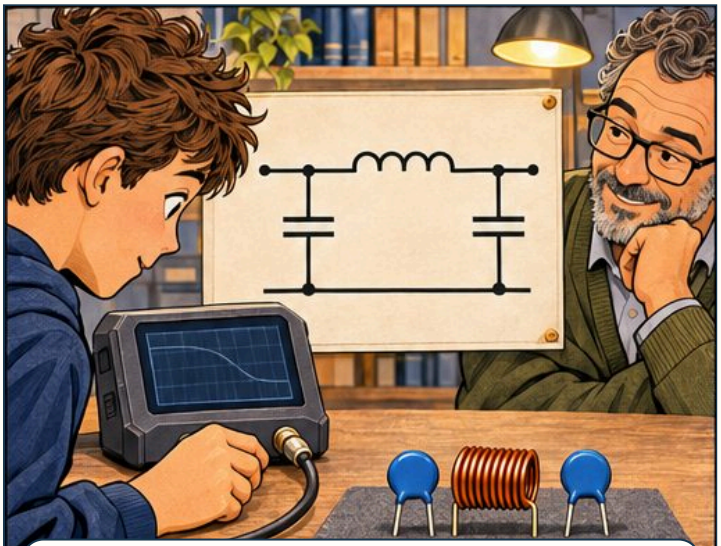
# Analüsaatori küsimused



Võrguanalüsaator saadab teadaoleva nõrga signaali.



See pühib läbi valitud sagedusvahemiku.



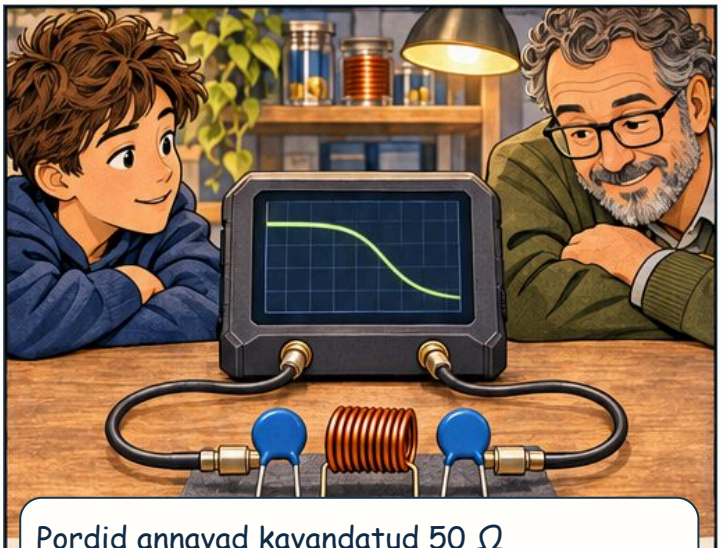
Port 1 toidab filtri sisendit.



Port 2 jälgib ülekannet väljundis.



Parameeter S21 võimaldab seda ülekannet jälgida.



Pordid annavad kavandatud 50 Ω võrdlustakistused.

# Kalibreerimine õiges kohas



Kaablid ja adapterid osalevad mõõtmises.



Seepärast järgivad nad seadme kalibreerimisprotseduuri.



Sobivad etalonid ühendatakse juhendi järgi.



Võrdlustasandid paigutatakse kaablite otstesse.



Pärast kalibreerimist säilitatakse ühendused võimaluse korral muutumatuna.



Noor märgib üles seadistuse ja sageduspühkimise parameetrid.

# Otsetee kontroll



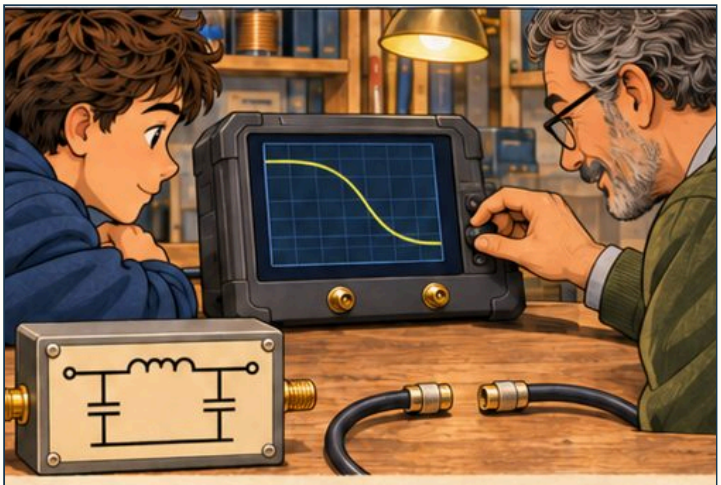
Enne filtrit kontrollitakse võrdlust otseühendusega.



