ON4CRD

Bind 05

Beregning af filtre



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Juridiske meddelelser

Bind 05 · Beregning af filtre

Hjemmeside udgiver : Radio Club Durnal ON4CRD

Udgivelsesansvarlig : Radio Club Durnal ON4CRD's bestyrelse

https://on4crd.be

Juridiske meddelelser

Intellektuel ejendomsret

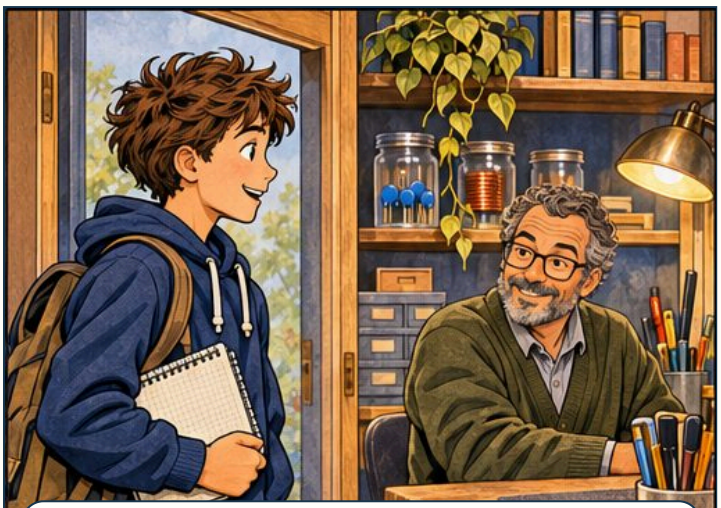
Tekster, billeder, dokumenter, logoer og materialer offentliggjort på siden forbliver deres respektive forfatteres eller klubbens ejendom. Enhver gengivelse eller genbrug skal respektere kilden, gældende rettigheder og enhver forfattertilladelse.

Ansvar

Klubben arbejder på at offentliggøre nyttig og verificeret information, men garanterer ikke fravær af fejl, udeladelser eller afbrydelser. Tekniske eller lovgivningsmæssige oplysninger skal kontrolleres mod officielle kilder, når de understøtter en beslutning.

Illustrationer skabt med hjælp fra kunstig intelligens.

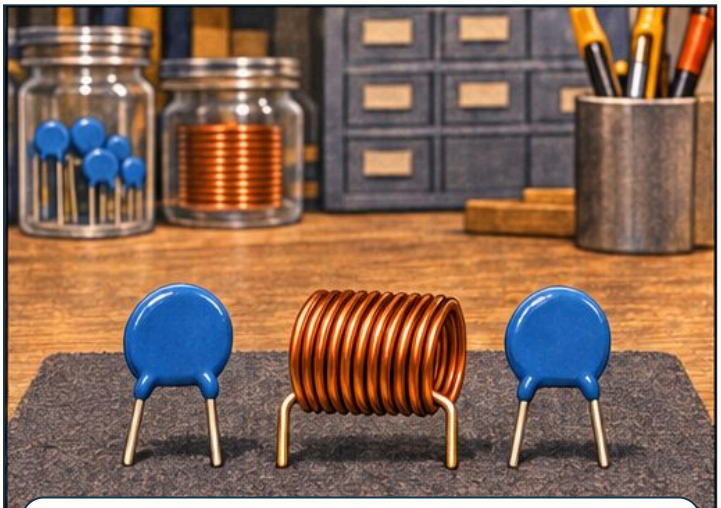
En ny opgave



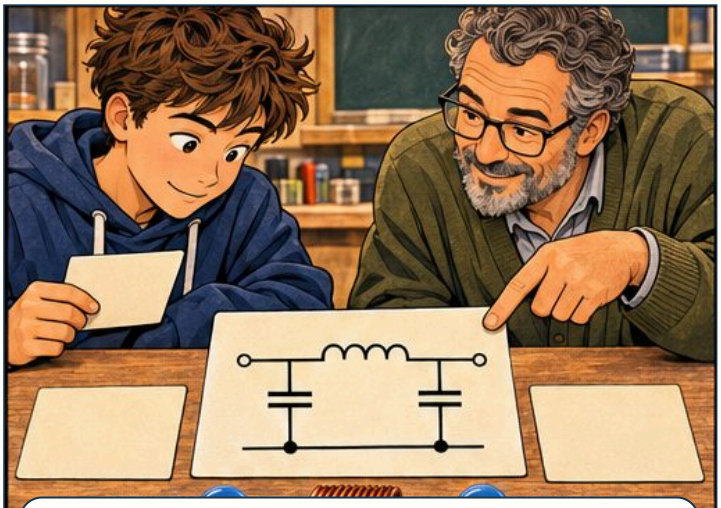
I klubben finder Lucas sin notesbog efter elværkstedet.



Henri forbereder en demonstration af signalkvalitet.



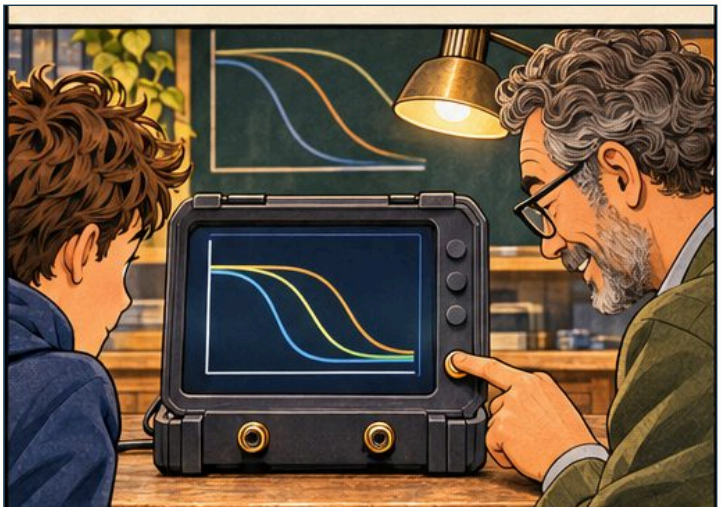
På bordet ligger to kondensatorer og en spole.



Opgaven er at forstå, beregne og måle et lavpasfilter.

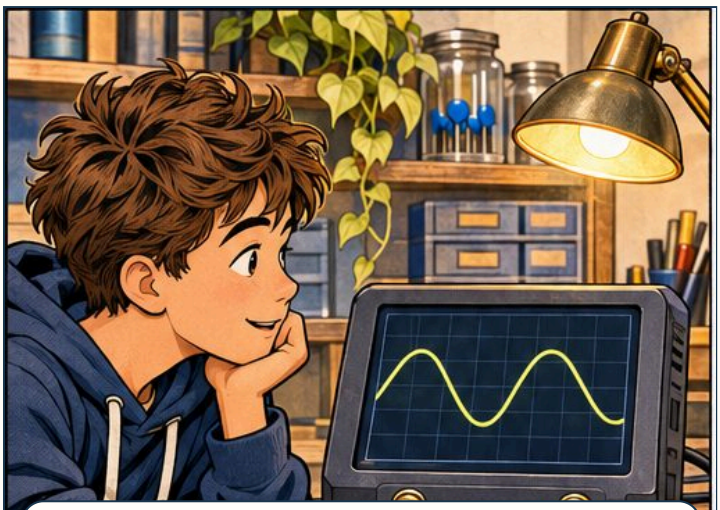


Den unge vil vide, hvad tre komponenter kan ændre.

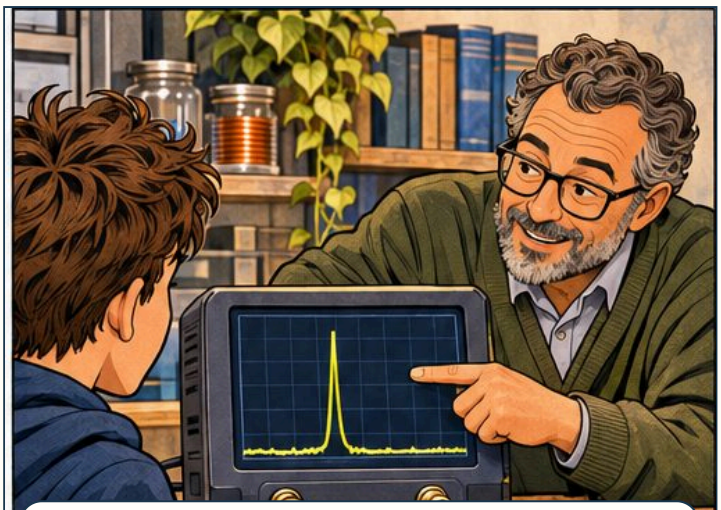


Først ser de på, hvad et signal indeholder.

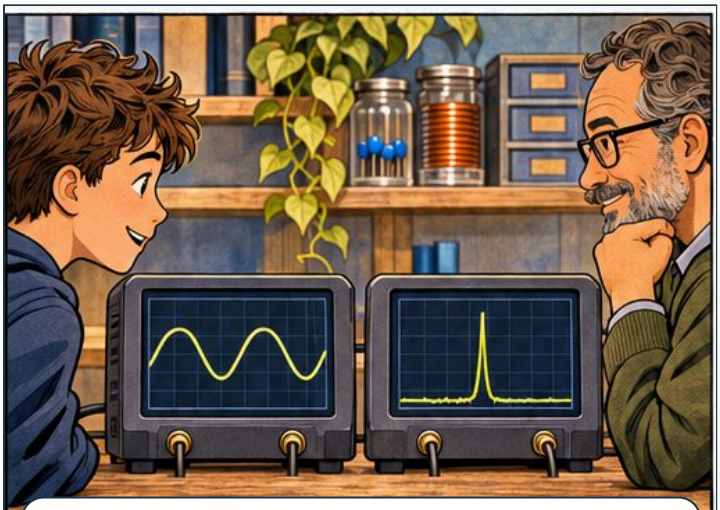
Signalet og dets portræt



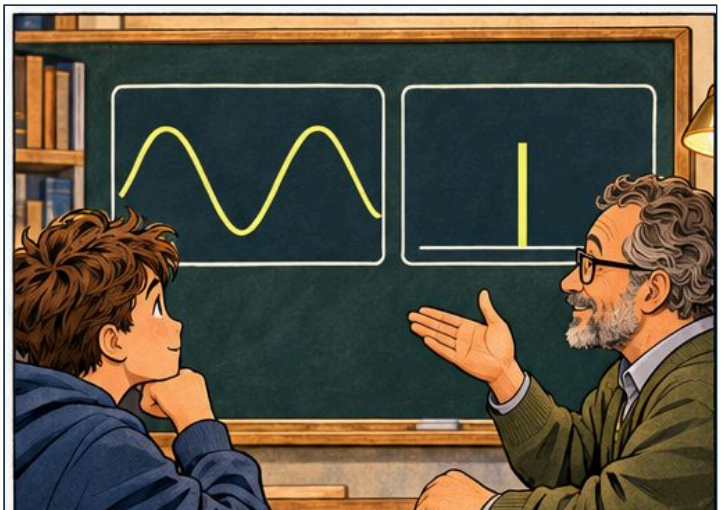
En tidskurve viser, hvordan et signal ændrer sig.



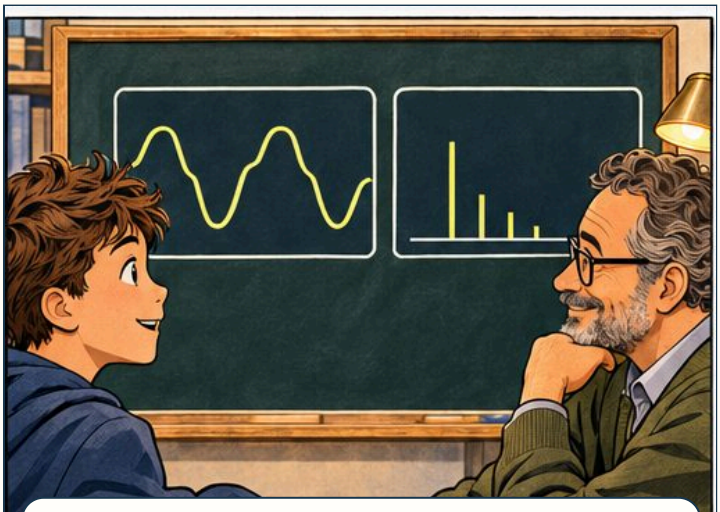
Et spektrum viser dets komponenter efter frekvens.



De to visninger beskriver samme signal på forskellige måder.



En ideel sinus har kun én frekvens.

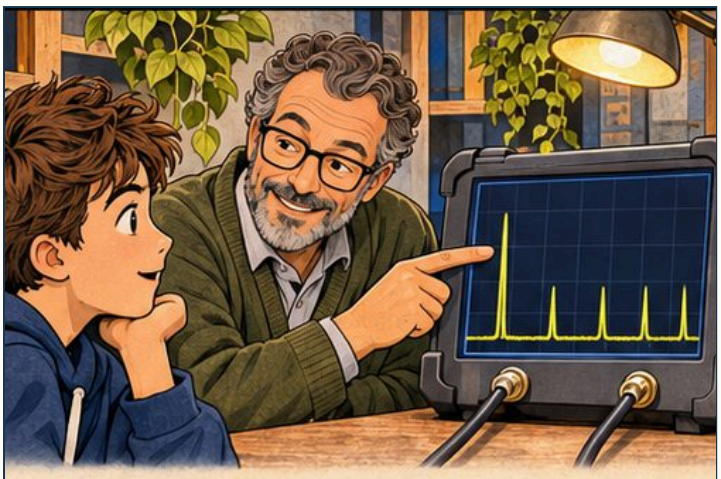


En forvrænget kurve kan indeholde flere komponenter.



Den unge opdager et billede, han ikke kunne læse før.

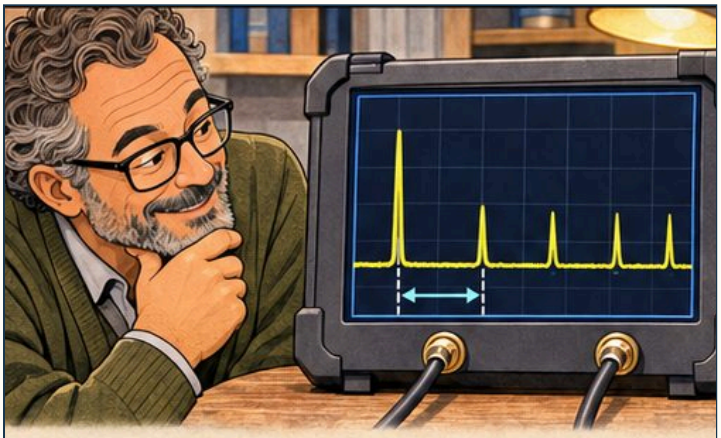
De harmoniske viser sig



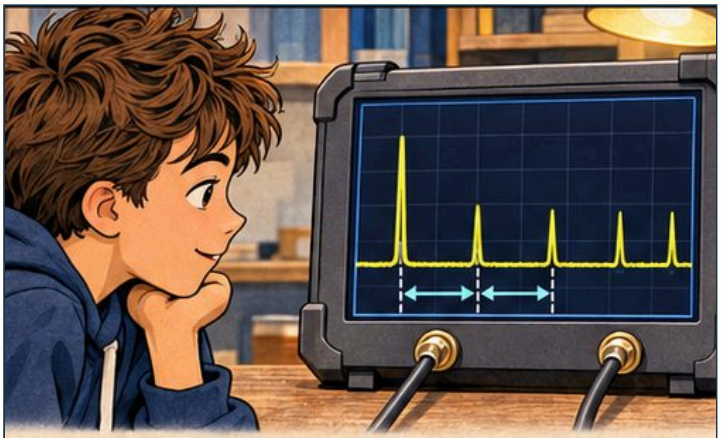
Grundfrekvensen giver det første holdepunkt for et periodisk signal.



Dets harmoniske er heltallige multipla af denne frekvens.



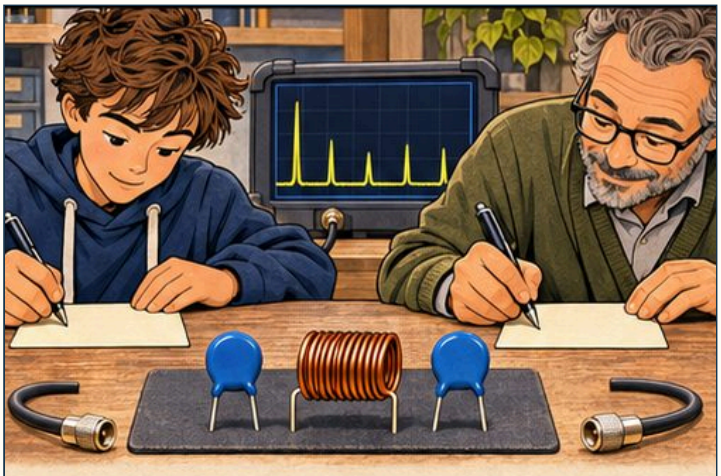
Den anden harmoniske ligger ved den dobbelte frekvens.



Den tredje ligger ved den tredobbelte frekvens.

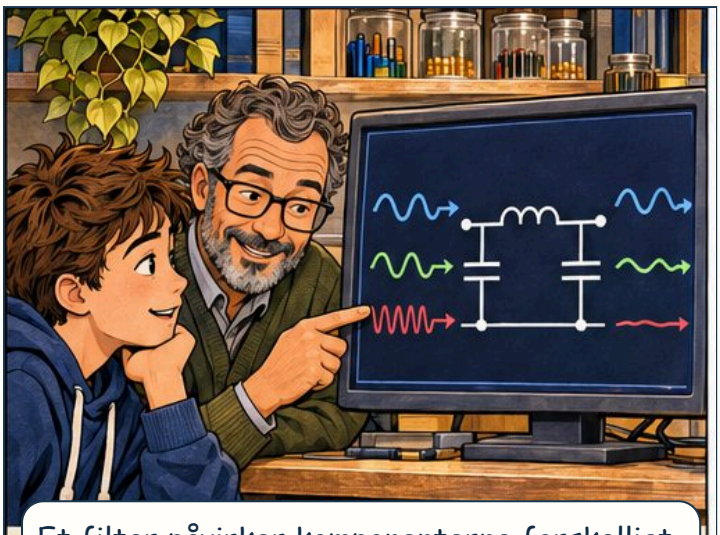


Alle uønskede komponenter er dog ikke harmoniske.

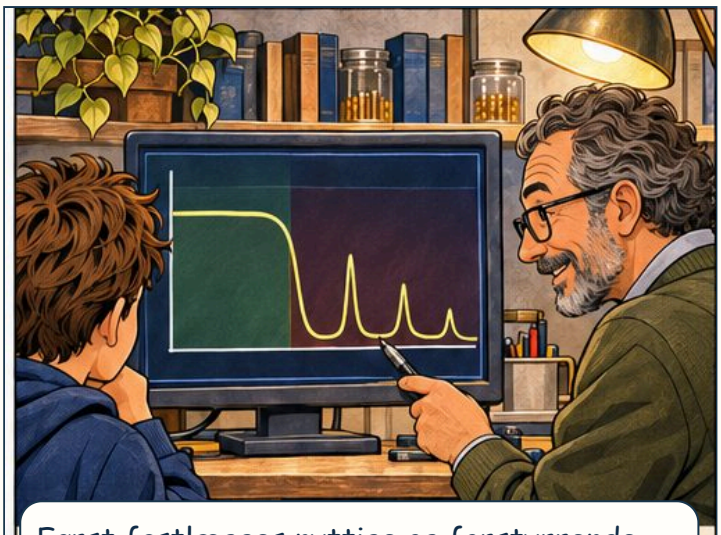


Filteret skal opfylde et præcist defineret behov.

Vælg, hvad der skal bevares



Et filter påvirker komponenterne forskelligt afhængigt af deres frekvens.



Først fastlægges nyttige og forstyrrende frekvenser.



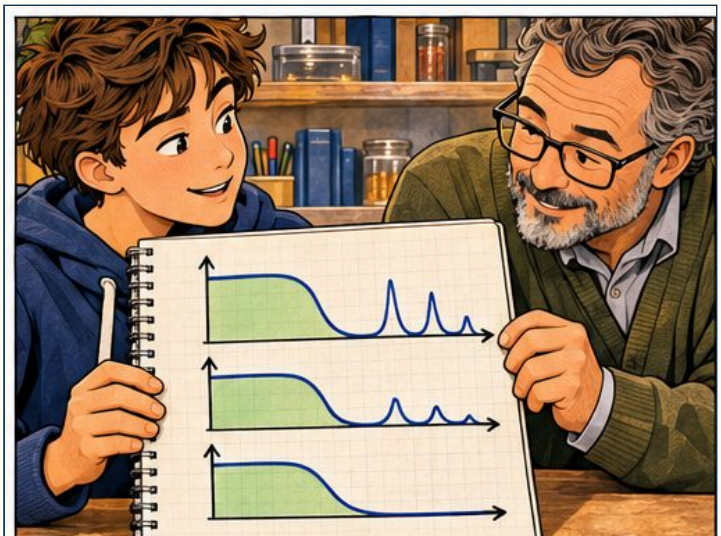
Man fastlægger også den ønskede dæmpning.



Uden disse mål giver komponentberegninger ikke megen mening.

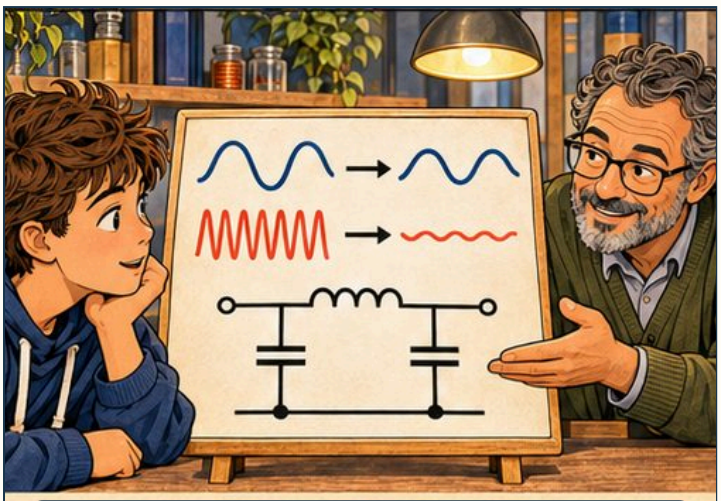


Den unge indrammer det nyttige område i et eksempelspektrum.



Hans notesbog bliver til en kravspecifikation.