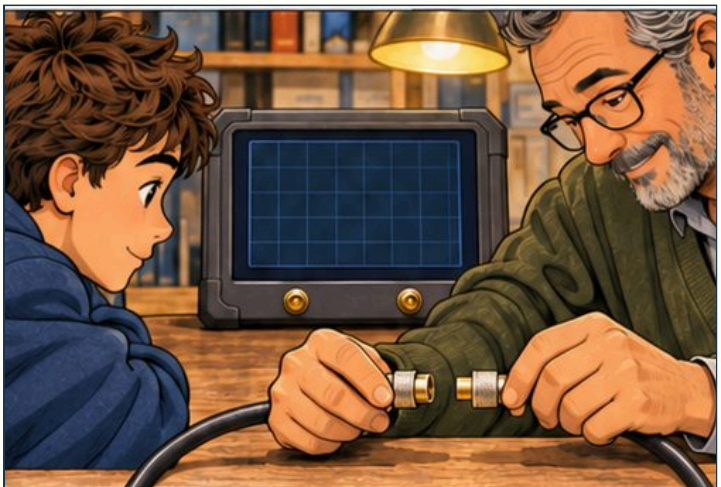
Oodatav ülekanne peab selle ühendusega sobima.



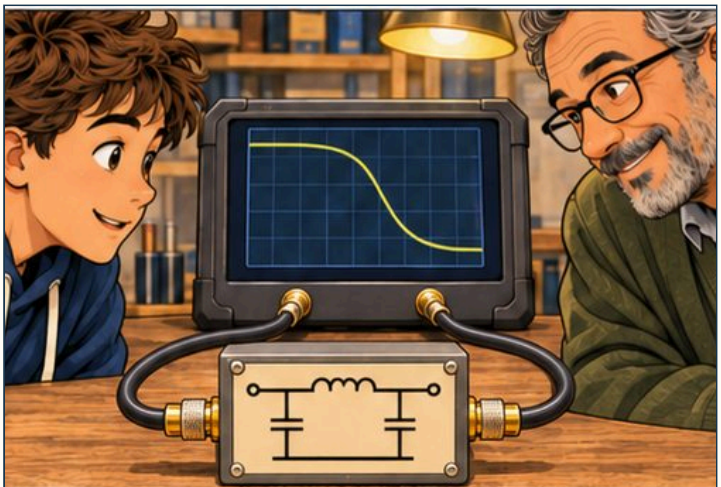
Kõrvalekalle nõuab kaablite, kalibreerimise ja seadistuste uurimist.



Filtrit ei muudeta mõõtepingi vea varjamiseks.



Pärast kontrolli lülitatakse allikas ühendamiseks välja.

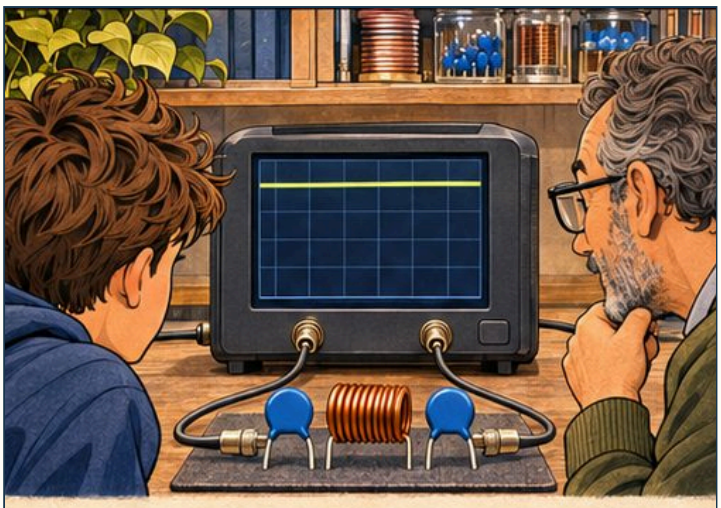


Seejärel asetatakse filter kahe kaabli vahele.

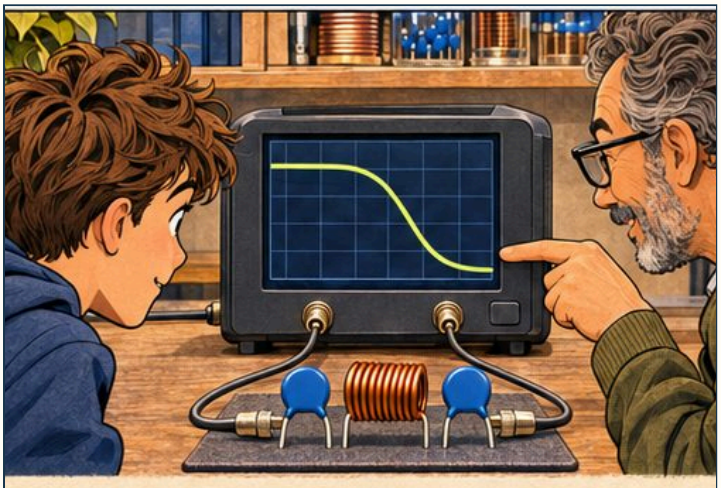
# Esimene sageduspühkimine



Nad käivitavad pühkimise üle kasuliku riba ja ülemineku.



Madalatel sagedustel püsib kõver kõrgemal.



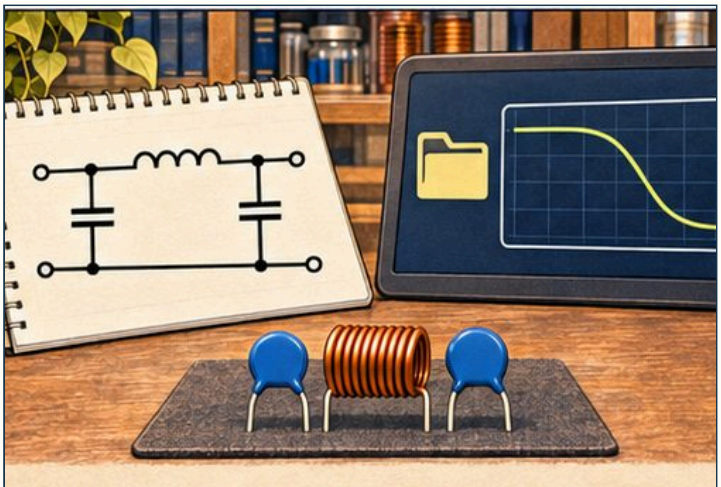
Sageduse kasvades langeb see edasi.



Noor tunneb oodatud kuju ära, eeldamata täpset võrdsust.

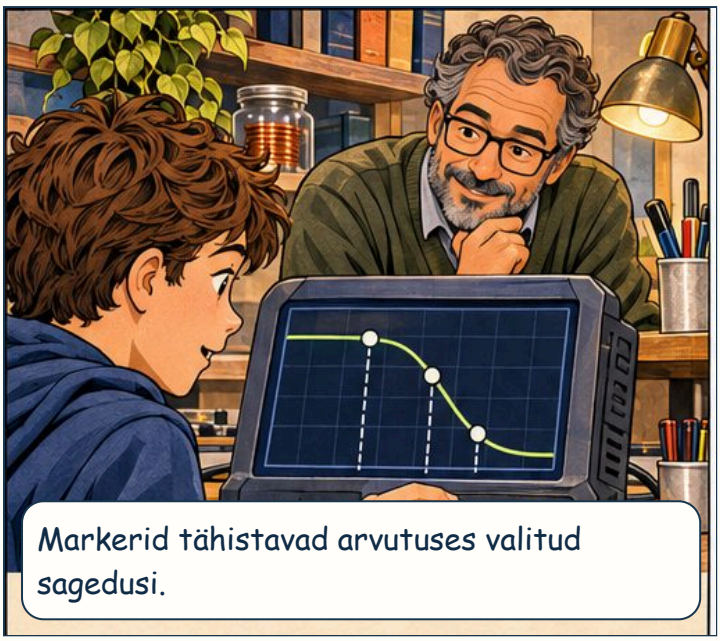


Ta salvestab kõvera ja mõõtmistingimused.

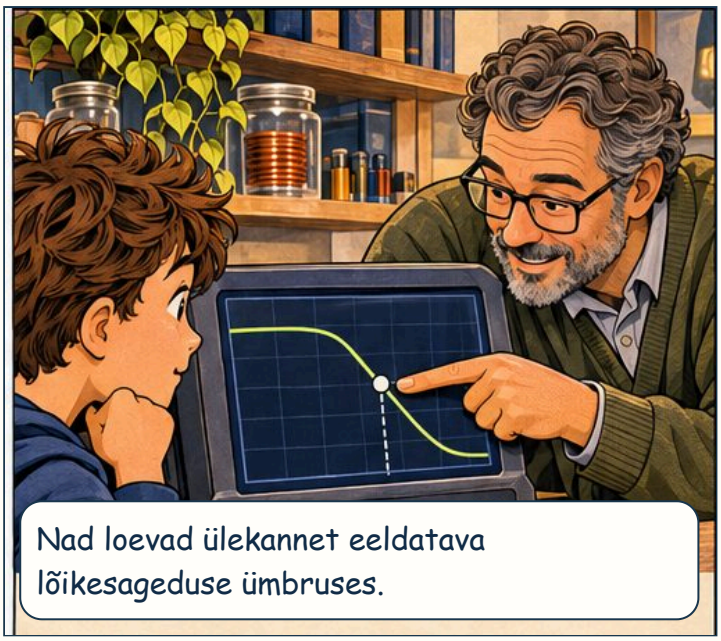


Säilitatud tulemust saab võrrelda pärast iga muudatust.

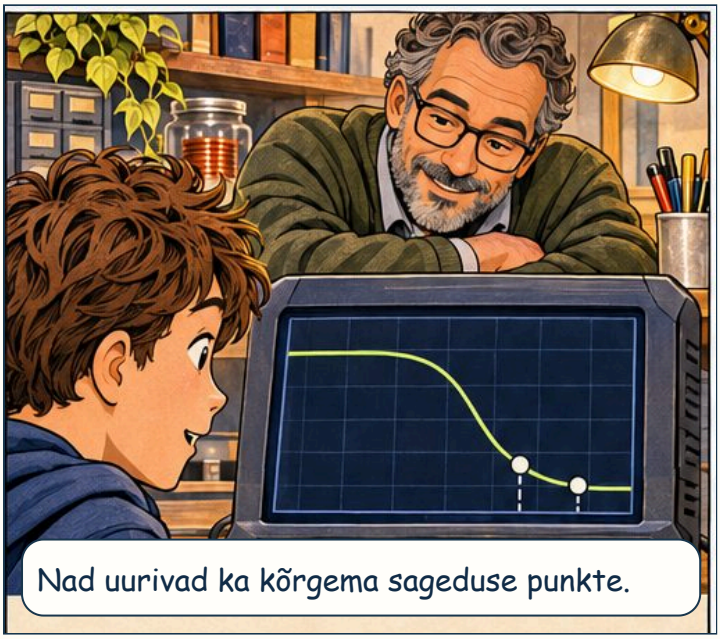
# Kindlate punktide lugemine



Markerid tähistavad arvutuses valitud sagedusi.