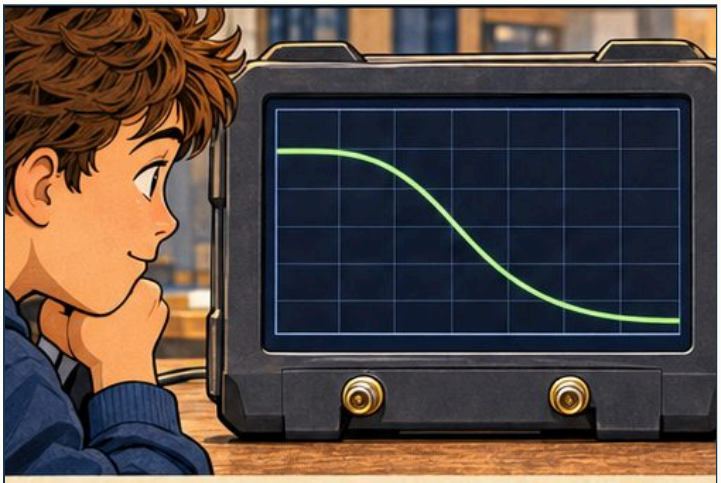
Valget af lavpasfilter



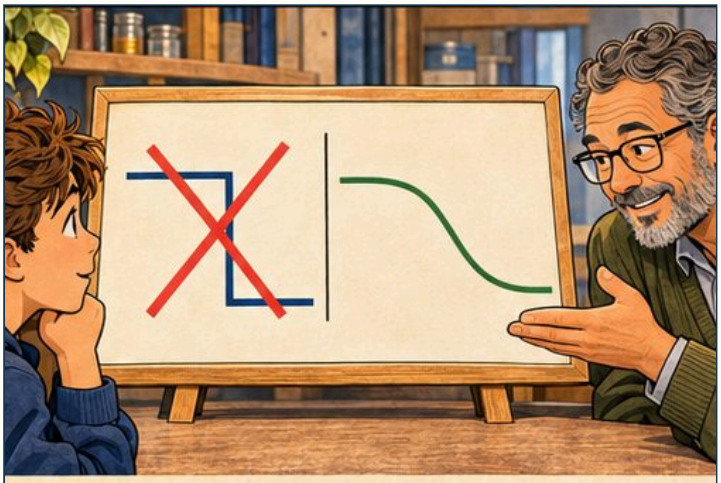
Et lavpasfilter overfører lave frekvenser bedre end høje.



Dets pasbånd ligger ved de lave frekvenser.



Længere oppe stiger dæmpningen gradvist.



En virkelig overgang er aldrig en perfekt lodret mur.



Denne type passer til dagens demonstration.



Den unge tegner en skråning frem for en barriere.

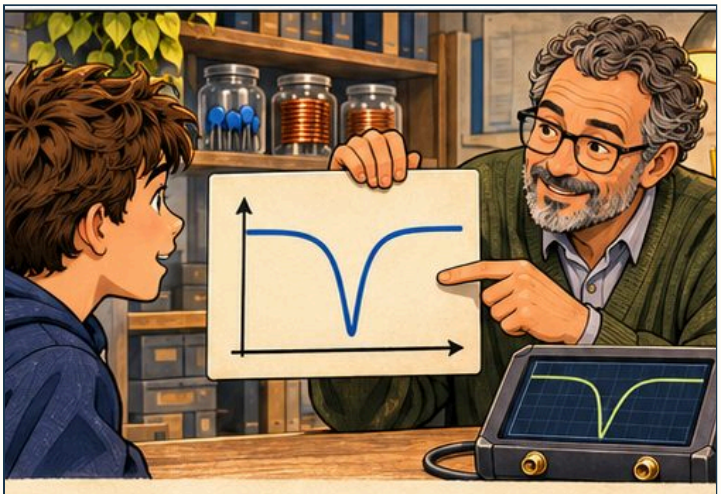
Andre mulige veje



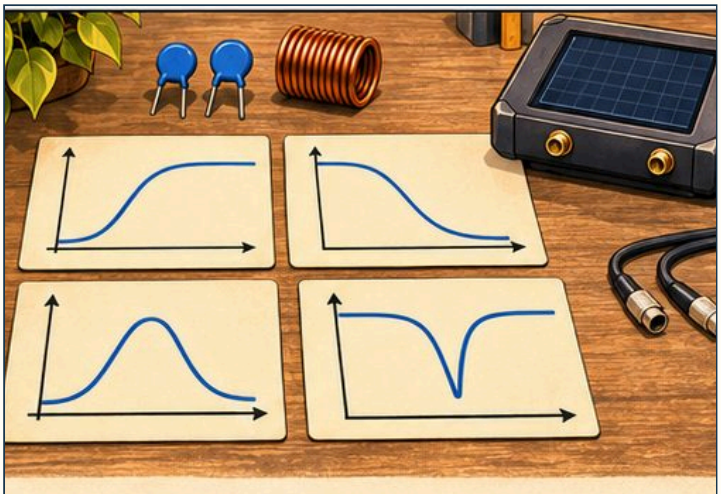
Et højpasfilter dæmper lave frekvenser og bevarer høje.



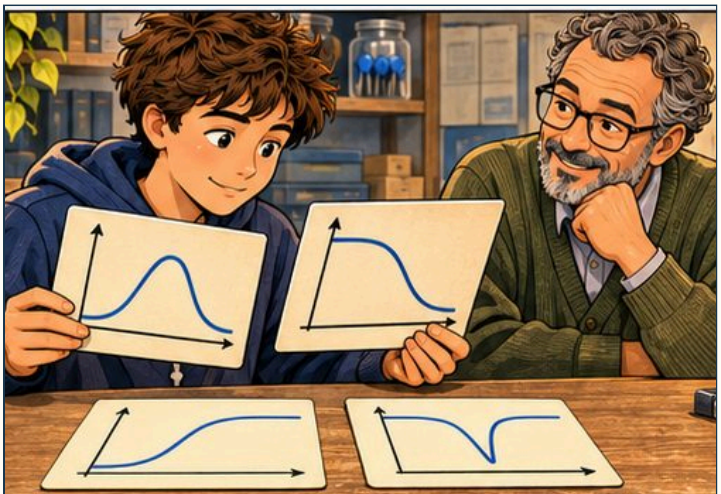
Et båndpasfilter fremhæver et område mellem to grænser.



Et båndstopfilter dæmper derimod et valgt område.



Disse familier opfylder forskellige behov.

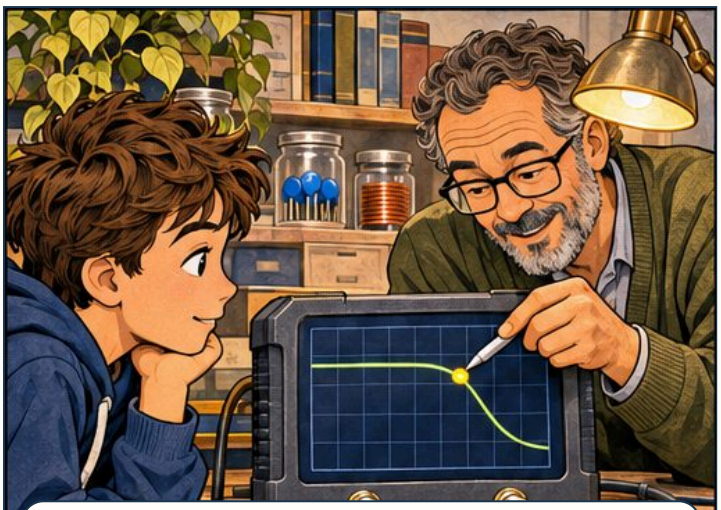


Navnet beskriver en frekvensgang, ikke en universel kvalitet.



Den unge gemmer tre kort til et senere værksted.

En grænse, der stadig slipper igennem



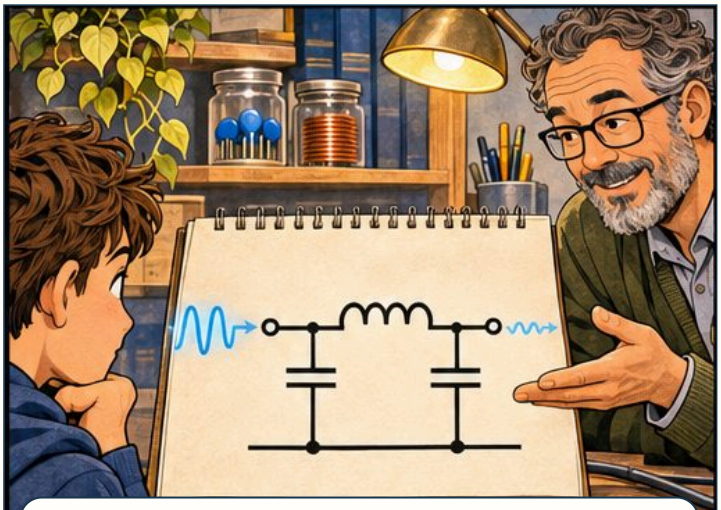
Grænsefrekvensen angiver her et referenceniveau.



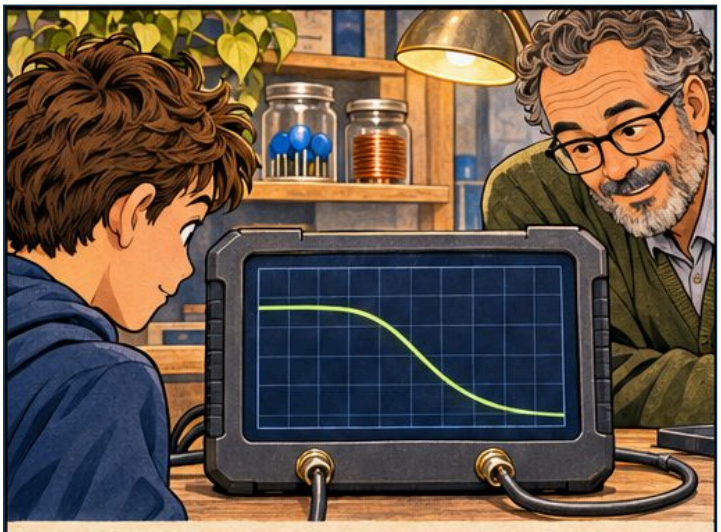
Den betyder ikke, at signalet pludselig forsvinder.



For deres ideelle Butterworth-filter svarer den til cirka −3 dB.



Filteret overfører altså stadig energi ved denne frekvens.



Over den vil dæmpningen fortsat stige.

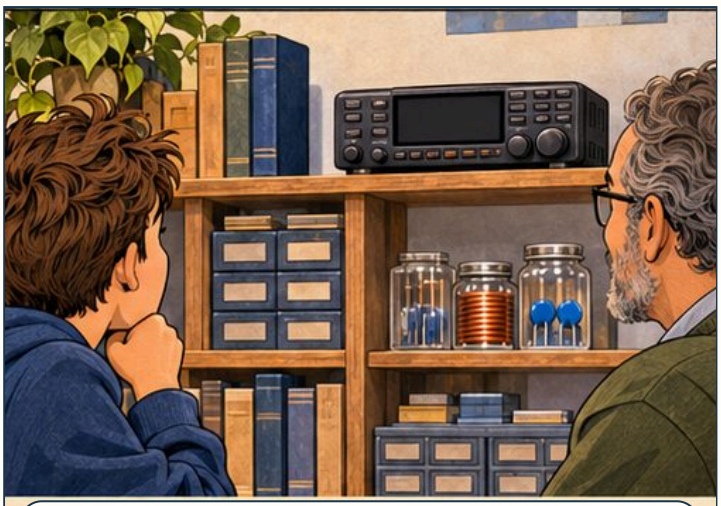


Præciseringen forebygger den første misforståelse.

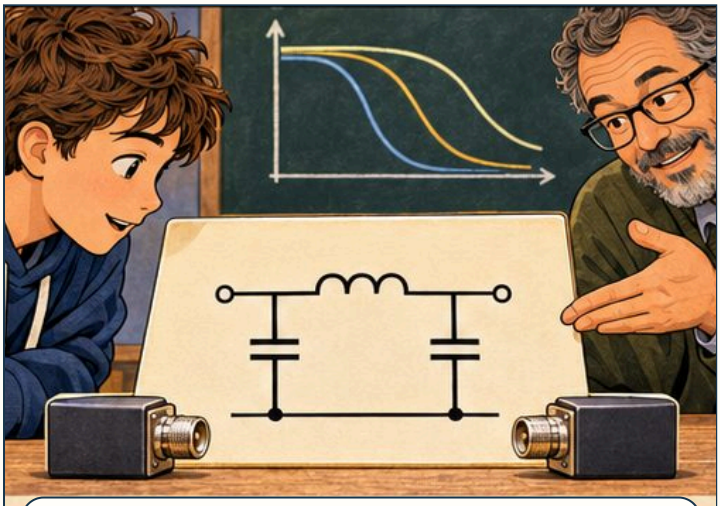
Et laboratorieeksempel



De vælger en teoretisk grænsefrekvens på 10 MHz.



Værdien bruges til læring og fastlægger ingen sendefrekvens.



Kildens og belastningens referenceimpedans bliver 50 Ω.



Opstillingen undersøges på bordet med et svagt signal.



Ingen antenne eller sender bliver tilsluttet.

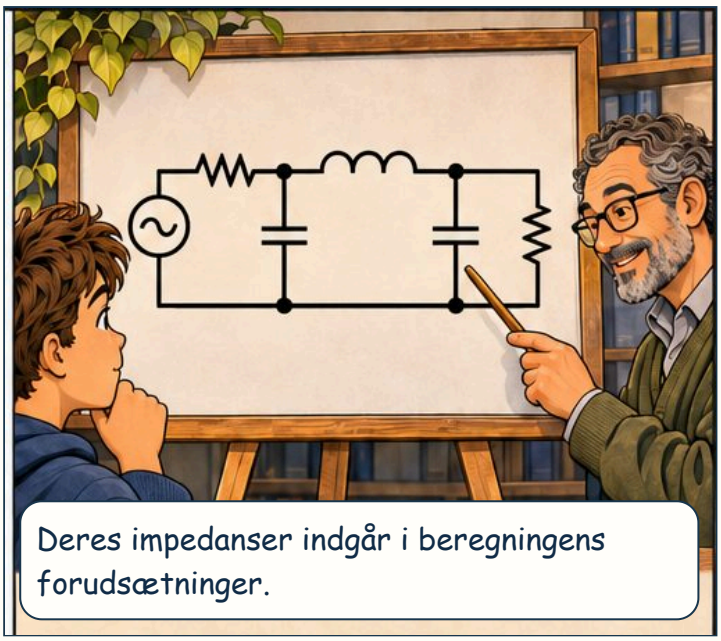


Målet er en målbar frekvensgang, ikke en radioforbindelse.

Hvorfor angive 50 ohm?



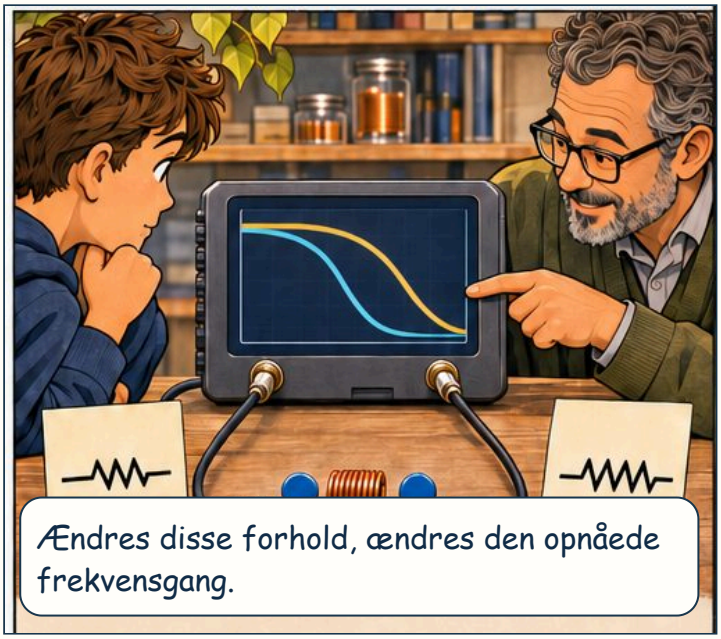
Et filter arbejder mellem en kilde og en belastning.



Deres impedanser indgår i beregningens forudsætninger.



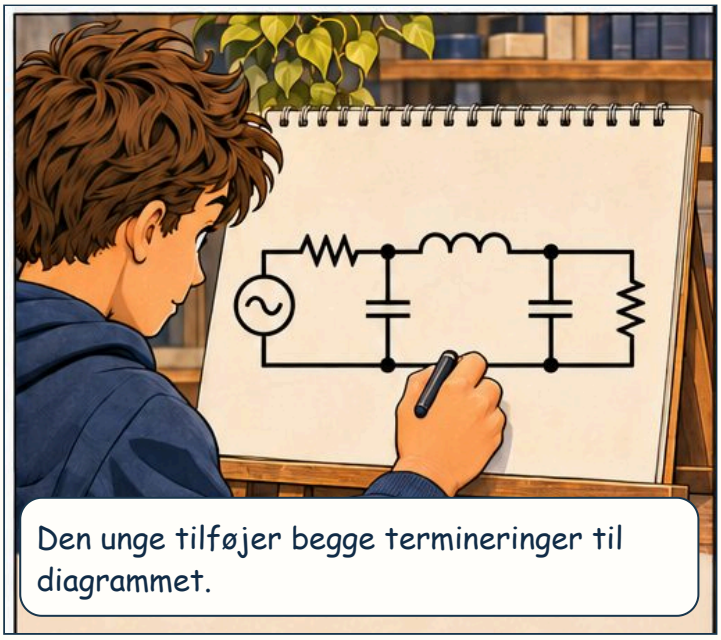
Her er hver ideelt resistiv og lig med 50 Ω.



Ændres disse forhold, ændres den opnåede frekvensgang.

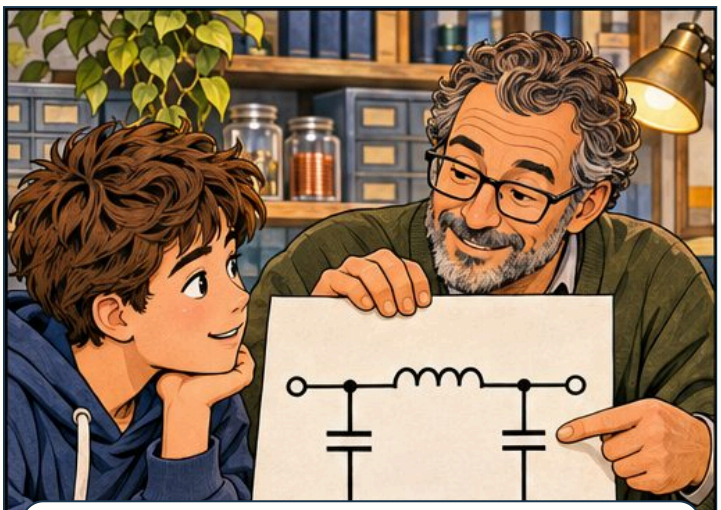


Det er derfor ikke nok at kopiere tre værdier.



Den unge tilføjer begge termineringer til diagrammet.

Modellen og opstillingen



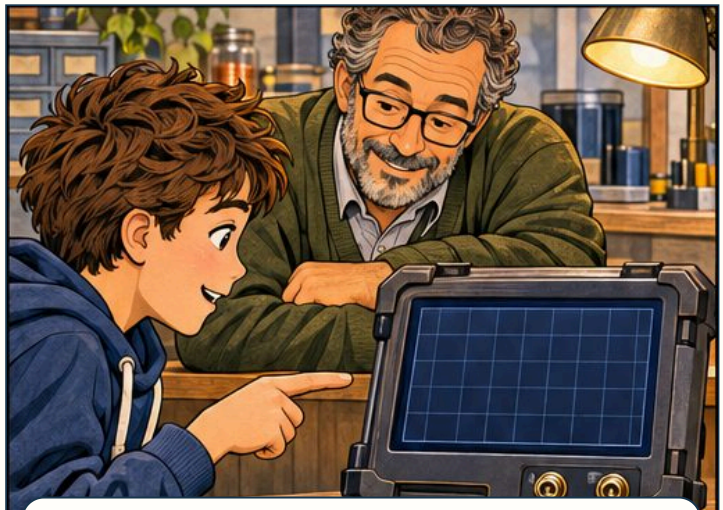
Beregningen begynder med ideelle komponenter uden tab.



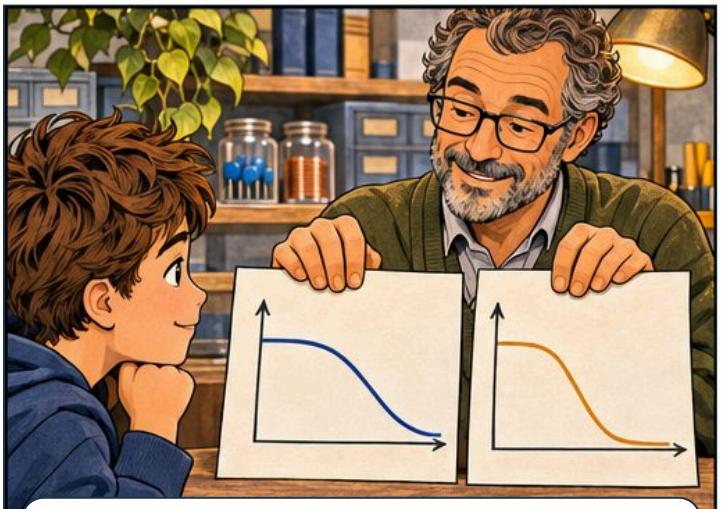
Den virkelige opstilling har modstand og parasitiske virkninger.



Modellen giver en første forventet frekvensgang.



Målinger kan derefter undersøge forskellene.

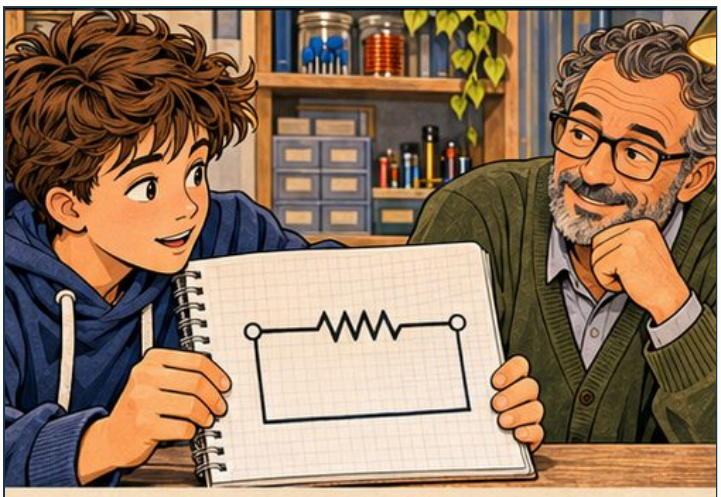


Forveksles forventning og resultat, bliver afvigelser svære at forstå.

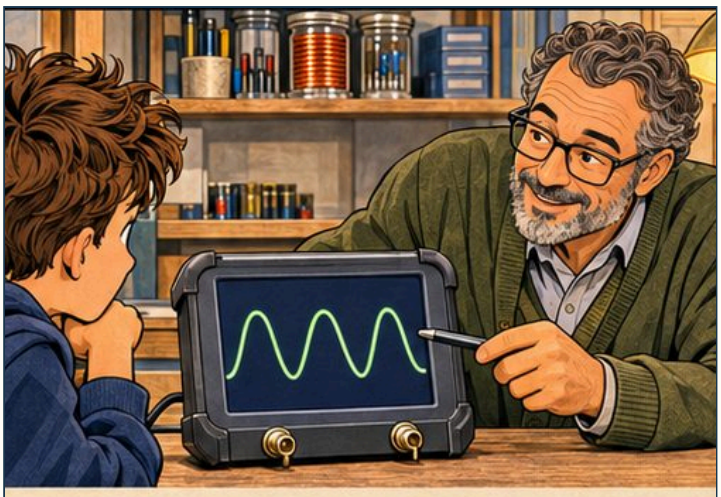


Notesbogen reserverer et særskilt sted til hver.