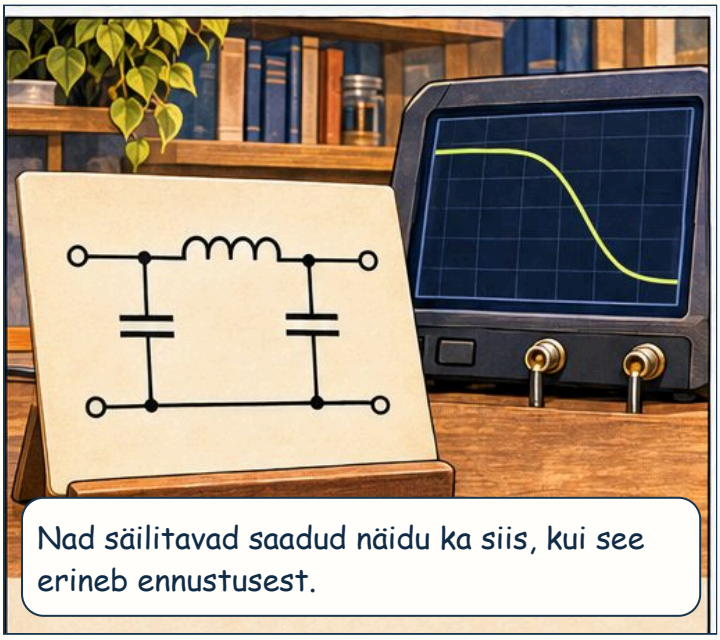
Nad loevad ülekannet eeldatava lõikesageduse ümbruses.



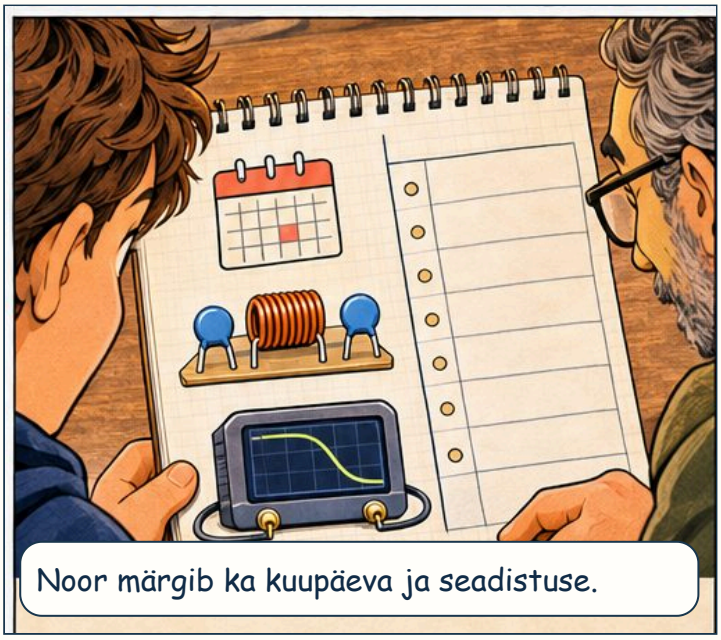
Nad uurivad ka kõrgema sageduse punkte.



Tegelikud näidud lähevad mõõtmiste veergu.



Nad säilitavad saadud näidu ka siis, kui see erineb ennustusest.

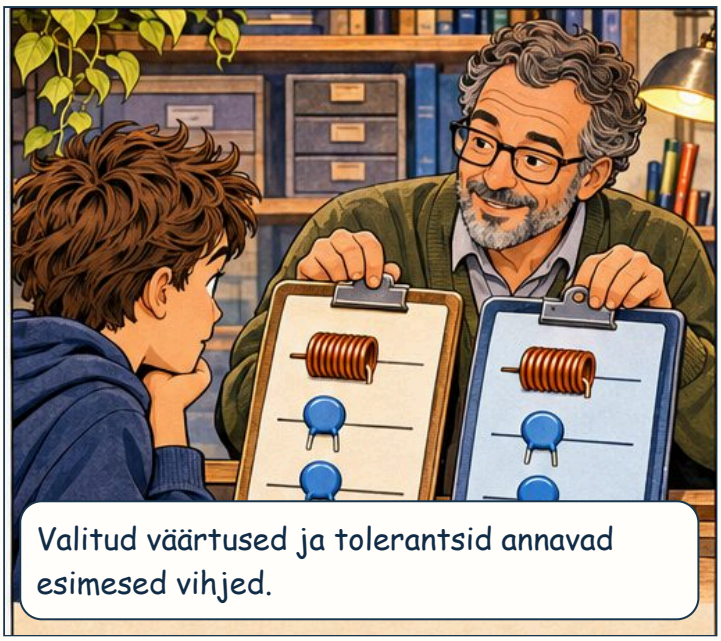


Noor märgib ka kuupäeva ja seadistuse.