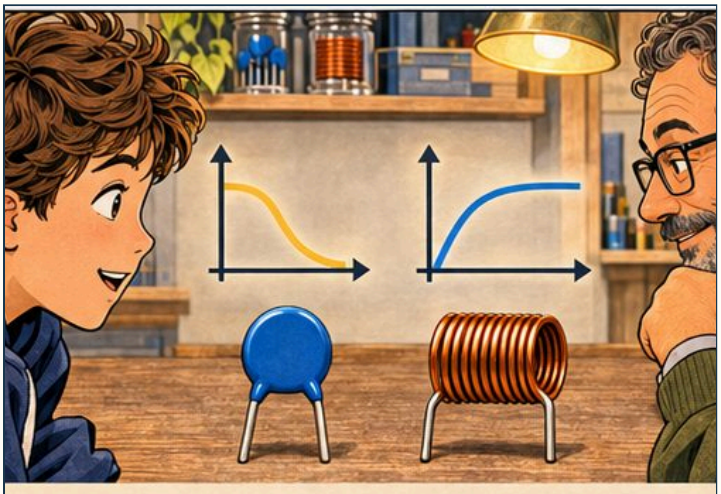
En modstand er ikke længere nok



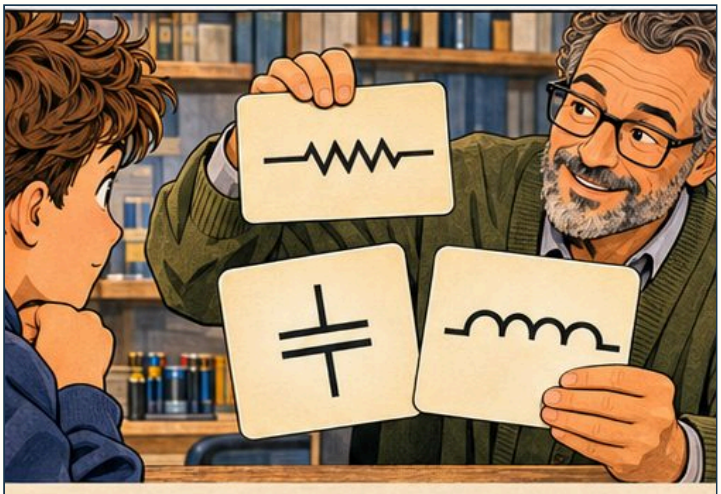
Forrige bind forbandt spænding, strøm og modstand ved jævnstrøm.



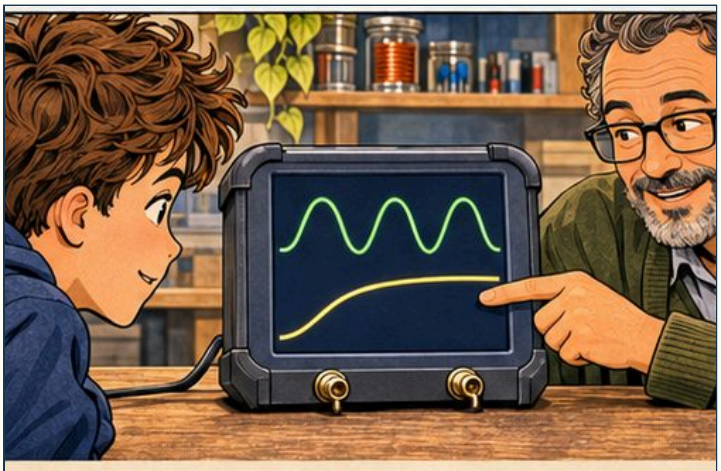
Her varierer signalet hurtigt, og frekvensen har betydning.



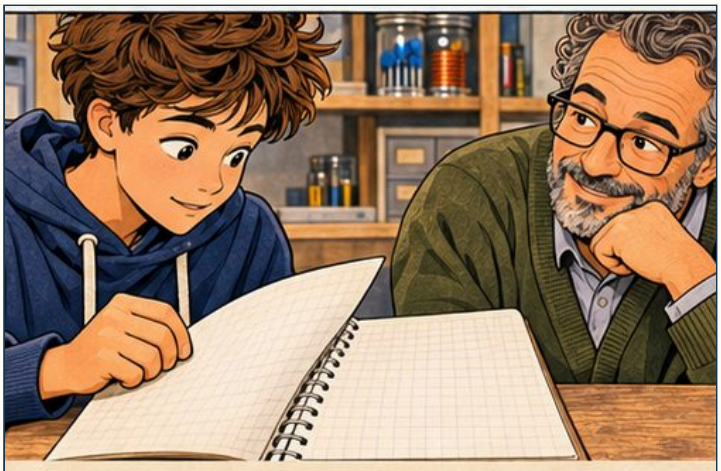
Kondensatorer og spoler giver en frekvensafhængig reaktans.



Denne reaktans er ikke en almindelig modstand.



Impedans beskriver mere generelt den elektriske opførsel ved vekselstrøm.

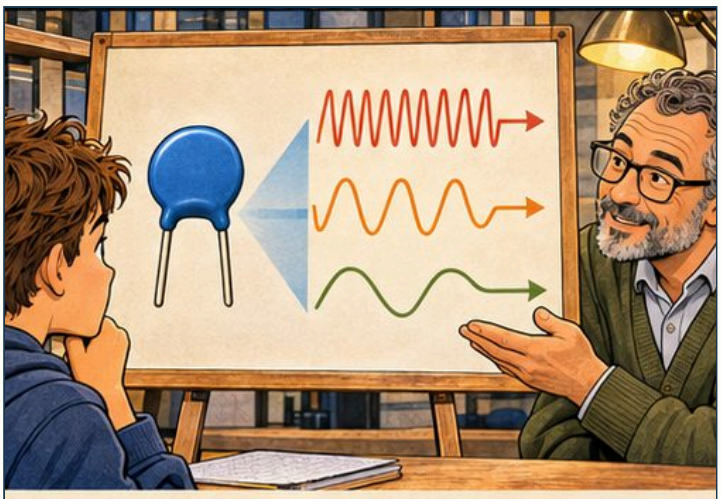


Den unge forstår, hvorfor en ny model er nødvendig.

Kondensatorens rolle



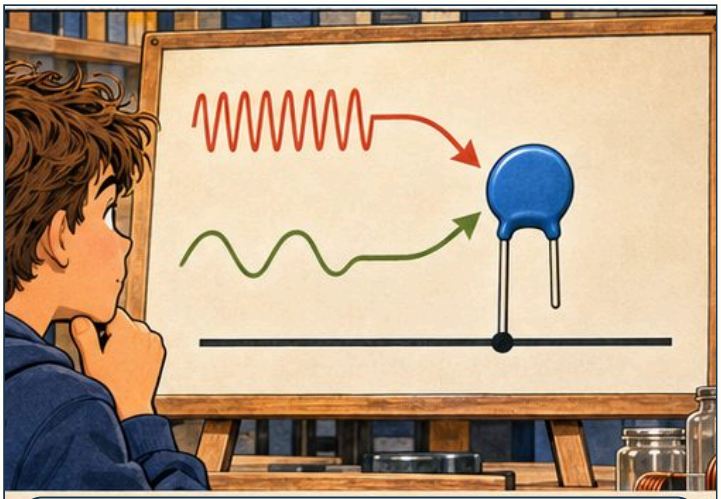
Kapacitans betegnes C og måles i farad, F.



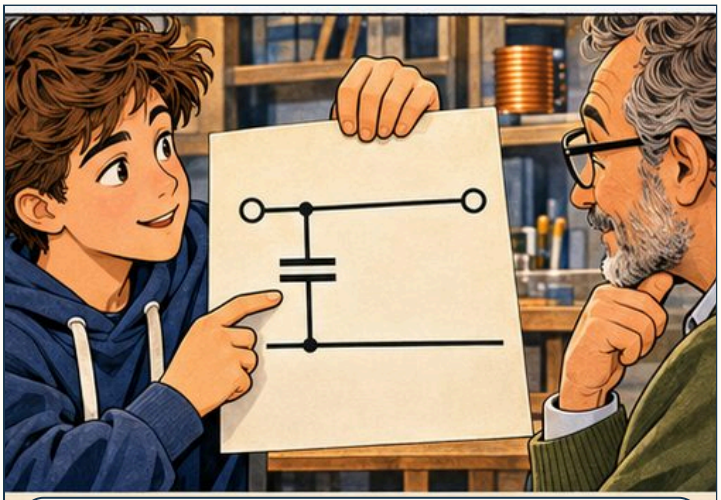
For en ideel kondensator falder reaktansen, når frekvensen stiger.



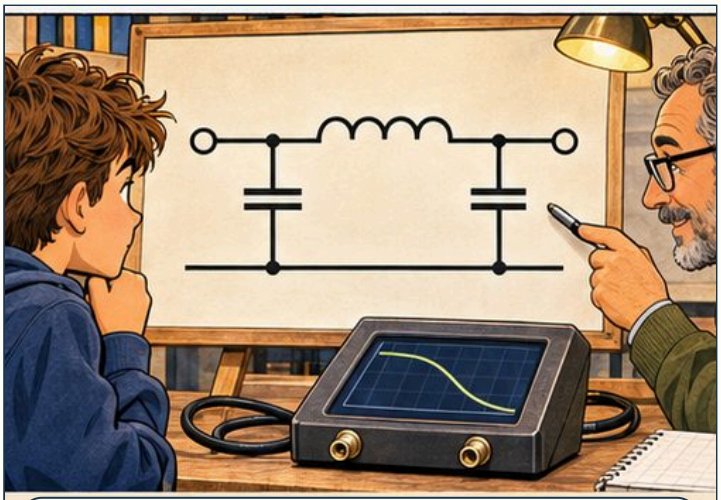
Dens størrelse er Xc = 1/(2πfC).



Ved samme kapacitans møder høje frekvenser mindre reaktans.



I deres filter forbindes kondensatorerne til fælles stel.

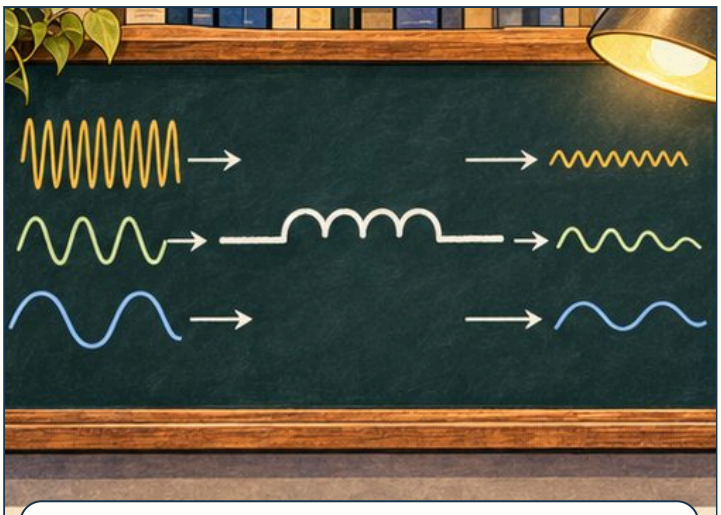


Deres rolle afhænger også af resten af kredsløbet.

Spolens rolle



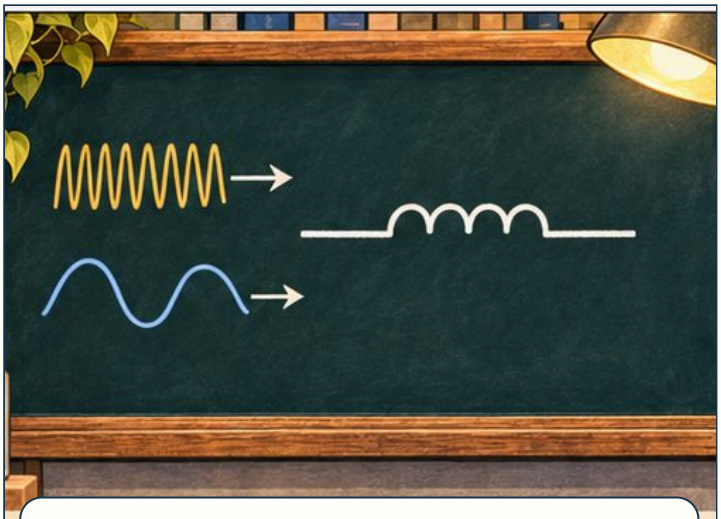
Induktans betegnes L og måles i henry, H.



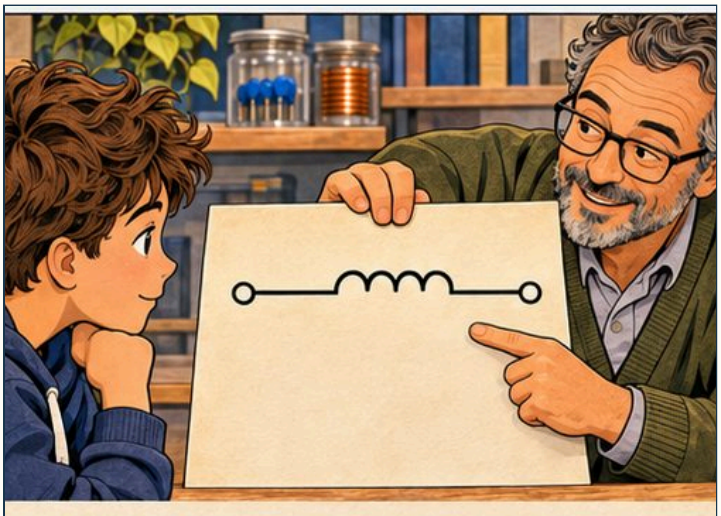
For en ideel spole stiger reaktansen med frekvensen.



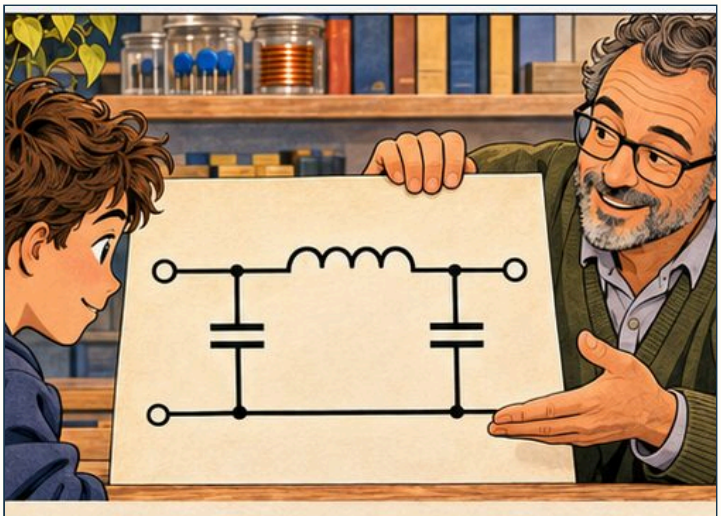
Dens størrelse er XL = 2πfL.



Ved samme induktans møder høje frekvenser større reaktans.

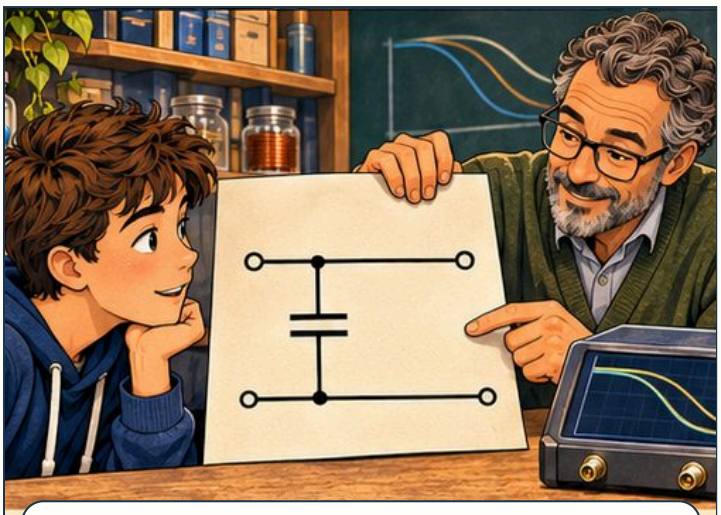


I deres filter sidder spolen i signalvejen.

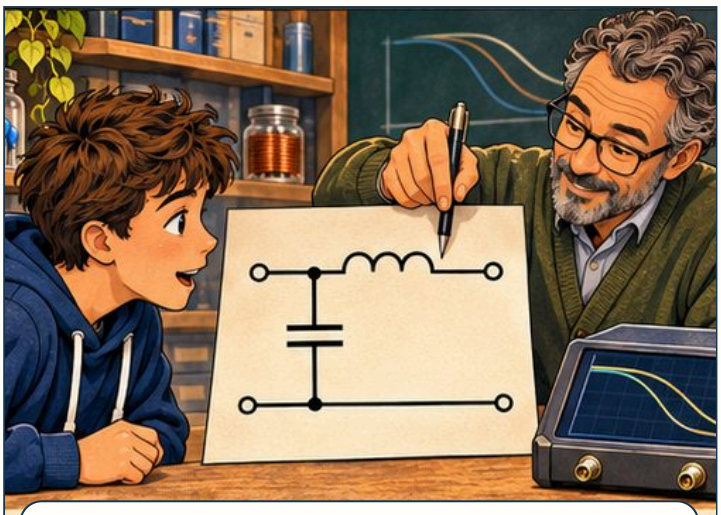


De to komponenttyper vil arbejde sammen.

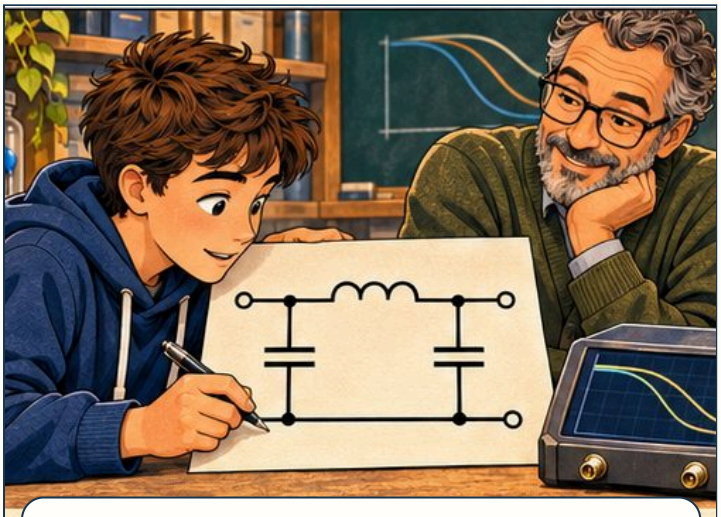
Diagrammet får form som π



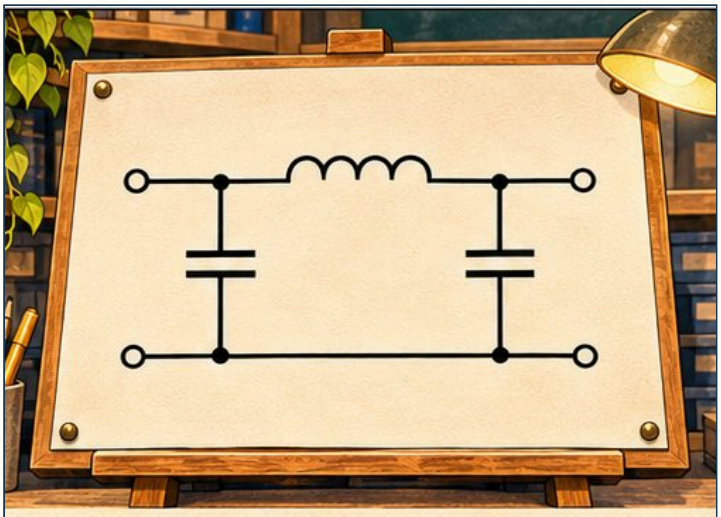
Indgangen forbindes til en første kondensator til stel.



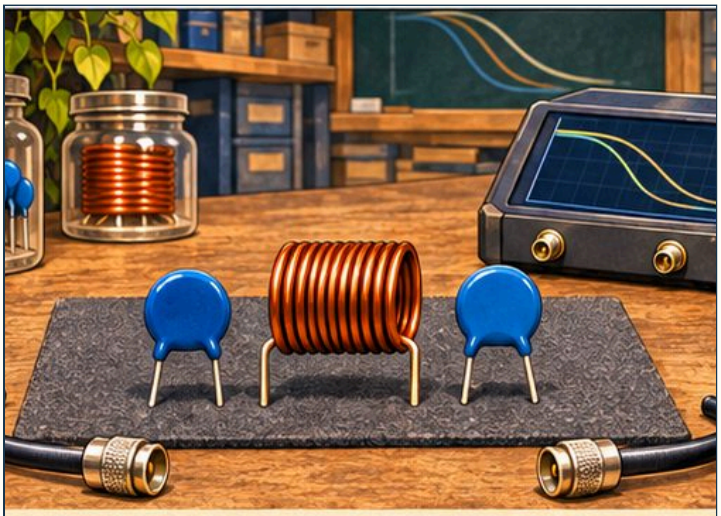
En spole forbinder derefter indgang og udgang i serie.



En anden kondensator forbinder udgangen med samme stel.



To grene går ned på hver sin side af spolen.



Opstillingen ligner det græske bogstav π.

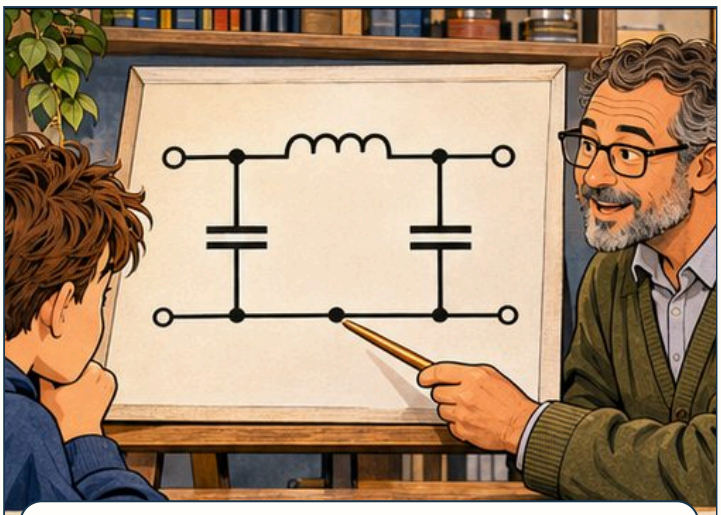


Den unge følger hver forbindelse med sin blyant.

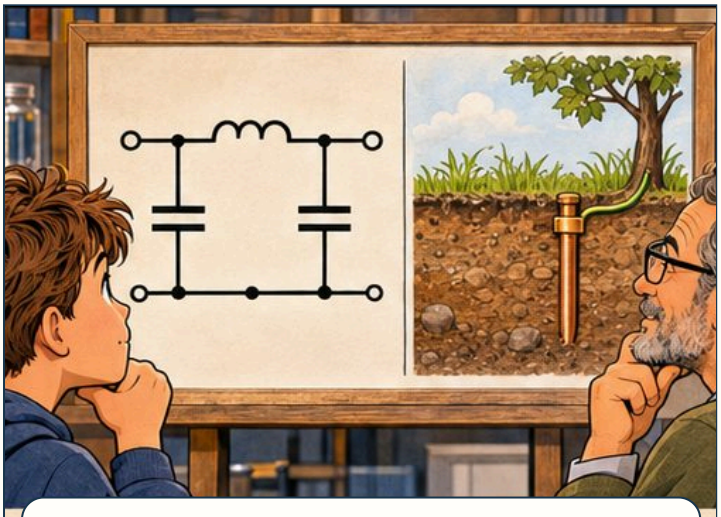
Stel i diagrammet



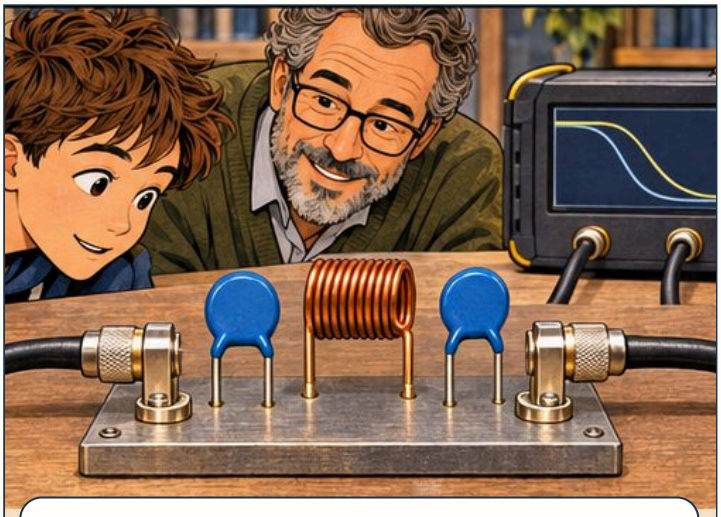
Begge kondensatorer deler en fælles elektrisk reference.



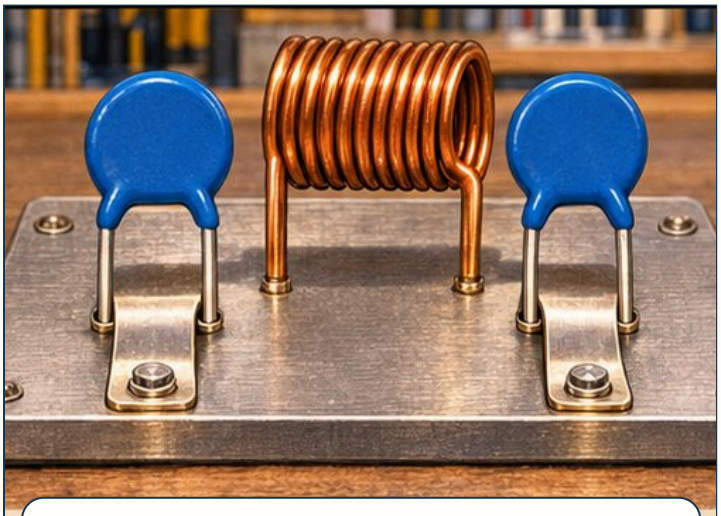
Stelsymbolet repræsenterer her denne reference i kredsløbet.



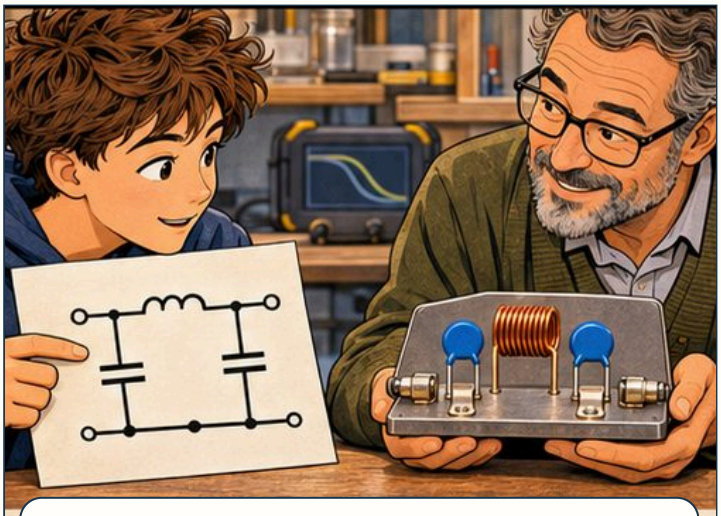
Det betyder ikke automatisk en forbindelse til jord.



Koaksialkablernes skærme forbindes til stel som planlagt.



En kort forbindelse begrænser visse parasitiske virkninger.

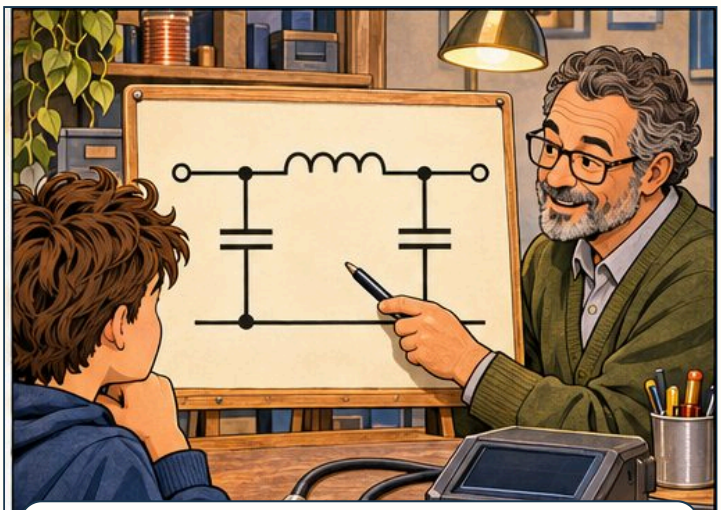


Den unge skelner mellem symbolet og den konkrete udførelse.

Tre elementer, én orden



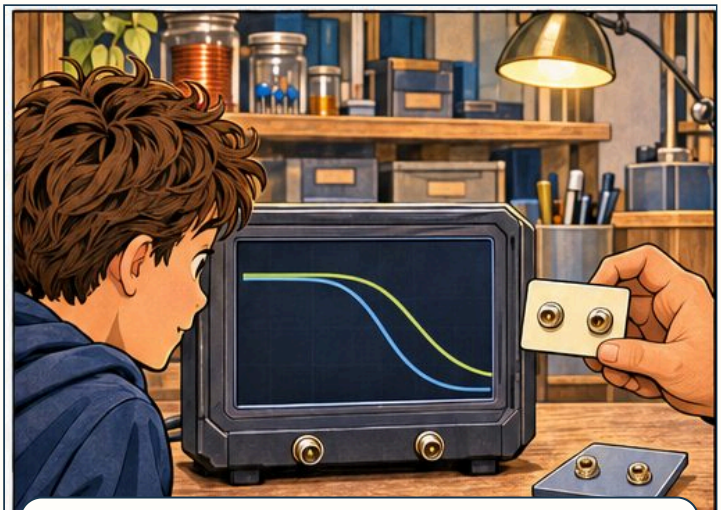
Dette ideelle netværk har tre reaktive elementer: C, L og C.



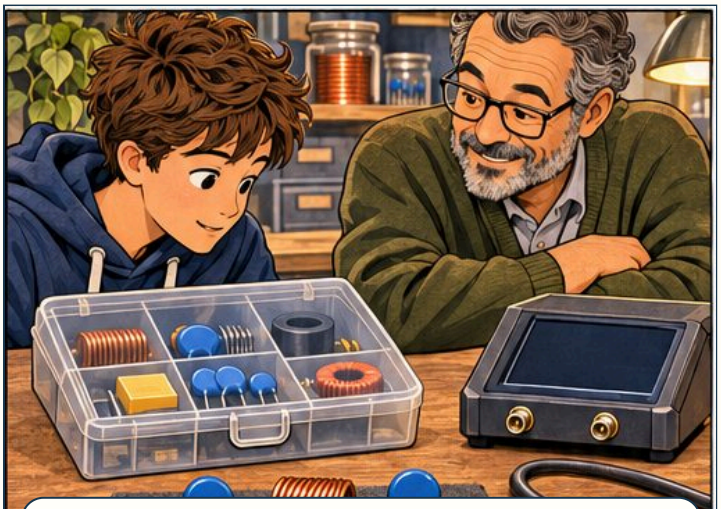
Her danner de et lavpasfilter af tredje orden.



Ordenen beskriver blandt andet modellens hældning langt fra grænsen.



En forkert impedans ville dog ændre frekvensgangen.



Tilfældige ekstra komponenter skaber ikke det ønskede filter.

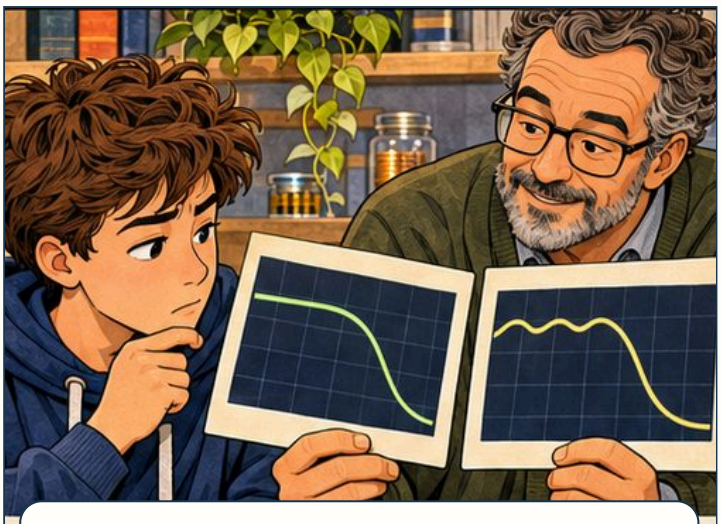


Diagrammets form skal passe til beregningen.

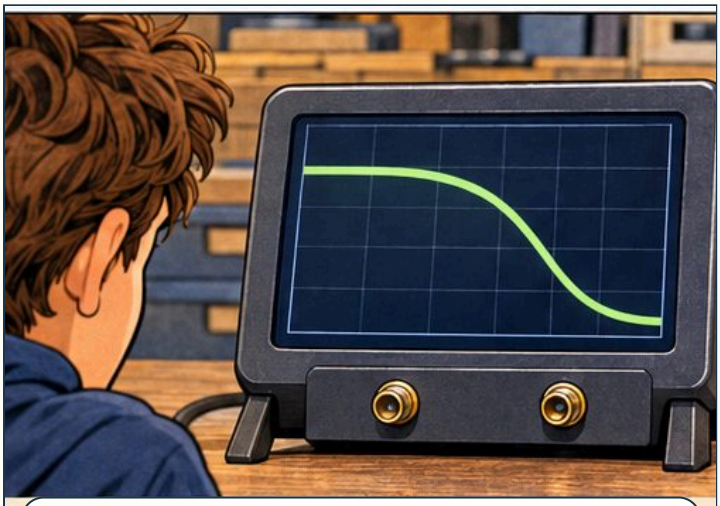
Hvorfor Butterworth?



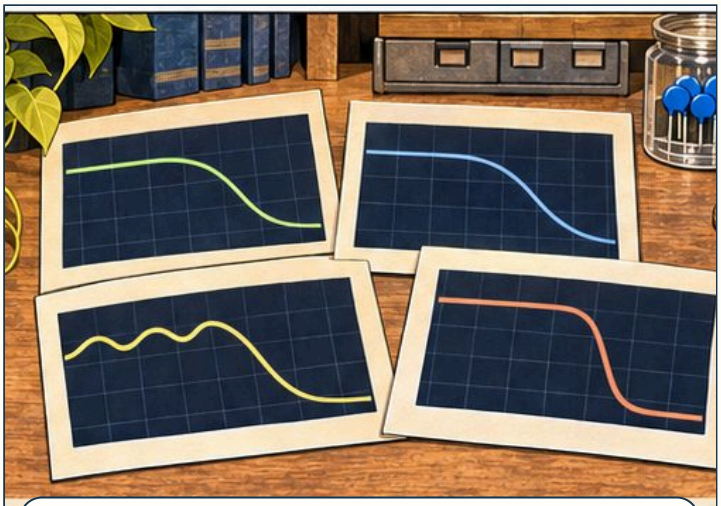
Butterworth-frekvensgangen er maksimalt flad i pasbåndet.



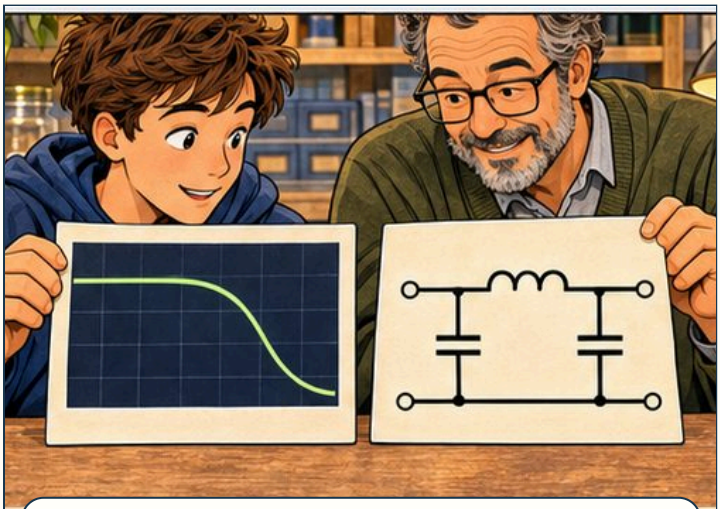
Den ideelle model har ingen bølger i dette bånd.



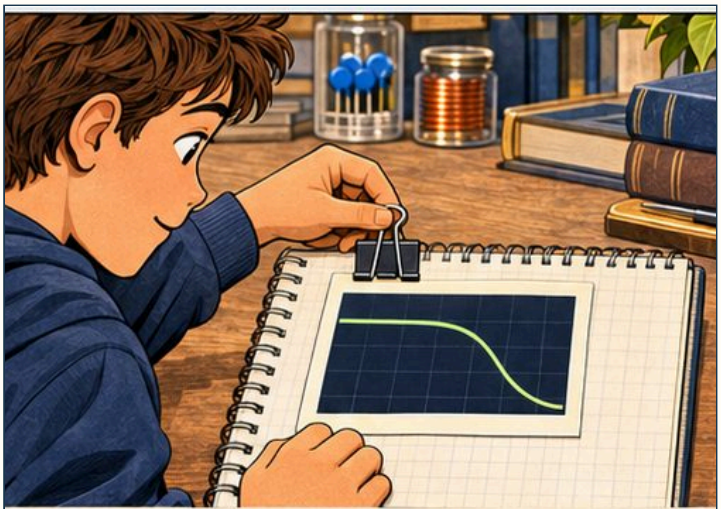
Overgangen er gradvis med en karakteristisk krumning.



Andre frekvensgange accepterer andre kompromiser.



De vælger denne familie til et overskueligt første design.

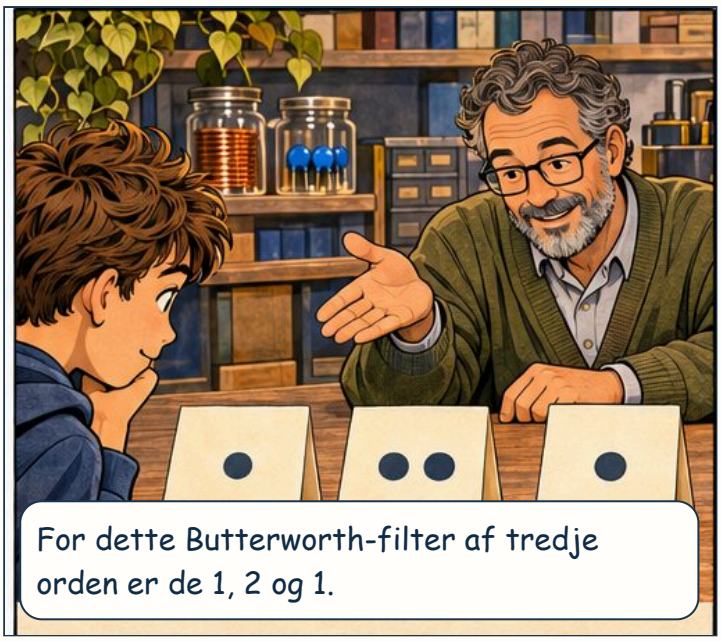


Navnet siger derfor mere end blot lavpas.

En prototype som udgangspunkt



En normaliseret prototype giver konstruktionens koefficienter.



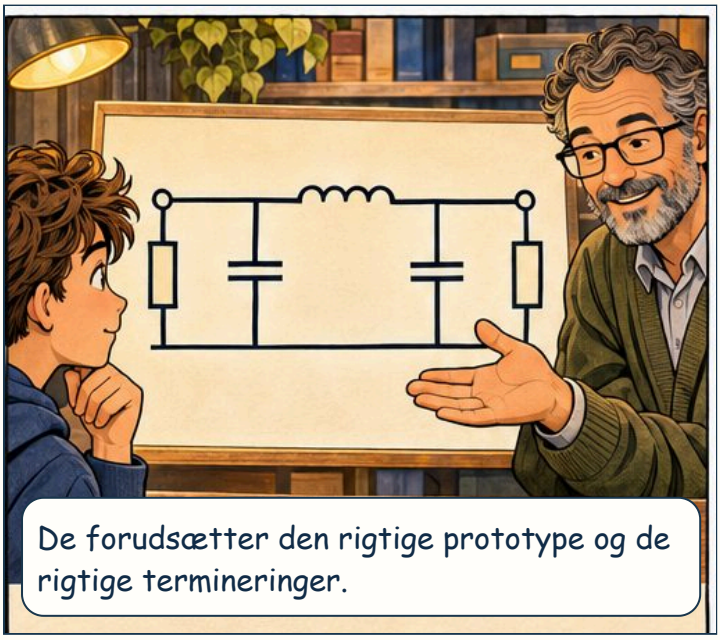
For dette Butterworth-filter af tredje orden er de 1, 2 og 1.



De svarer i rækkefølge til kondensator, spole og kondensator.



De er endnu ikke værdier til indkøbslisten.



De forudsætter den rigtige prototype og de rigtige termineringer.



Nu skal frekvens- og impedansskalaen fastlægges.

Skift målestok



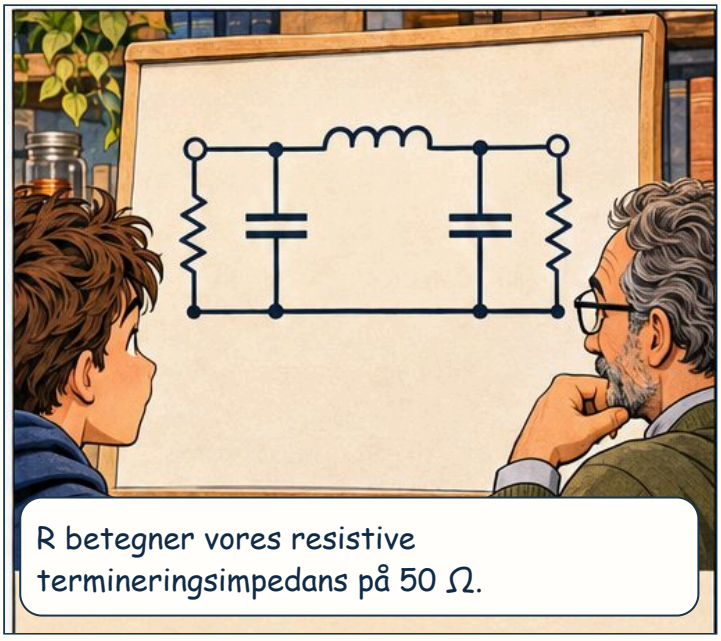
Grænsevinkelfrekvensen er ωc = 2πfc.



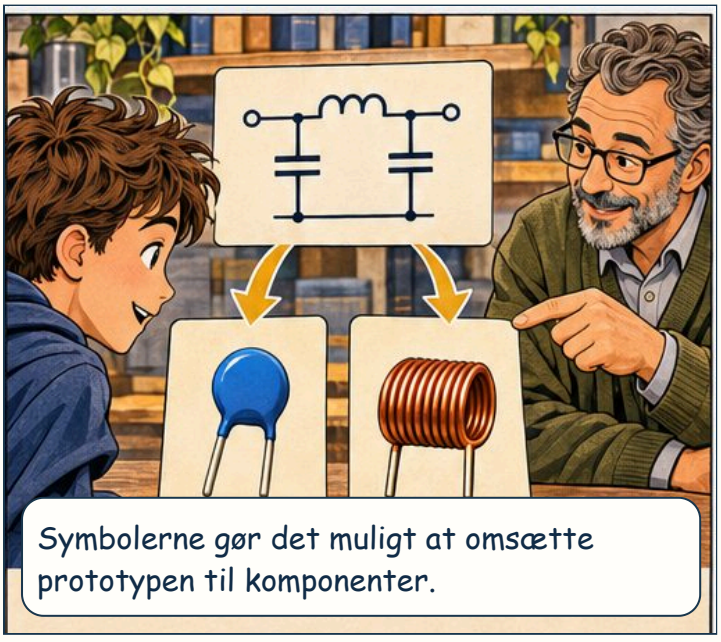
Her betegner fc grænsefrekvensen i hertz.



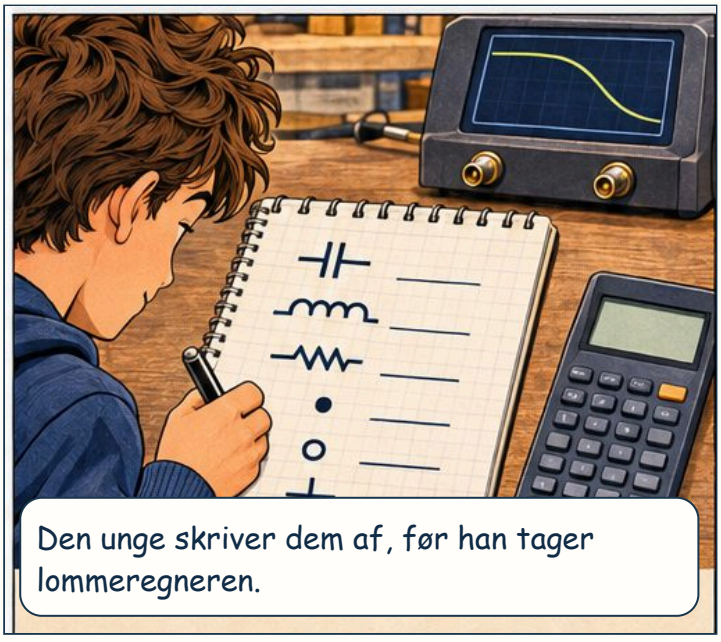
Vinkelfrekvensen ωc angives i radianer pr. sekund.