# Kõrvalekalde mõistmine



Vaadeldud lõikesagedus võib arvutatust erineda.



Valitud väärtused ja tolerantsid annavad esimesed vihjed.



Uurida tasub ka kadusid, paigutust ja kalibreerimist.



Nad kontrollivad hüpoteese enne valemi süüdistamist.

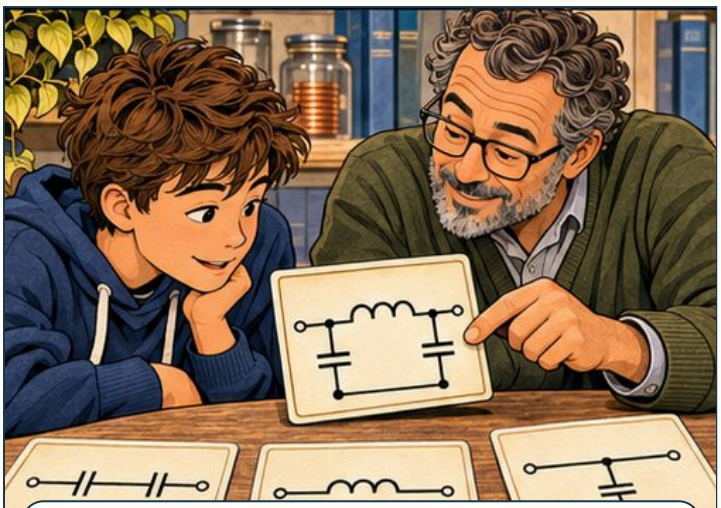


Erinev kõver ei selgita üksi oma põhjust.

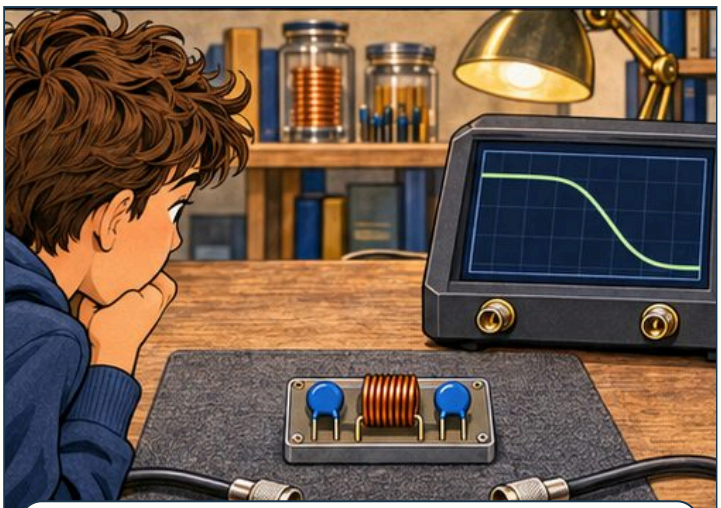


Noor muudab üllatuse uueks küsimuseks.

# Üks muudatus korraga



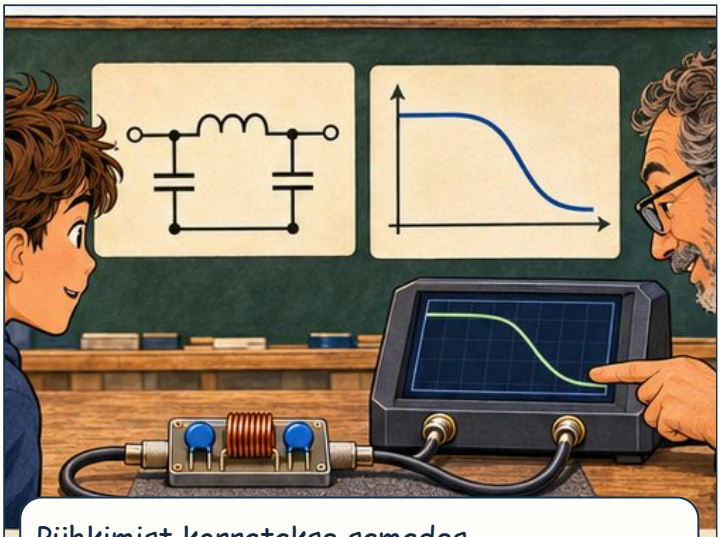
Nad valivad ühe hüpoteesi ja valmistavad ette põhjendatud muudatuse.



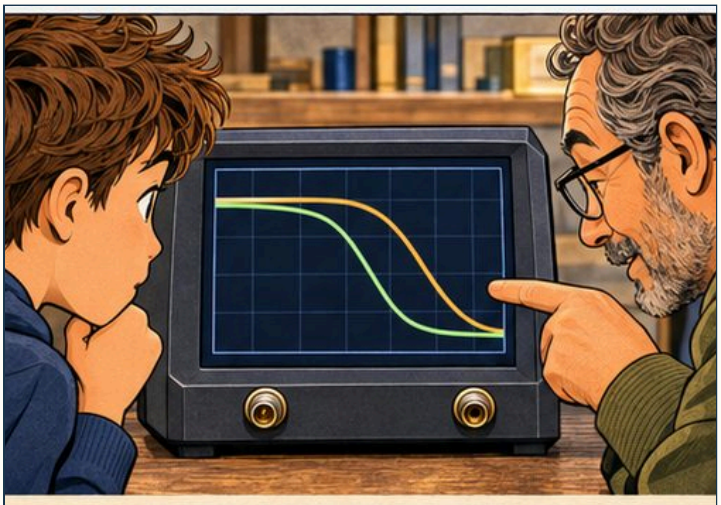
Enne sekkumist lülitatakse allikas välja ja moodul lahutatakse.



Henri teeb muudatuse ja kontrollib skeemi.



Pühkimist korratakse samades dokumenteeritud tingimustes.

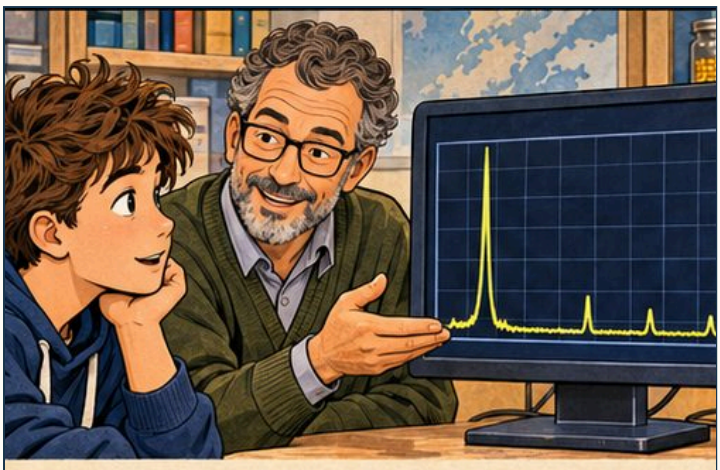


Nad võrdlevad vana ja uut kõverat.

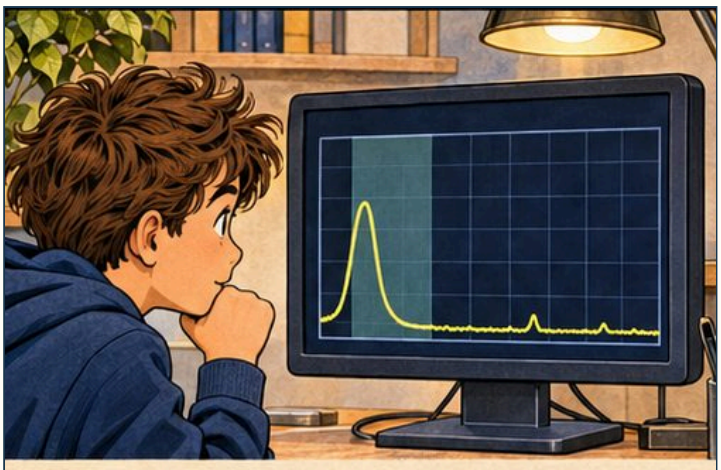


Meetod väldib mitme võimaliku põhjuse segiajamist.

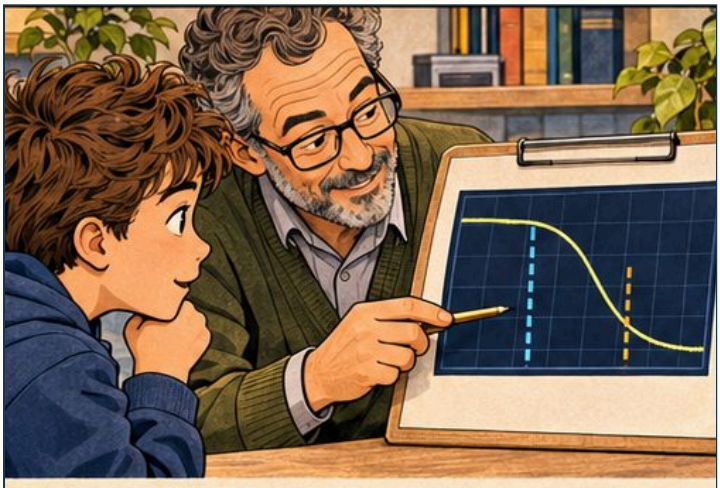
# Sumbuvusel on piirid



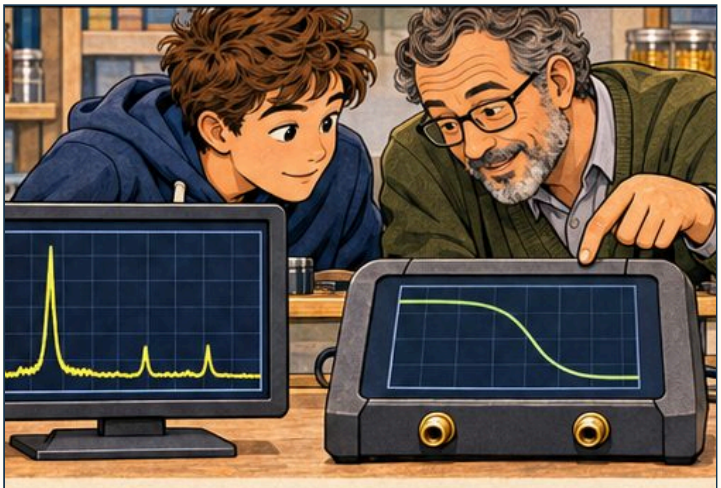
Madalpääsfilter ei kustuta kõiki soovimatuid komponente.