R betegner vores resistive termineringsimpedans på 50 Ω.



Symbolerne gør det muligt at omsætte prototypen til komponenter.

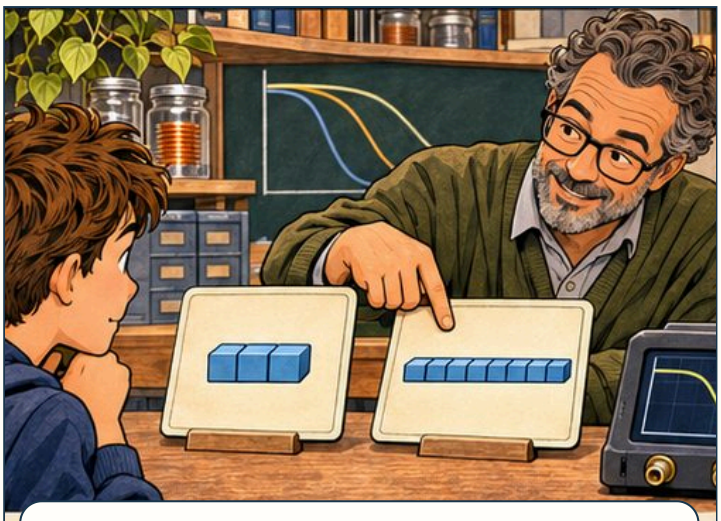


Den unge skriver dem af, før han tager lommeregneren.

Enheder før tal



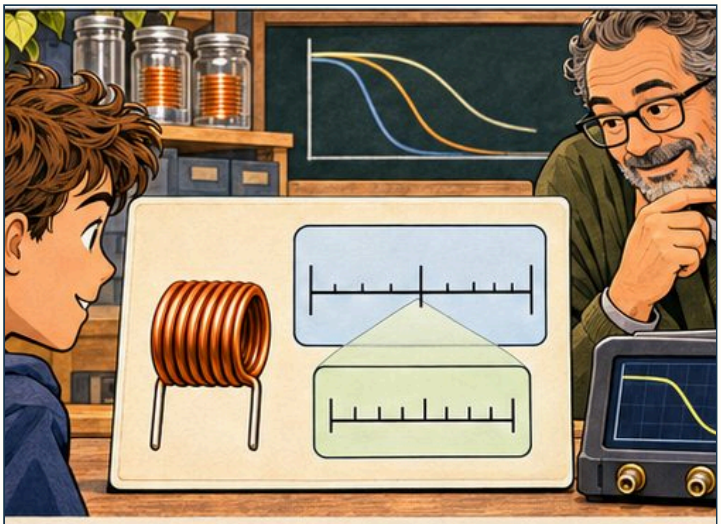
En megahertz er en million hertz.



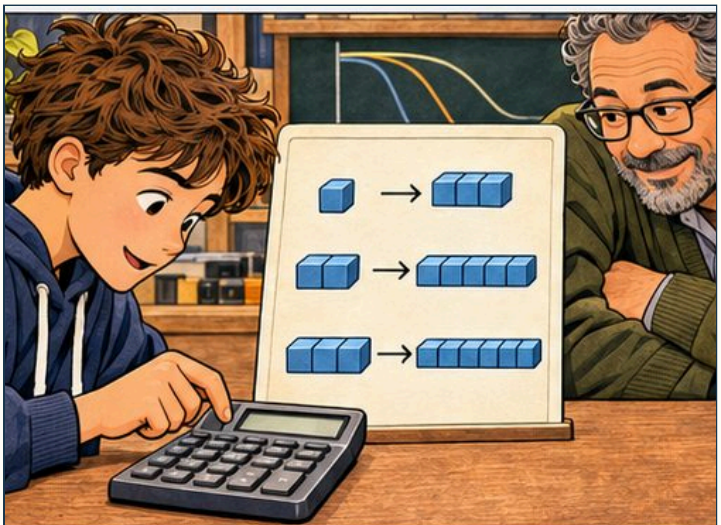
Deres grænse på 10 MHz er altså 10 000 000 Hz.



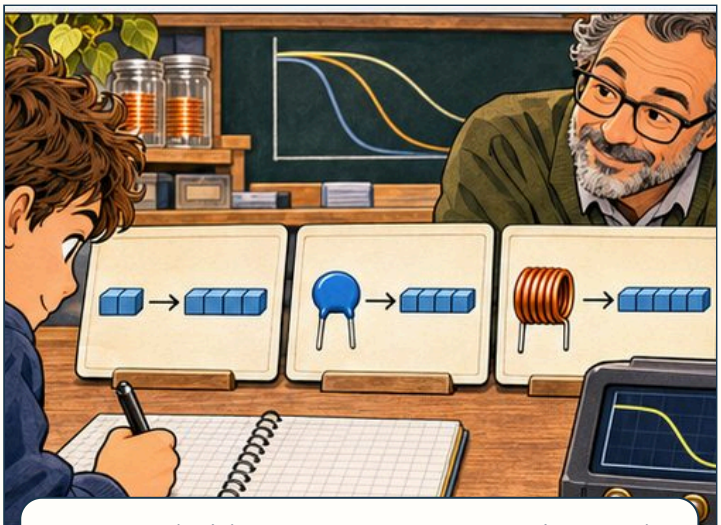
En picofarad er 10^{-12} F.



En mikrohenry er 10^{-6} H.

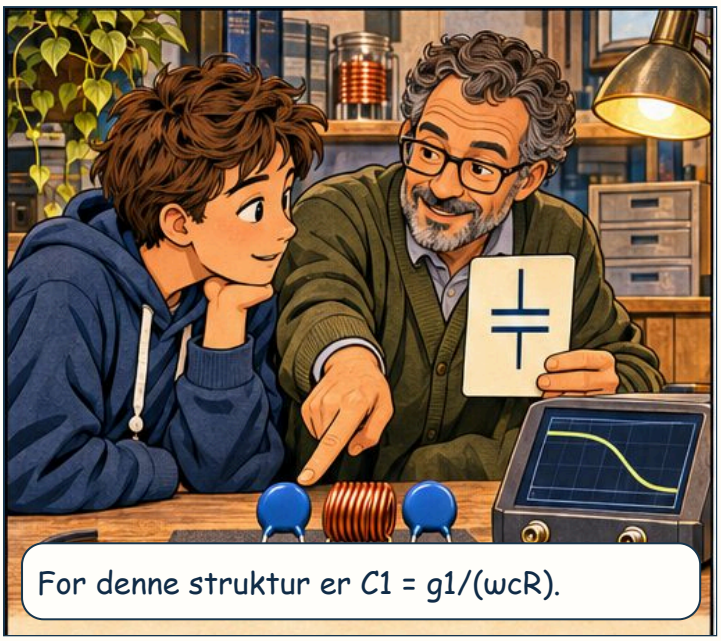


Formlerne bruger først grundenhederne.

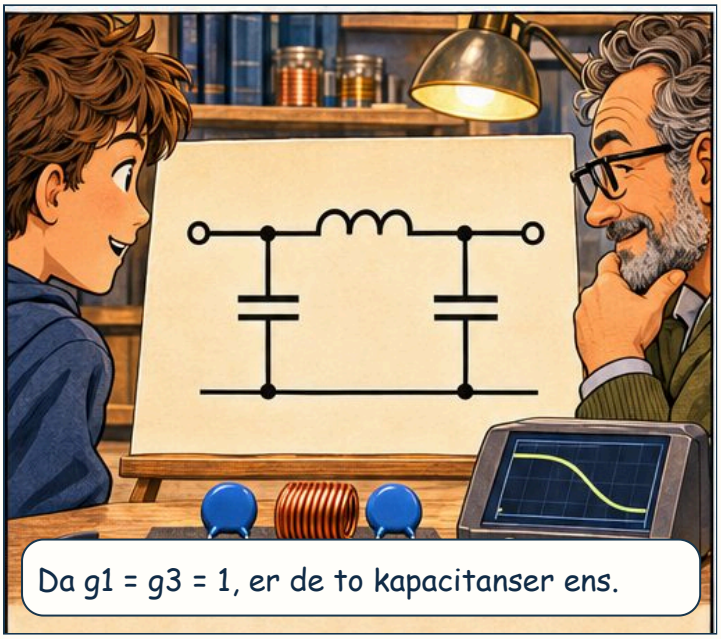


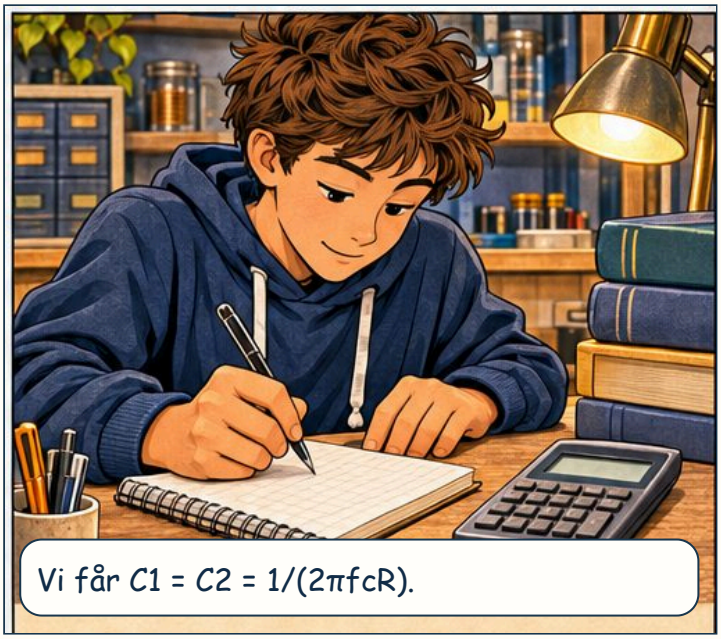
Den unge holder omregningerne synlige ved beregningerne.

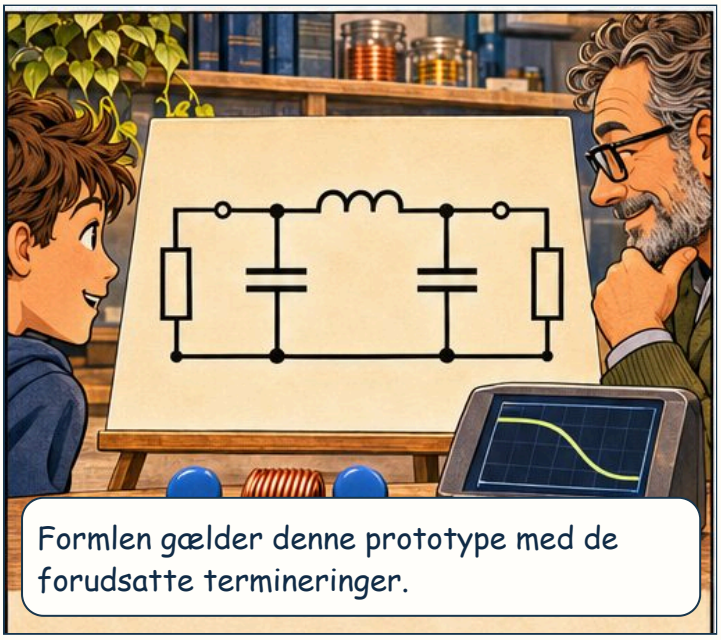
Formlen for kondensatorerne













Beregn kapacitanserne



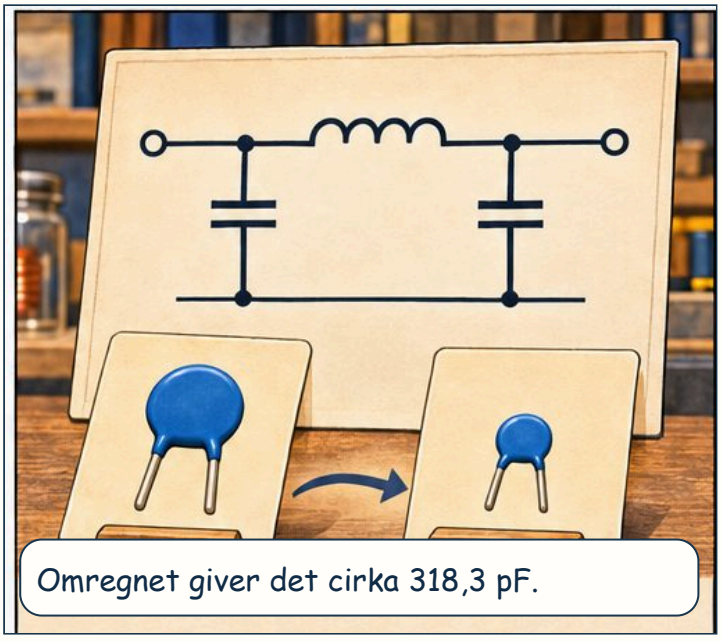
De indsætter fc = 10 000 000 Hz og R = 50 Ω.



Nævneren bliver cirka 3,142 × 10^{9}.



Hver ideel kapacitans er cirka 3,183 × 10^{-10} F.



Omregnet giver det cirka 318,3 pF.

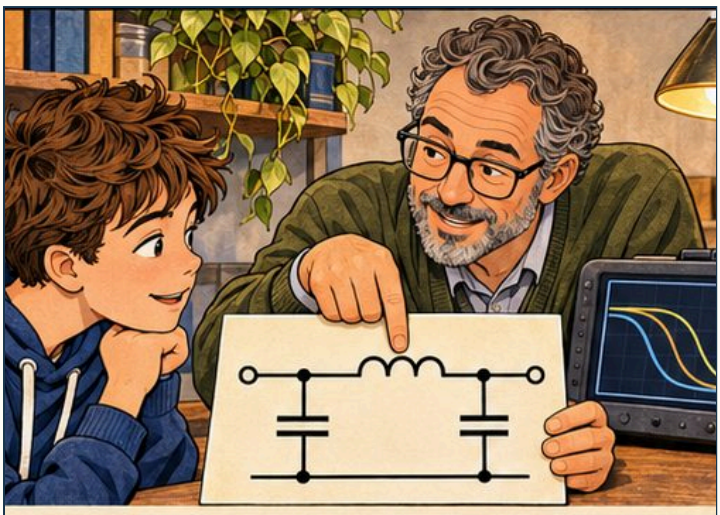


De to kondensatorer får altså samme teoretiske værdi.



Lucas skriver resultatet med enheden tydeligt.

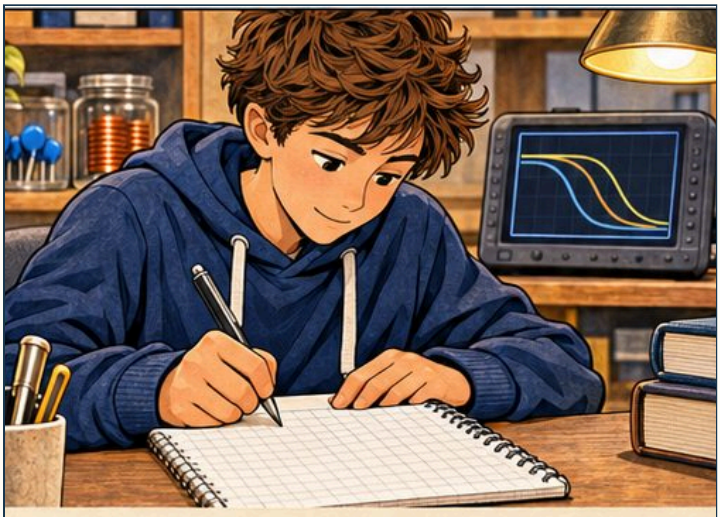
Formlen for spolen



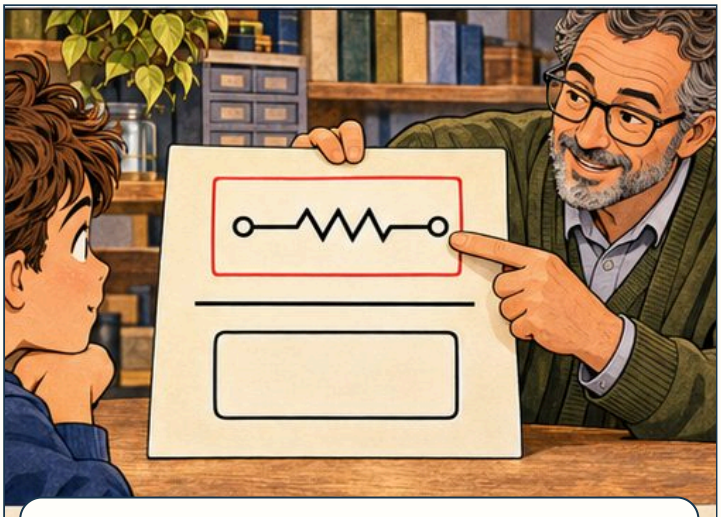
For seriespolen er L = g2R/ωc.



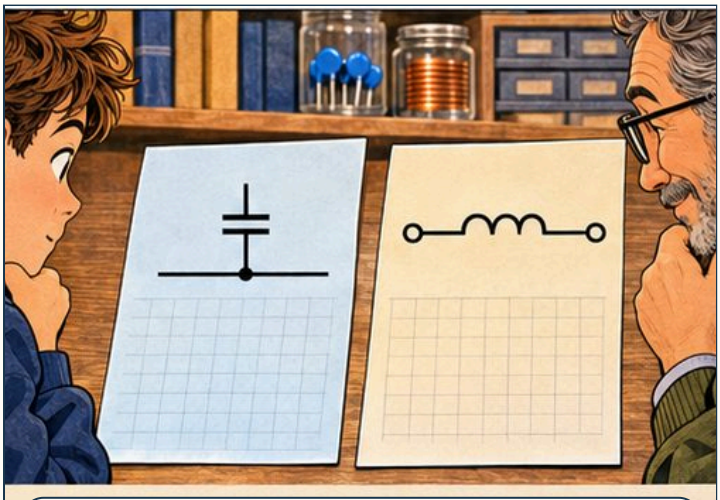
Den midterste koefficient er her g2 = 2.



Vi får derfor L = 2R/(2πfc).



Termineringsmodstanden står denne gang i tælleren.



Den unge sammenligner med kondensatorernes formel.



Visuel lighed gør ikke genlæsning overflødig.

Beregn induktansen



Tælleren er 2 × 50, altså 100 Ω.



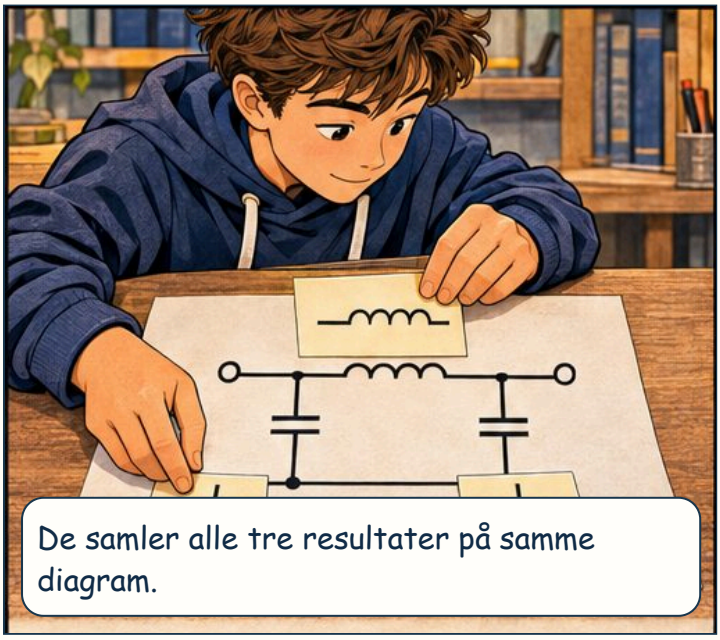
Nævneren er 2π × 10 000 000, cirka 6,283 × 10^{7} s^{-1}.



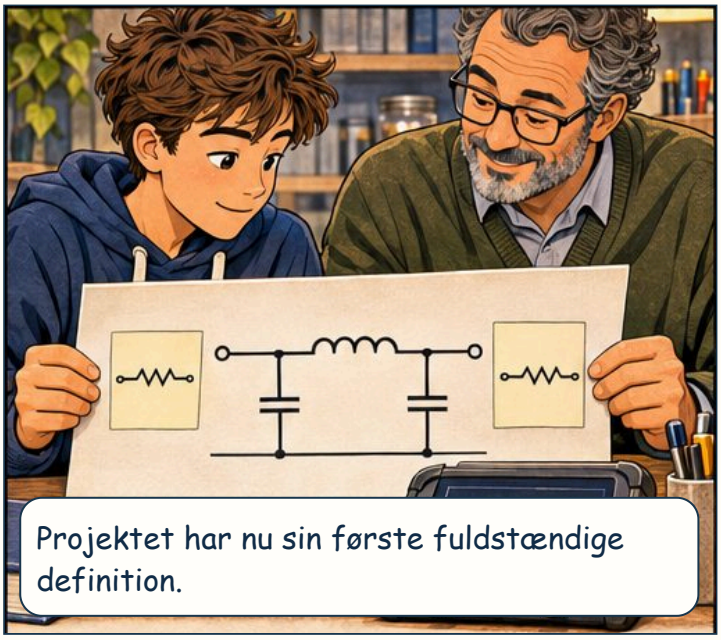
Beregningen giver cirka 1,592 × 10^{-6} H.



Den ideelle spole skal derfor være cirka 1,59 µH.



De samler alle tre resultater på samme diagram.



Projektet har nu sin første fuldstændige definition.

Millionfejlen



Den unge prøver at taste beregningen hurtigt igen.



Han taster 10 i stedet for 10 000 000.



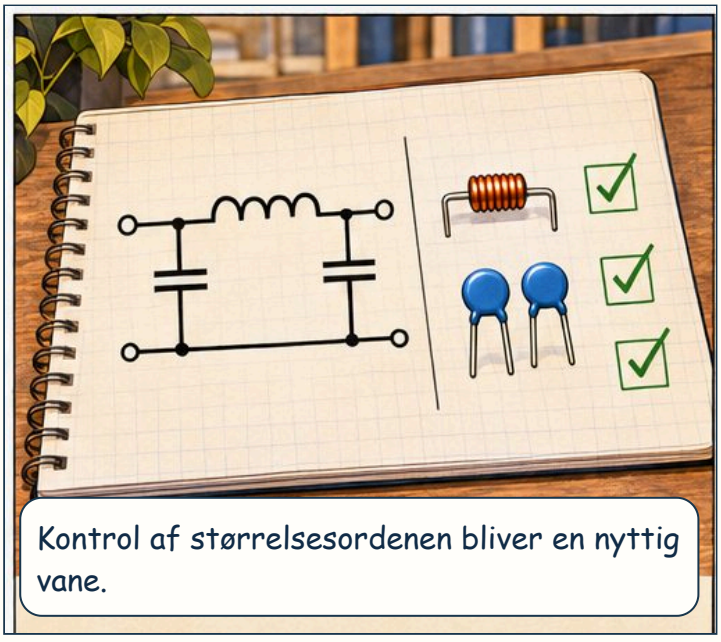
Resultatet bliver en million gange for stort.