Pääsuribas asuvat komponenti summutatakse vähe.



Tõkestus sõltub sagedusest ja teostusest.



Täielik spektrikontroll nõuaks täiendavaid sobivaid mõõtmisi.



Filtri olemasolu ei tõesta jaama nõuetele vastavust.



Noor eristab kasulikku funktsiooni üldisest garantiist.

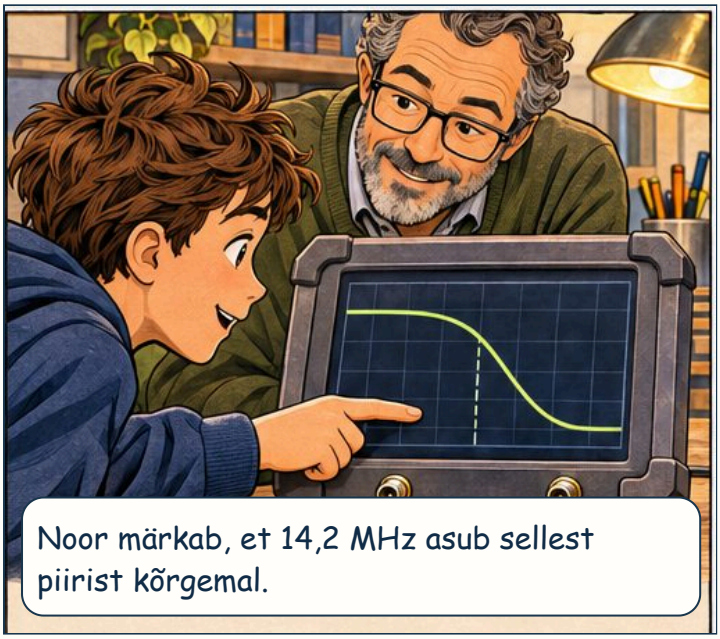
# Kasulik sagedus peab läbi pääsema



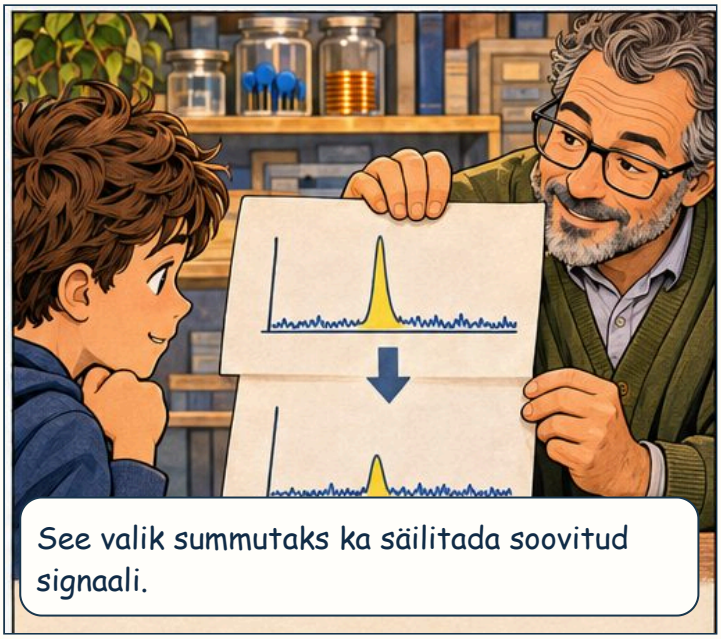
Mentor pakub lõpuks jaamajoonisel välja ühe lõksu.



Joonis ühendab 14,2 MHz nende 10 MHz lõikesagedusega.



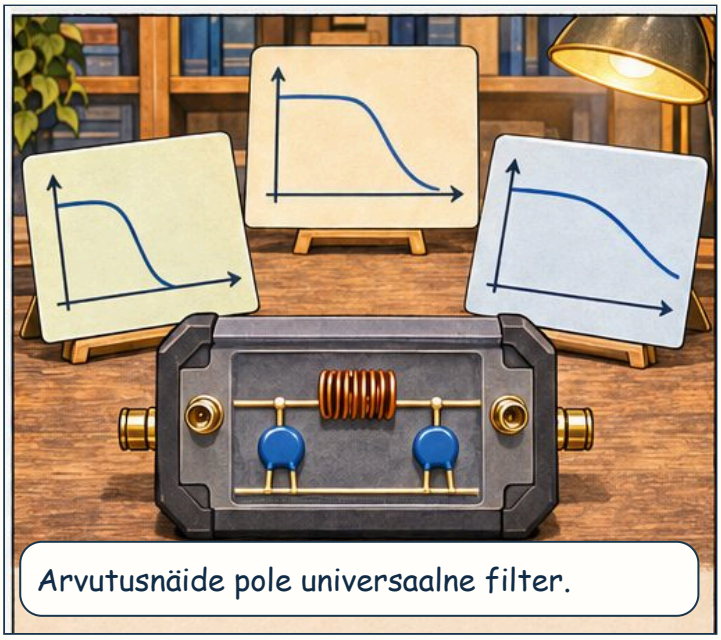
Noor märkab, et 14,2 MHz asub sellest piirist kõrgemal.