Sammenligningen med de forventede komponenter afslører straks fejlen.



Han retter indtastningen og gentager beregningen særskilt.

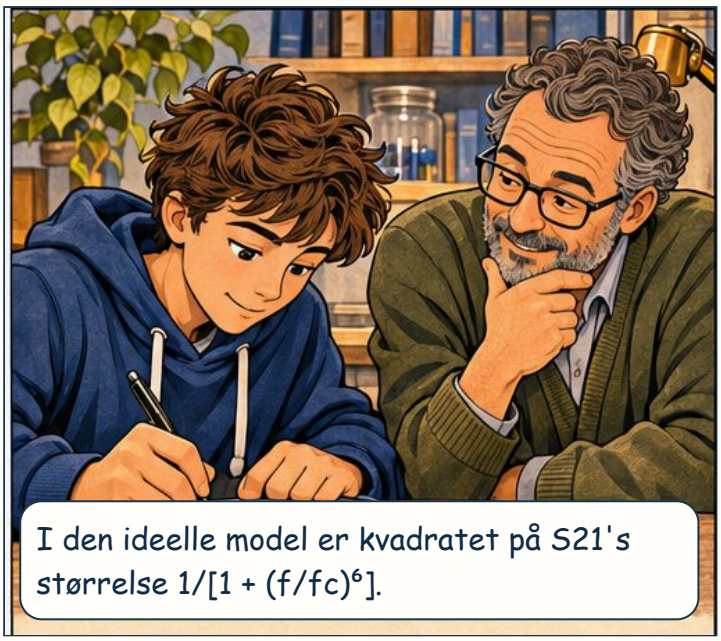


Kontrol af størrelsesordenen bliver en nyttig vane.

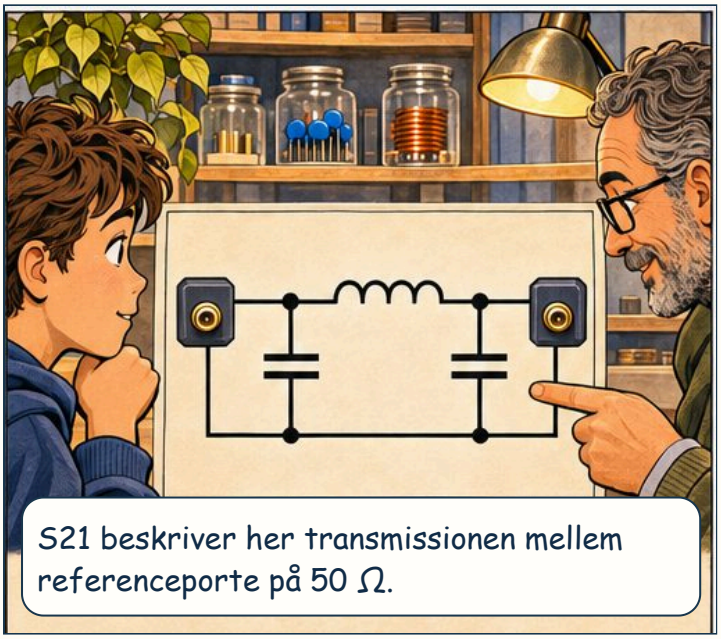
Forudsig en hel kurve



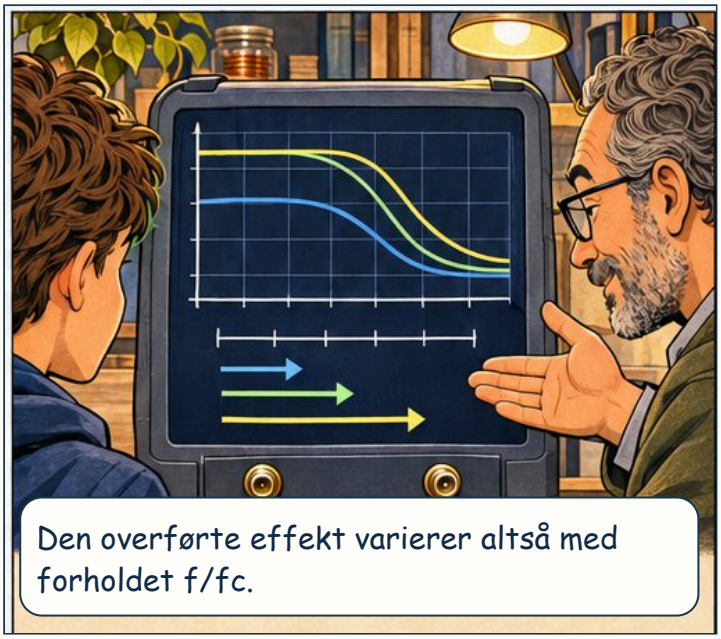
Tre værdier fortæller endnu ikke hele frekvensgangen.



I den ideelle model er kvadratet på S21's størrelse $1/[1 + (f/fc)^6]$.



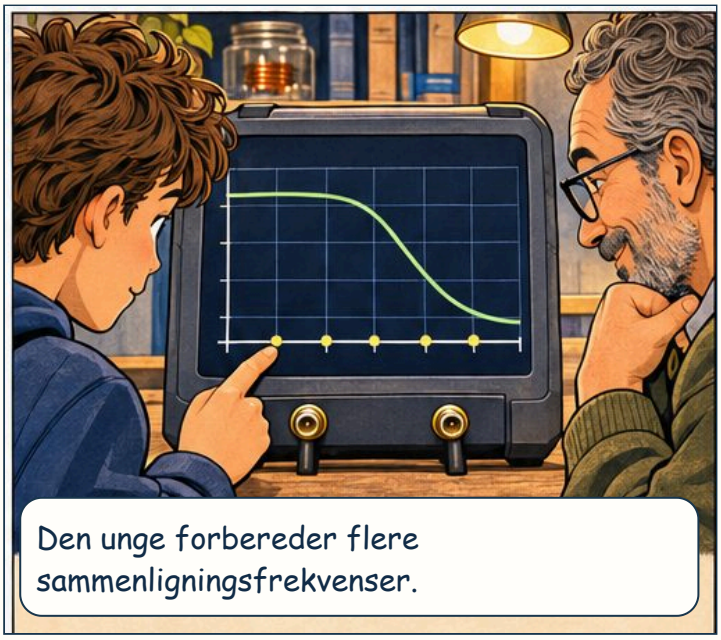
S21 beskriver her transmissionen mellem referenceporte på 50 Ω.



Den overførte effekt varierer altså med forholdet f/fc.



Den teoretiske kurve giver et holdepunkt før målingen.



Den unge forbereder flere sammenligningsfrekvenser.

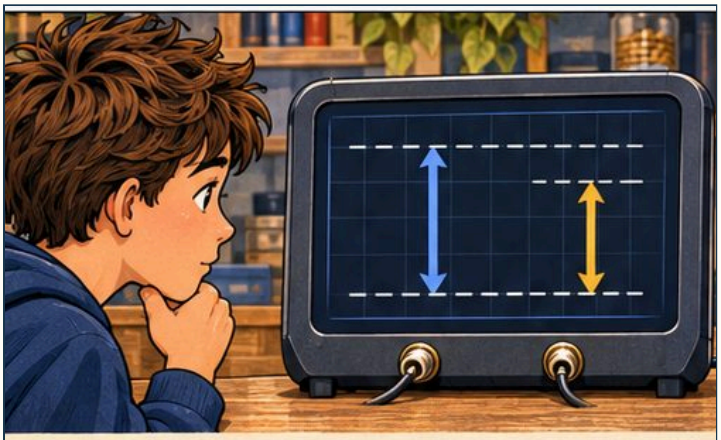
Hvad betyder minus tre decibel?



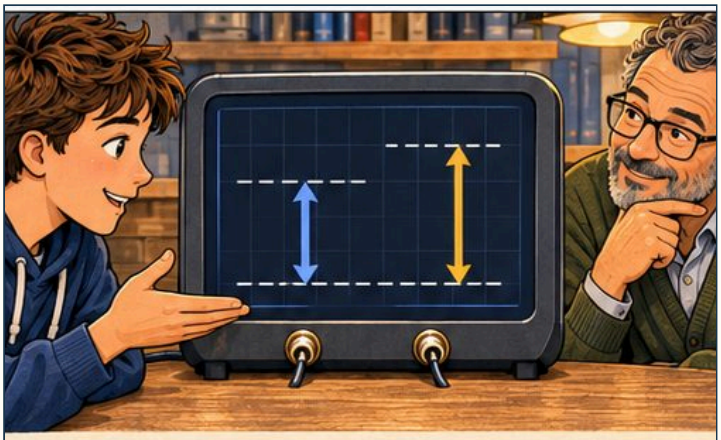
Ved f = fc er det ideelle overførte effektforhold 1/2.



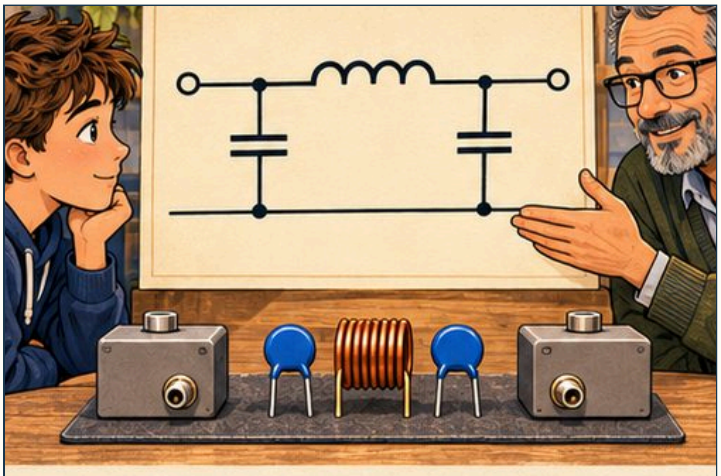
I decibel giver 10 log10(1/2) cirka −3,01 dB.



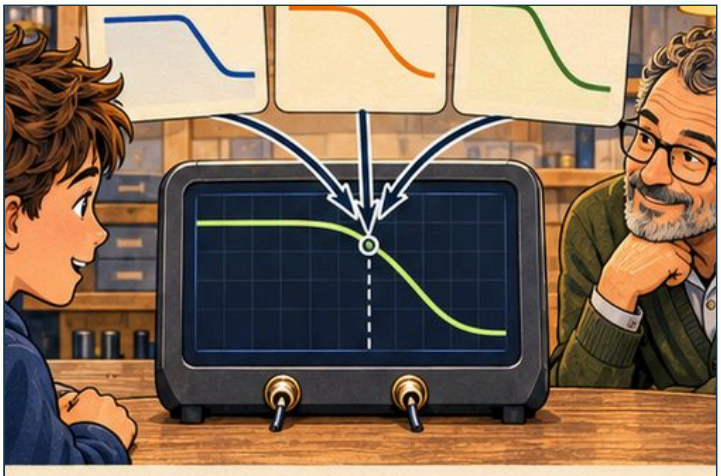
Størrelsen af S21 er da cirka 0,707.



Amplituden er altså ikke halveret.



Beregningen bruger de tilpassede referencer på 50 Ω.

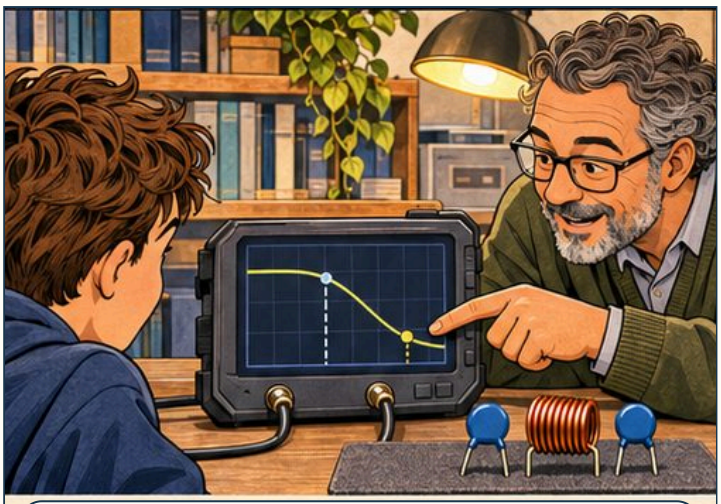


Den unge forbinder tre udtryk for samme kurvepunkt.

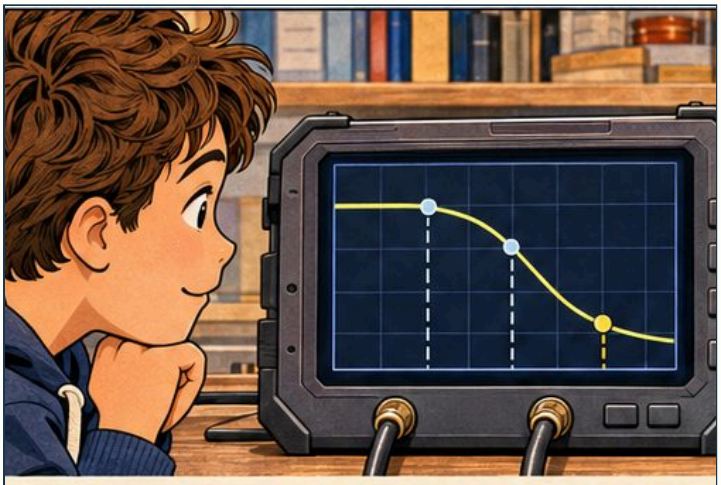
Over grænsefrekvensen



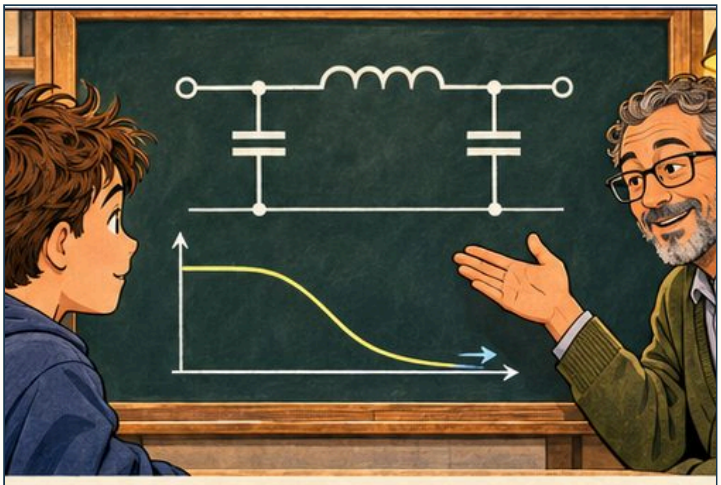
Ved 20 MHz er f/fc lig med 2.



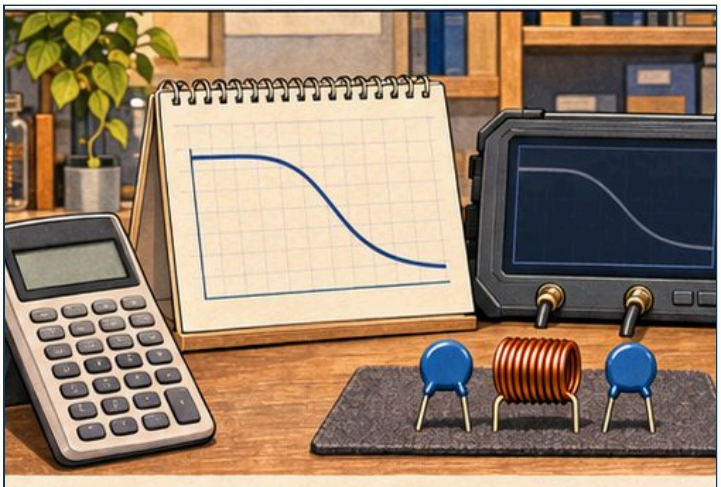
Den ideelle transmission bliver cirka −18,13 dB.



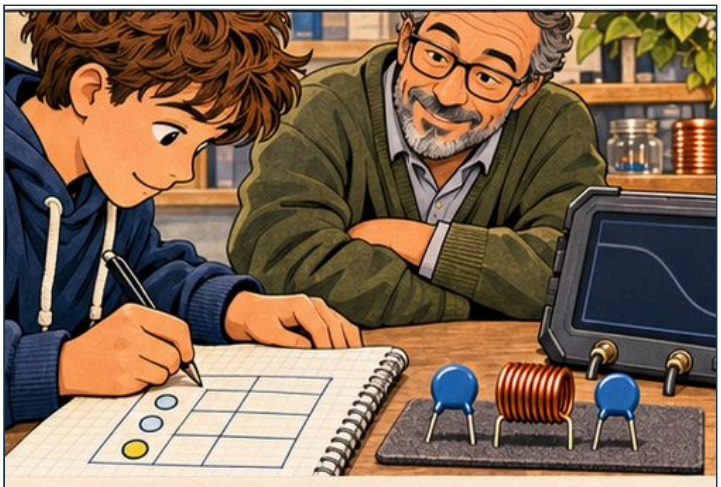
Ved 30 MHz er f/fc = 3: cirka −28,63 dB.



Dæmpningen stiger, men forbliver endelig.

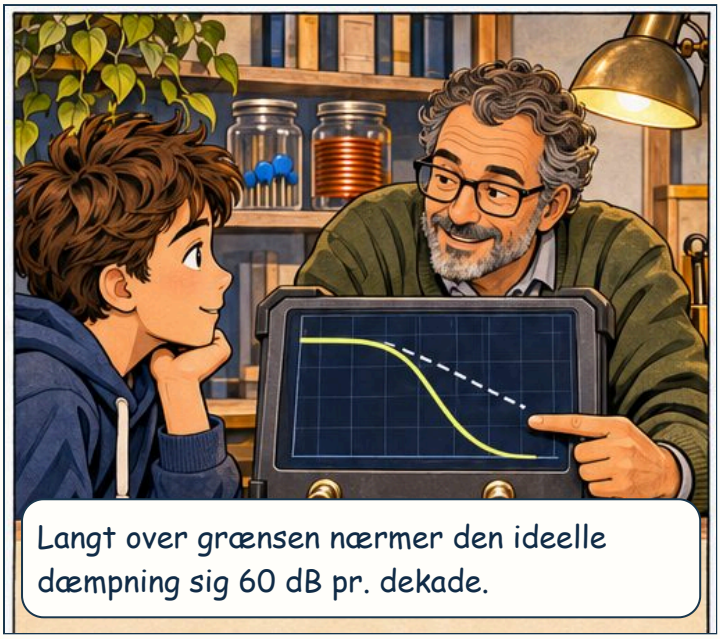


Tallene er beregnede, ikke målt på deres opstilling.

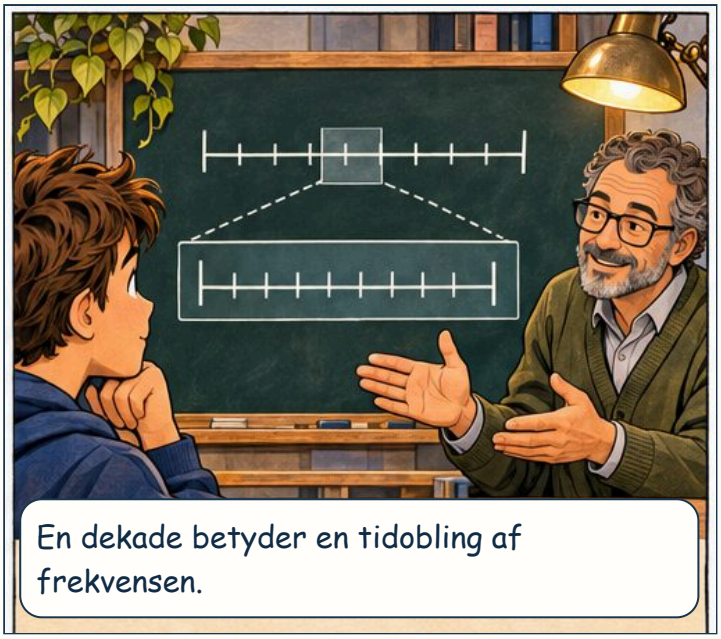


Den unge placerer dem i kolonnen med forventninger.

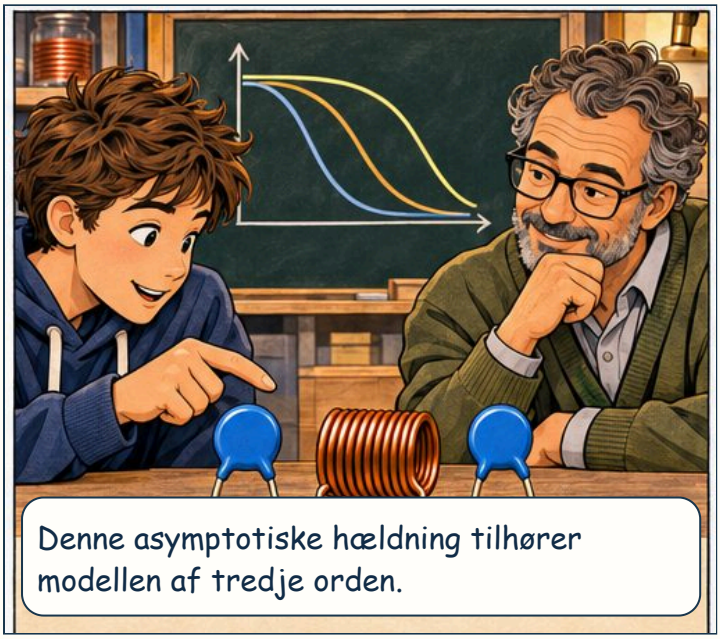
Hældningen er ikke et løfte



Langt over grænsen nærmer den ideelle dæmpning sig 60 dB pr. dekade.



En dekade betyder en tidobling af frekvensen.



Denne asymptotiske hældning tilhører modellen af tredje orden.



Nær grænsen er kurven ikke en ret linje.

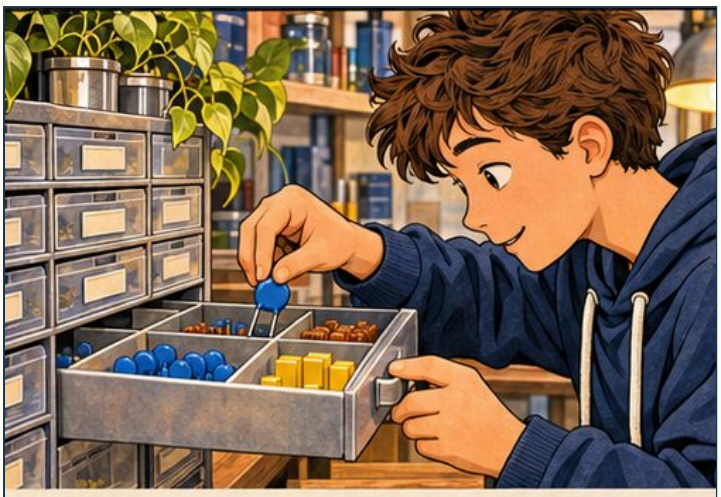


Virkelige komponenter begrænser også denne udvikling.