See valik summutaks ka säilitada soovitud signaali.



Enne kasutamist tuleb lähteülesanne uuesti läbi vaadata.



Arvutusnäide pole universaalne filter.

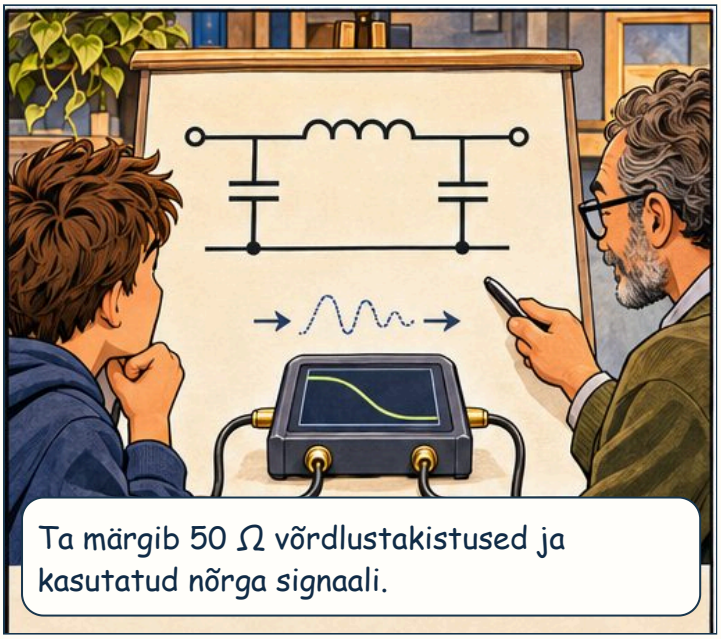
# Selgitus teistele



Lucas koondab vajaduse, skeemi, arvutused ja komponentide valiku.



Ta eristab ennustusi tegelikult vaadeldud tulemustest.



Ta märgib 50 Ω võrdlustakistused ja kasutatud nõrga signaali.



Ta säilitab kõverad, kalibreerimise ja katse piirangud.



Henri mängib külalist ning esitab viimase küsimuse.



Nüüd oskab noor selgitada iga tingimuse tähtsust.

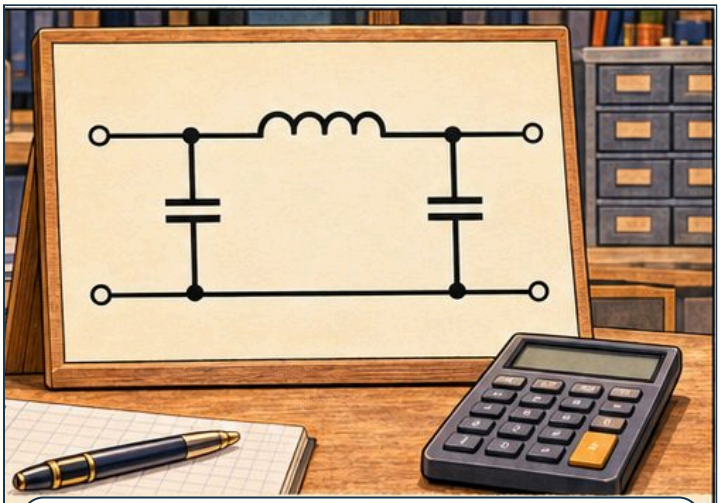
# Mõista, arvutada, mõõta



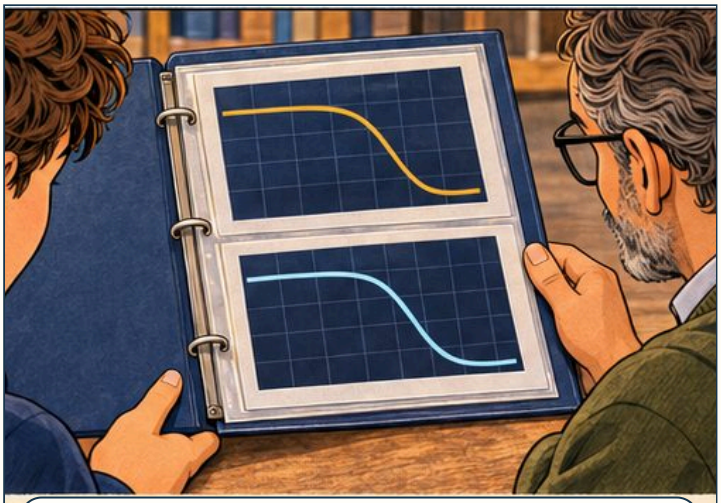
Kolm komponenti jõuavad tagasi õppekarpi.



Noor oskab nüüd siduda vajaduse filtri karakteristikuga.



Ta oskab arvutada seda Butterworthi π-filtrit ja kontrollida ühikuid.



Ta oskab ka mõõta, võrrelda ja uurida kõrvalekaldeid.



Märkmikus säilib meetod koos eelduste ja piirangutega.



Klubi järgmine avastus algab juba uue küsimusega.