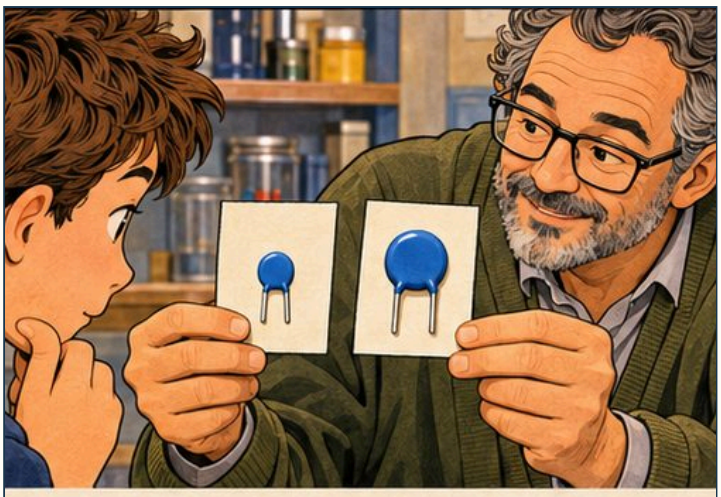


Den unge bruger ikke en regel uden for dens betingelser.

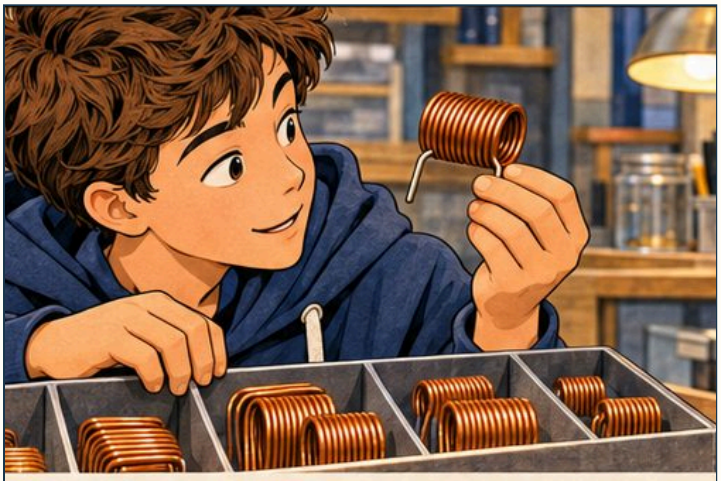
Værdier, man kan finde



Skuffen indeholder måske ikke kondensatorer på præcis 318,3 pF.



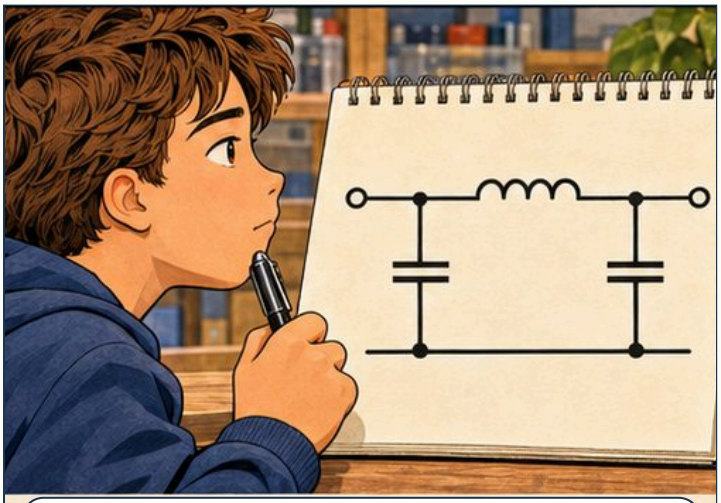
En almindelig værdi på 330 pF er ikke den samme.



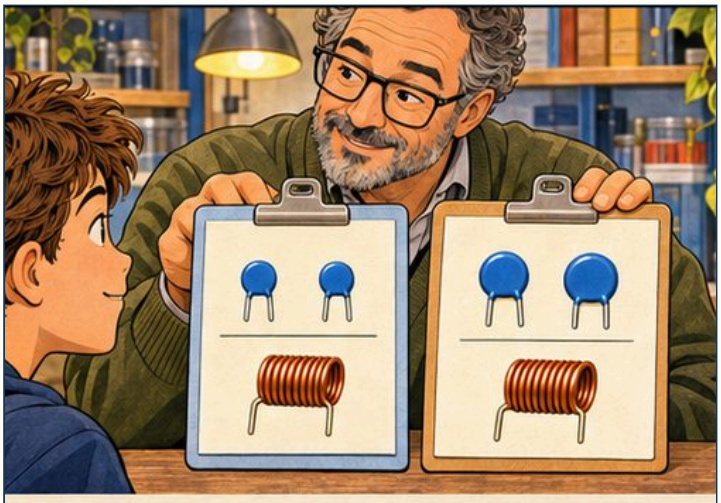
En spole på 1,6 µH ligger tæt på beregningen.



Disse valg kræver en ny beregning eller simulering af frekvensgangen.

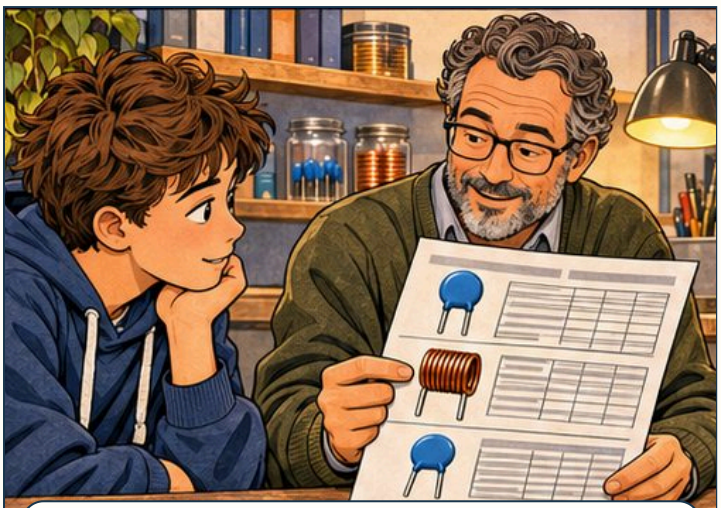


Opstillingen kan ikke automatisk kaldes præcis 10 MHz.



Den unge adskiller ideelle og valgte værdier.

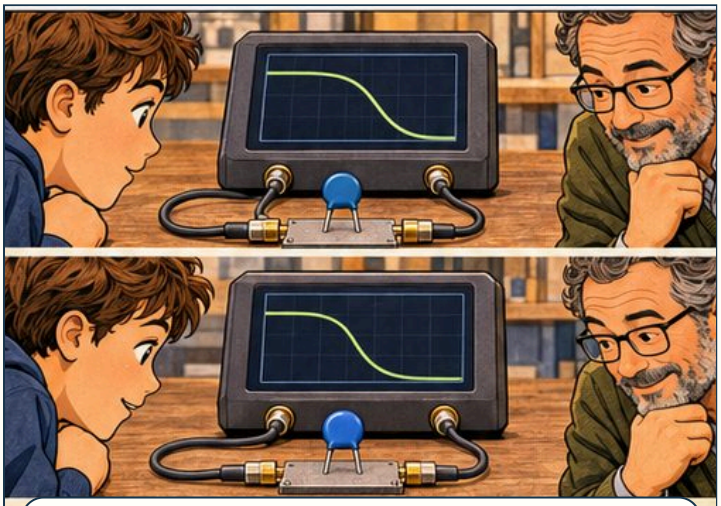
Hver del har sin tolerance



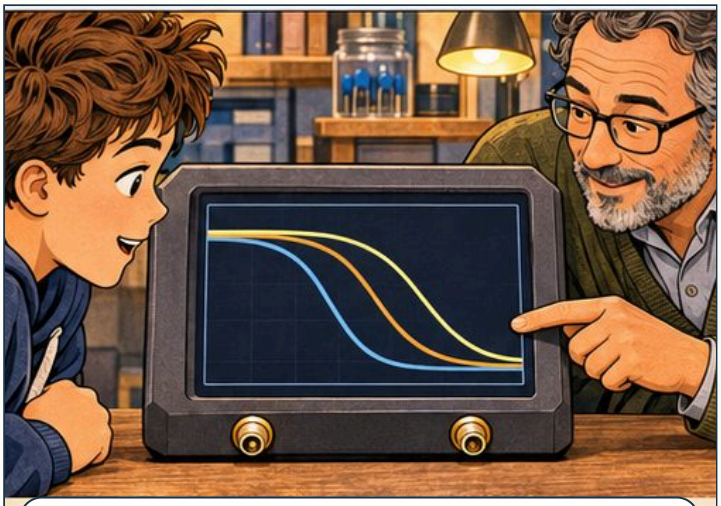
En nominel værdi er ikke en garanteret nøjagtig værdi.



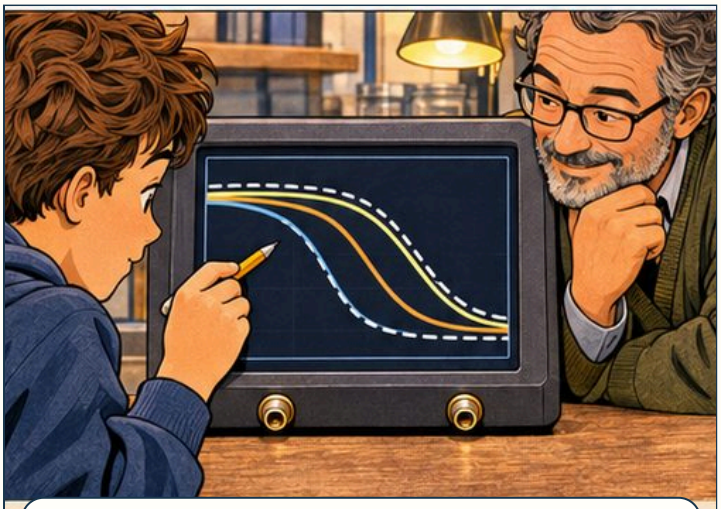
Kondensatorernes og spolens tolerancer har betydning.



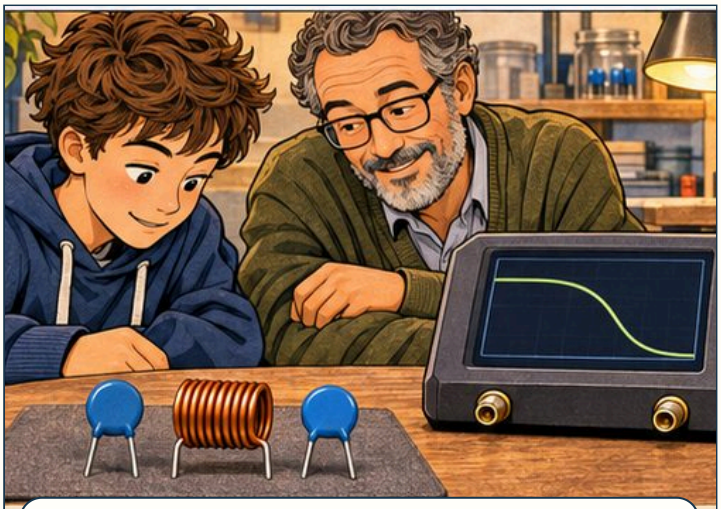
To komponenter med samme mærkning kan afvige lidt.



En simulering kan undersøge flere værdikombinationer.



Den hjælper med at forudsige et interval af mulige frekvensgange.



Målingen undersøger derefter de faktisk anvendte dele.

De skjulte komponenter



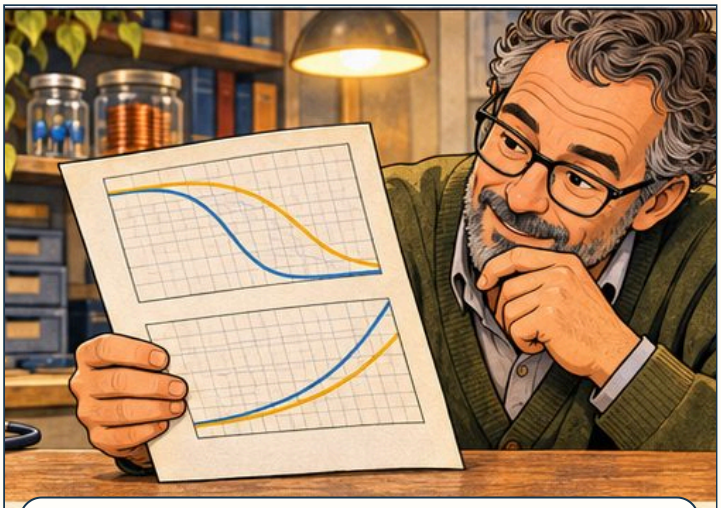
En virkelig spole har også modstand og parasitisk kapacitans.



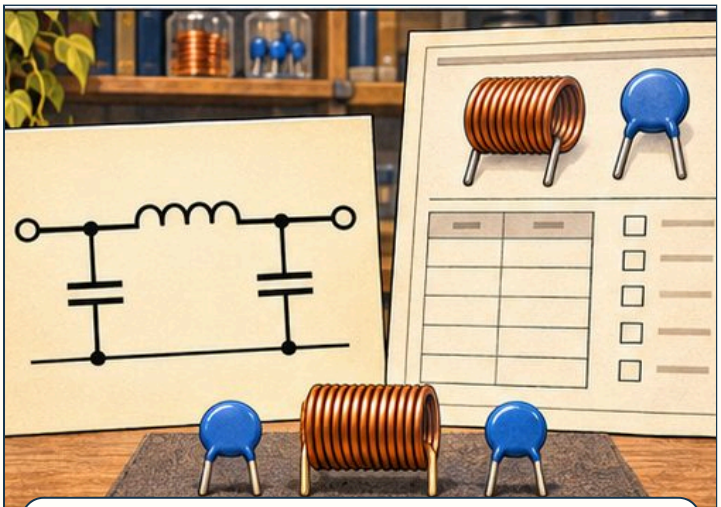
En kondensator har blandt andet tab og parasitisk induktans.



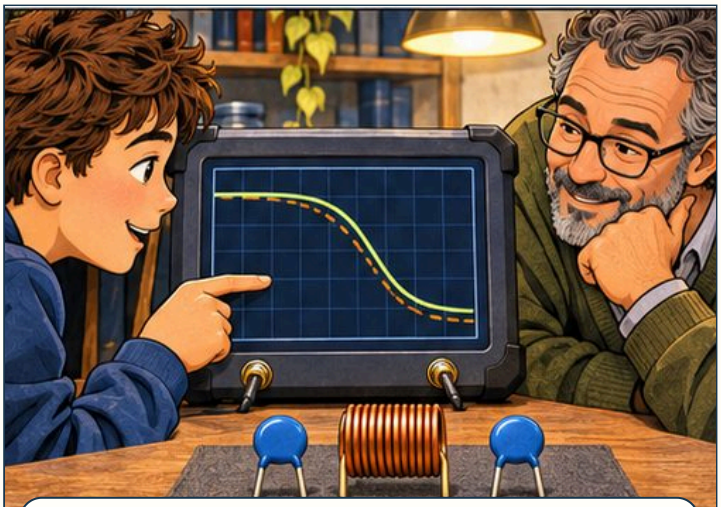
Deres opførsel ændres nær visse resonanser.



Databladene angiver grænser, som skal undersøges.



Værdien i picofarad eller mikrohenry er derfor ikke nok.



Den unge lærer at læse mere end første linje.

En bordmåling godkender ikke en sender



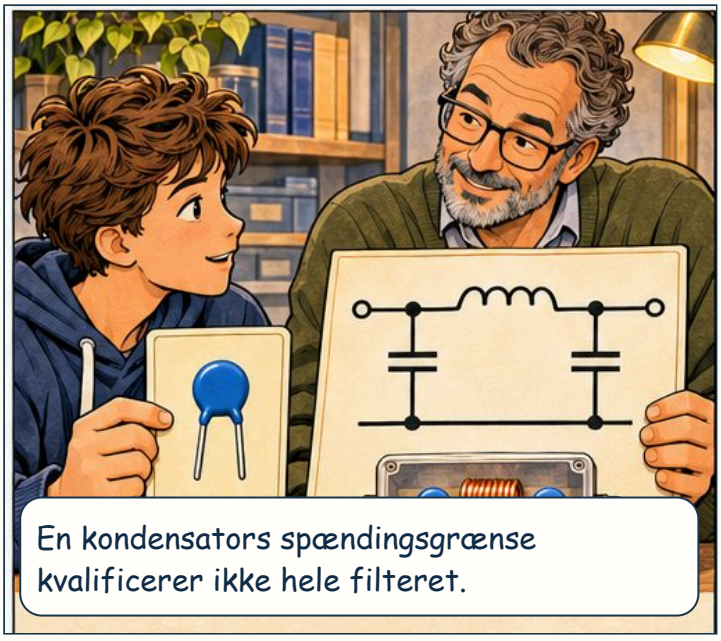
Demonstrationsmodulet modtager kun analysatorens planlagte svage signal.



Brug ved udsendelse ville kræve yderligere undersøgelser.



Spændinger, strømme, opvarmning og tilladt effekt skulle vurderes.



En kondensators spændingsgrænse kvalificerer ikke hele filteret.

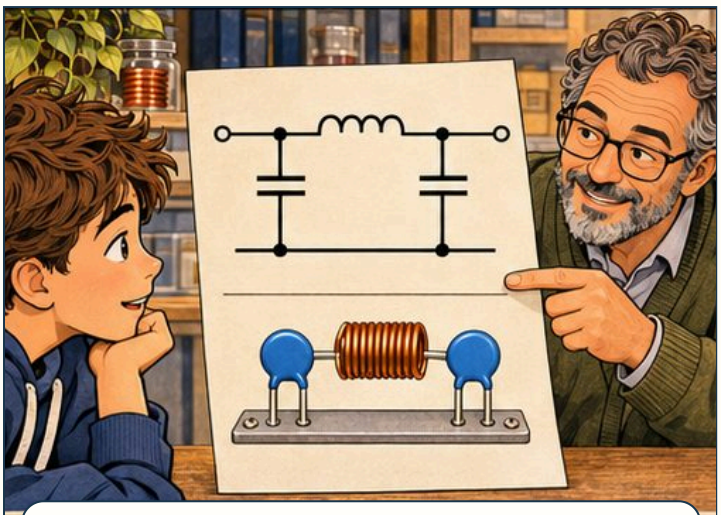


Ingen effektprøve indgår i dette værksted.

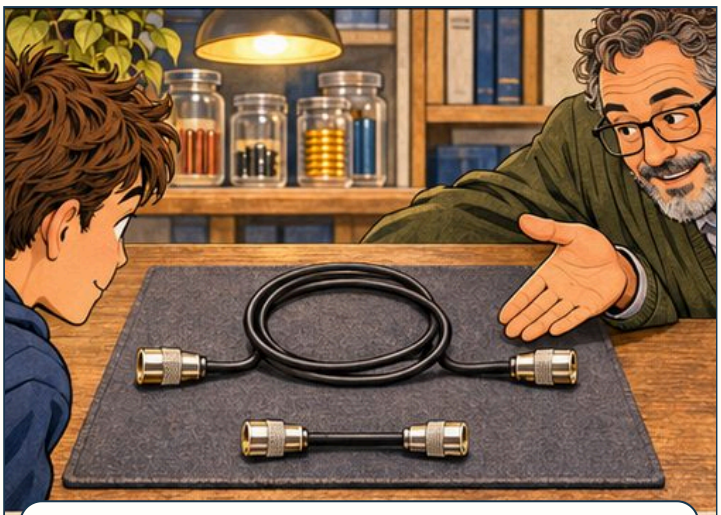


Den unge beskriver tydeligt grænsen for deres opstilling.

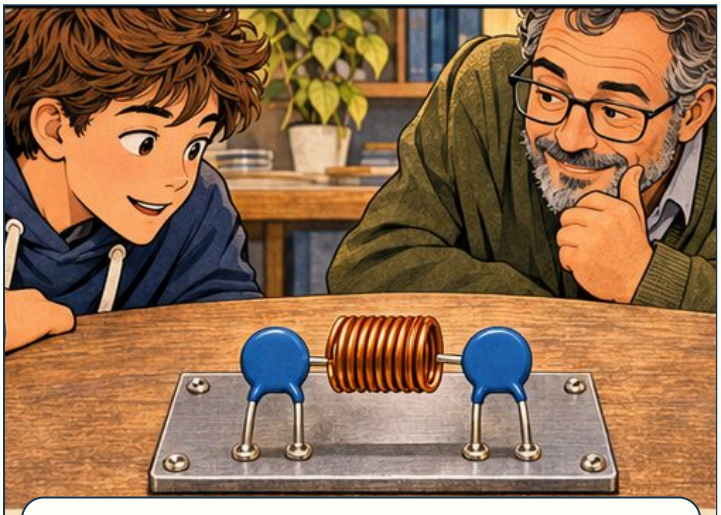
Tegn opbygningen



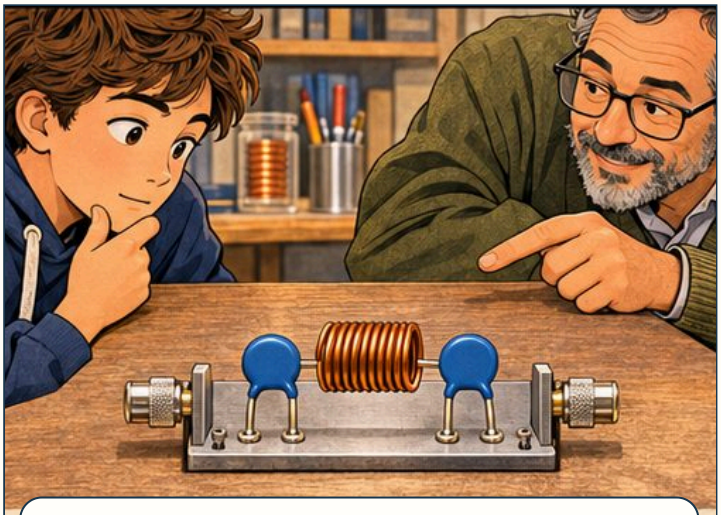
Diagrammet viser forbindelserne, men ikke hele deres geometri.



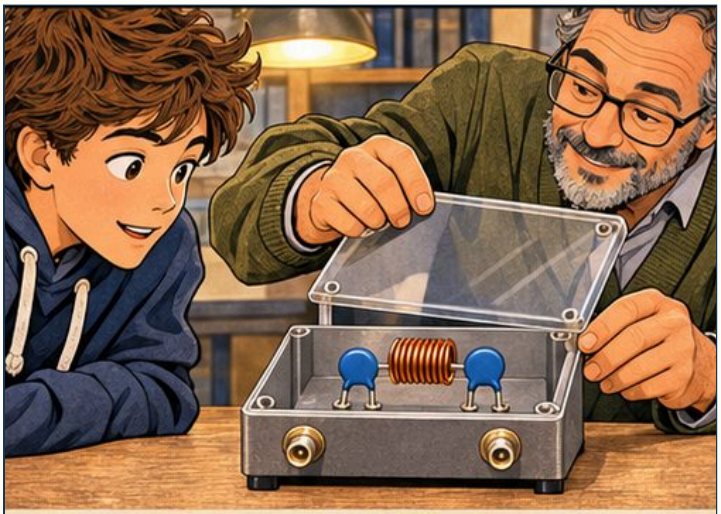
Ved disse frekvenser kan ledningslængde og placering have betydning.



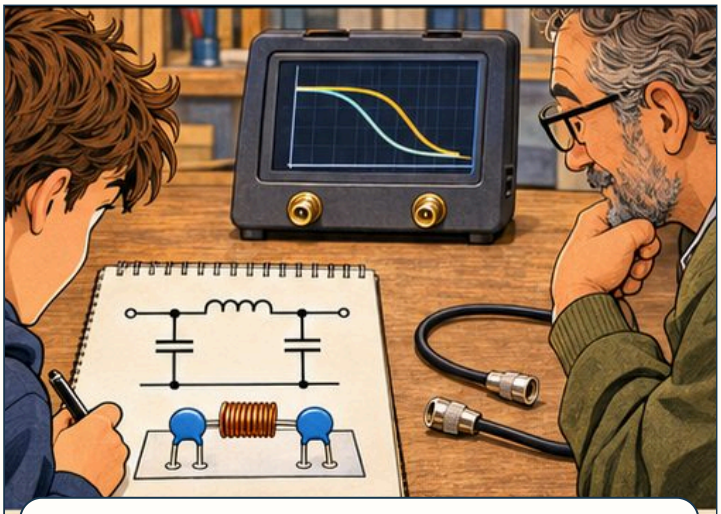
De planlægger fælles stel og korte forbindelser.



De adskiller også signalveje, der kan koble direkte.

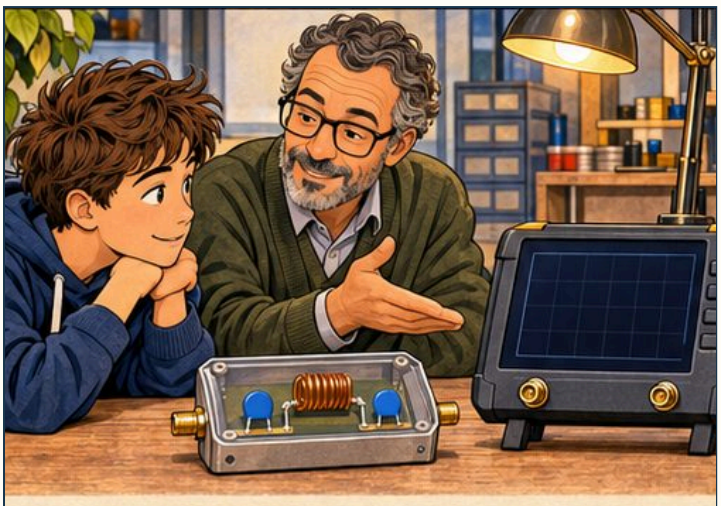


Henri forbereder et egnet målemodul.

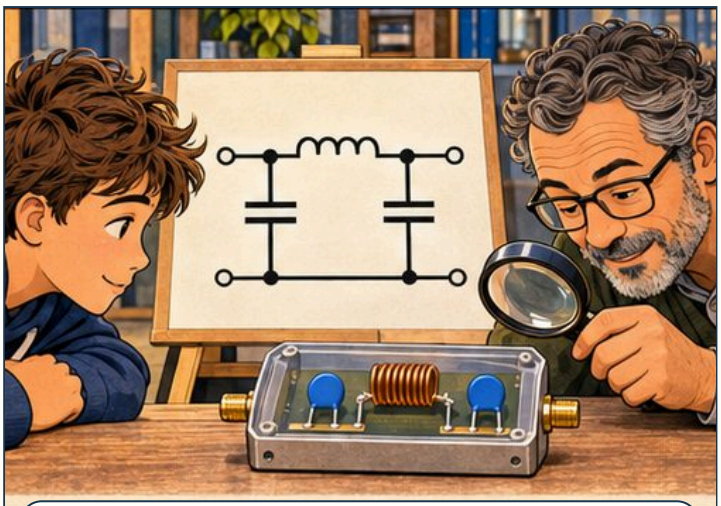


Lucas sammenligner opbygning og diagram forbindelse for forbindelse.

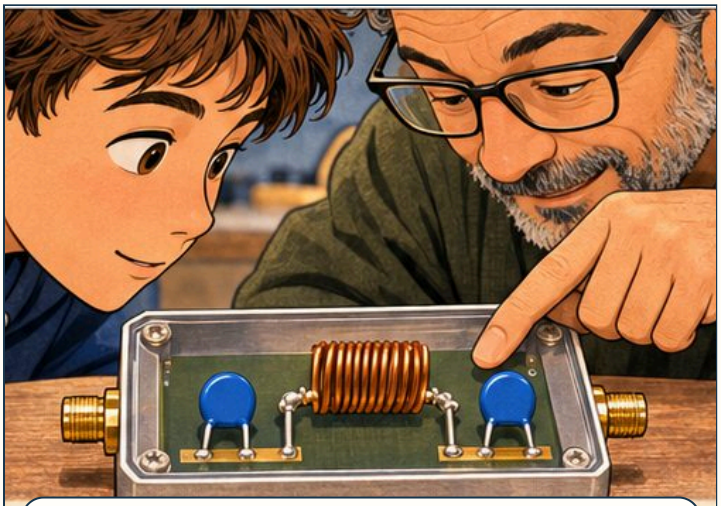
Kontrol før tilslutning



Målekilden er slukket under forberedelsen.



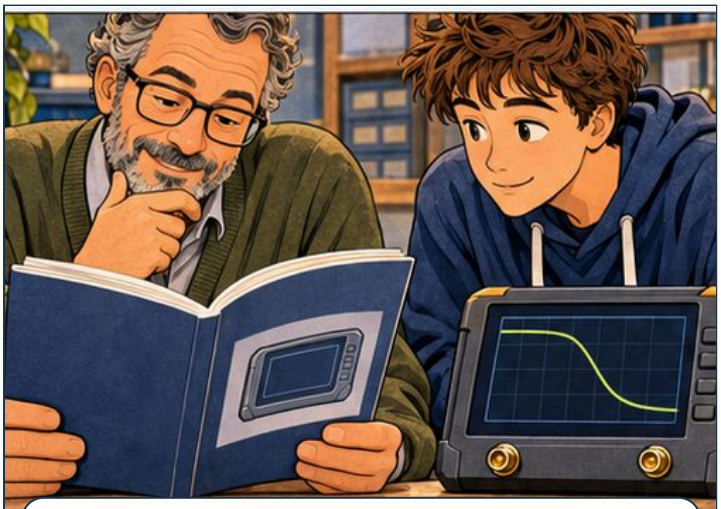
De kontrollerer forbindelser, komponenter og fælles stel.



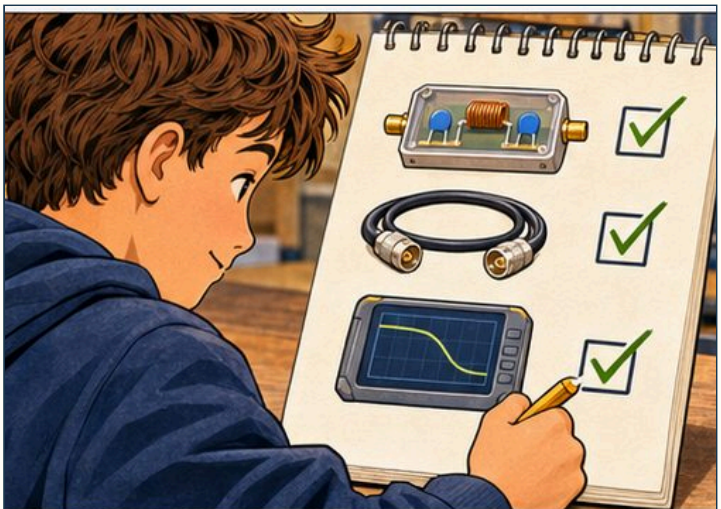
De leder efter kortslutning, fejlforbindelser og beskadigede dele.



Så inspicerer de stik og kabler.



Mentoren kontrollerer instrumentets indgangsgrænser.

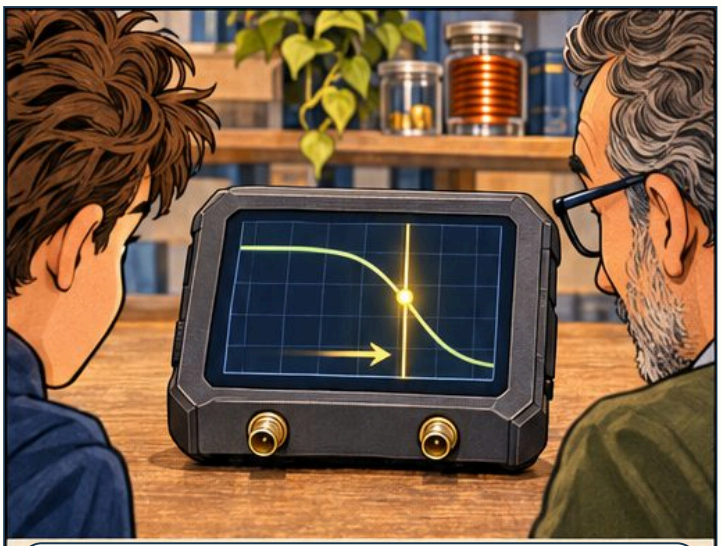


Den unge færdiggør listen før første sweep.

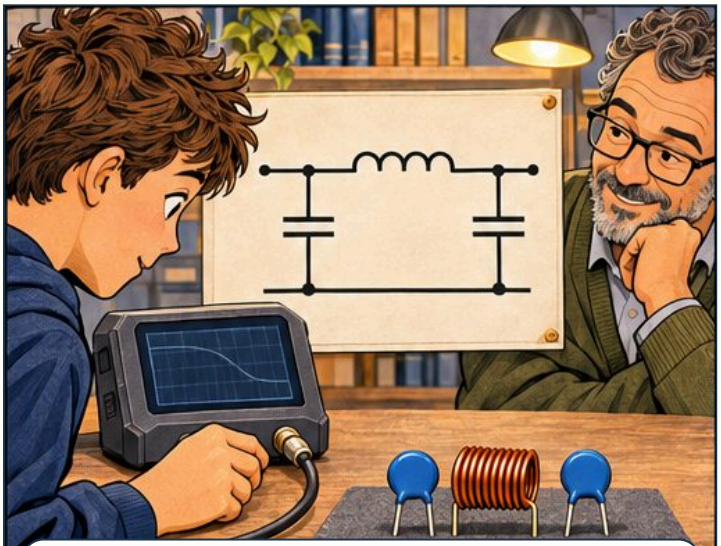
Analysatoren stiller spørgsmål



Netværksanalysatoren udsender et kendt, svagt signal.



Den gennemløber et valgt frekvensområde.



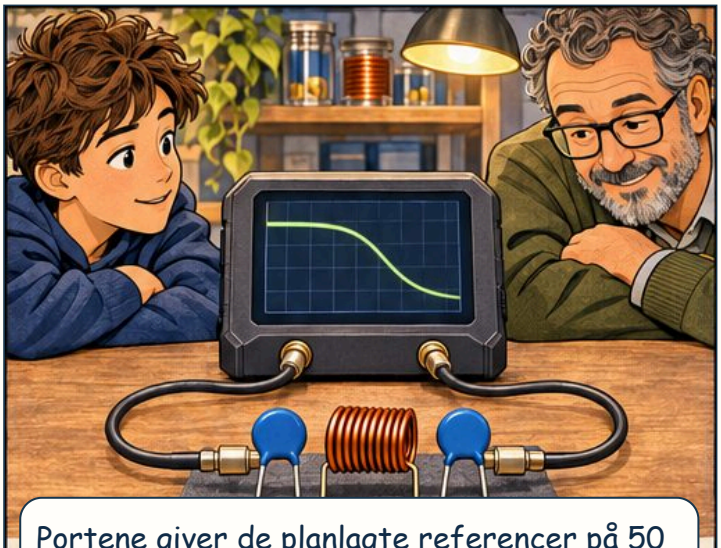
Port 1 forsyner filterets indgang.



Port 2 undersøger transmissionen ved udgangen.



Parameteren S21 gør det muligt at følge transmissionen.



Portene giver de planlagte referencer på 50 Ω.

Kalibrer det rigtige sted



Kabler og adaptere påvirker målingen.



De følger derfor instrumentets kalibreringsprocedure.



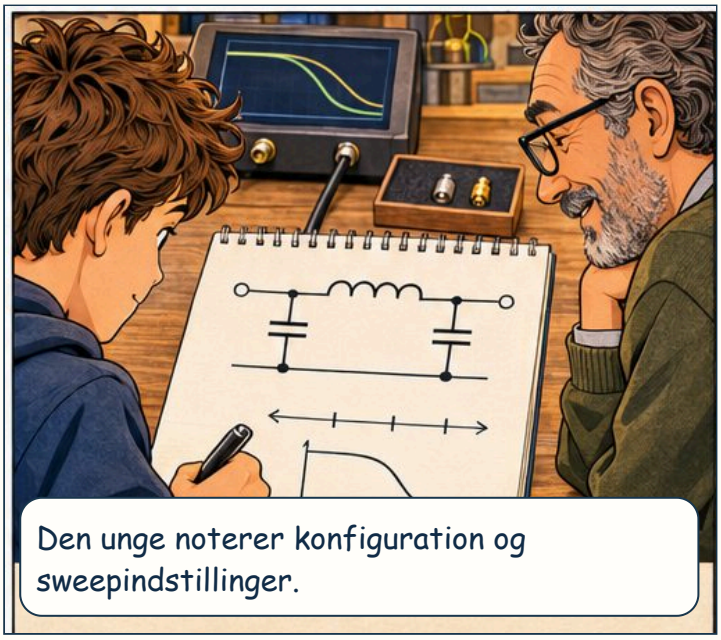
Passende standarder tilsluttes efter vejledningen.



Referenceplanerne placeres ved kabelenderne.



Efter kalibrering bevares forbindelserne så vidt muligt.



Den unge noterer konfiguration og sweepindstillinger.

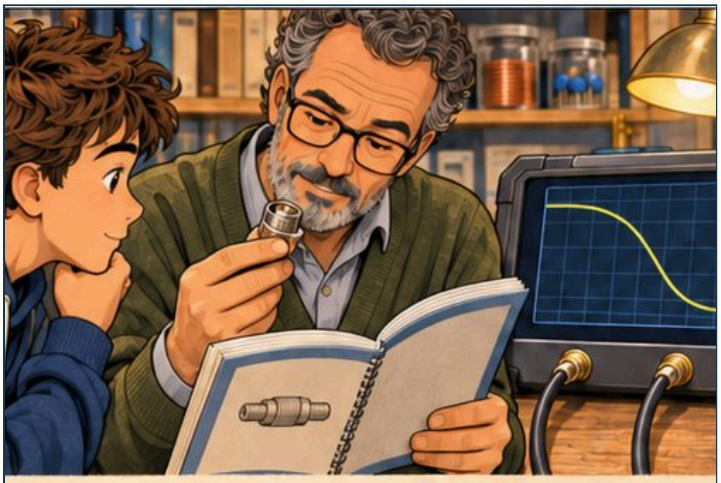
Kontroller den direkte vej



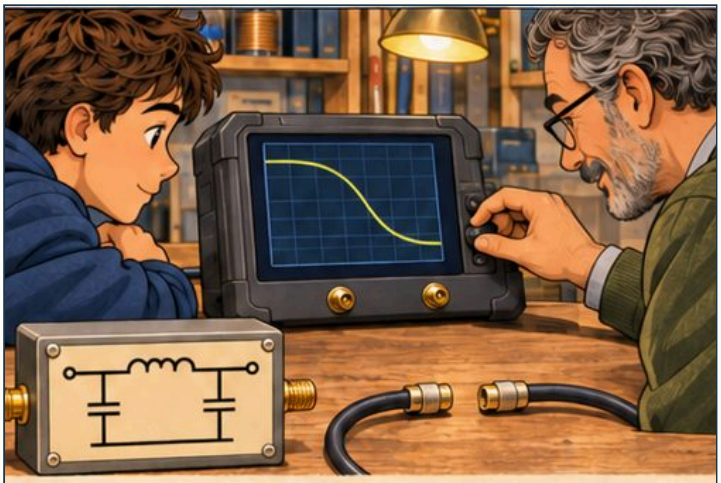
Før filteret bruges en direkte forbindelse til at kontrollere referencen.



Den forventede transmission skal passe til denne forbindelse.



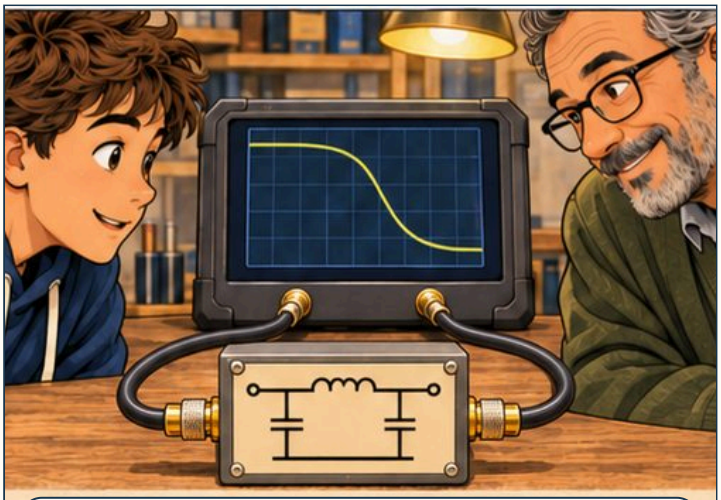
En afvigelse kræver kontrol af kabler, kalibrering og indstillinger.



Man ændrer ikke filteret for at skjule en fejl i måleopstillingen.



Efter kontrollen slukkes kilden før tilslutning.

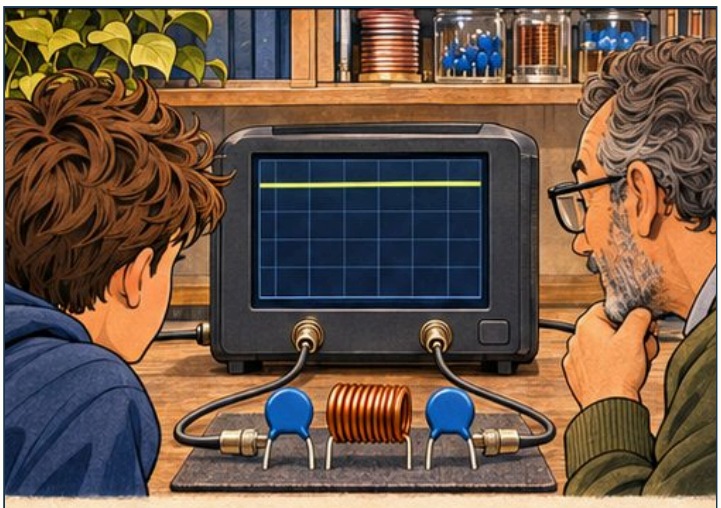


Derefter indsættes filteret mellem de to kabler.

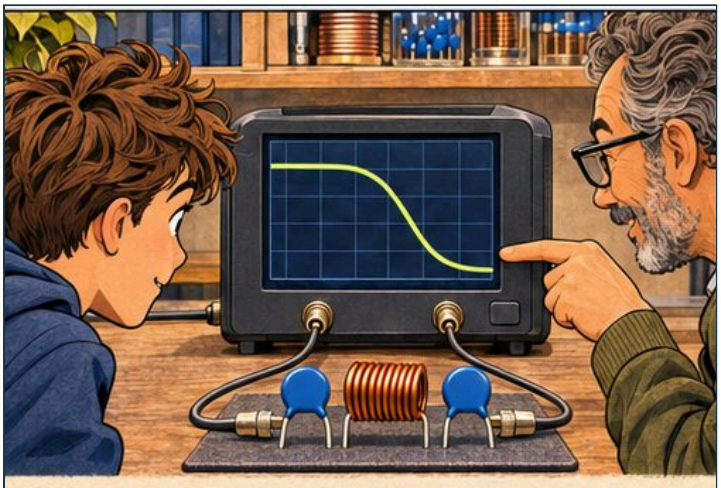
Det første sweep



De starter et sweep over det nyttige bånd og overgangen.



Kurven ligger højere ved lave frekvenser.



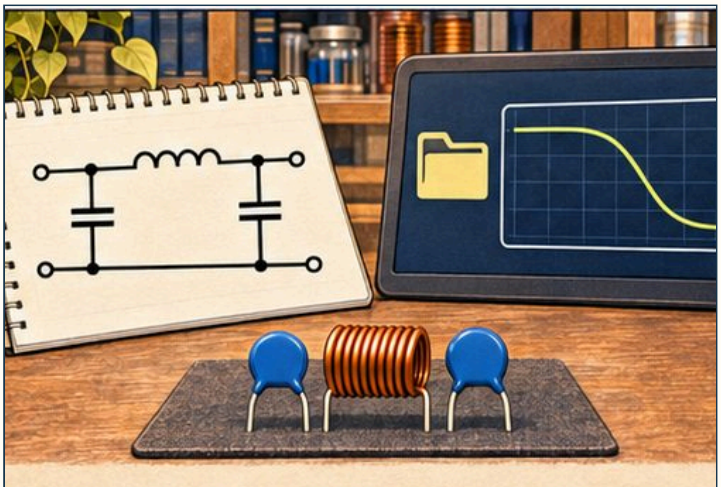
Den falder derefter, når frekvensen stiger.



Den unge genkender formen uden at antage perfekt lighed.

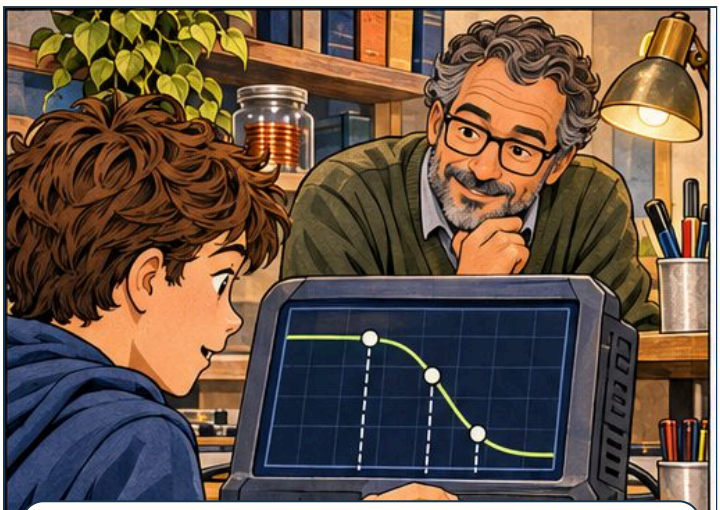


Han gemmer kurven og målebetingelserne.



Et gemt resultat kan sammenlignes efter hver ændring.

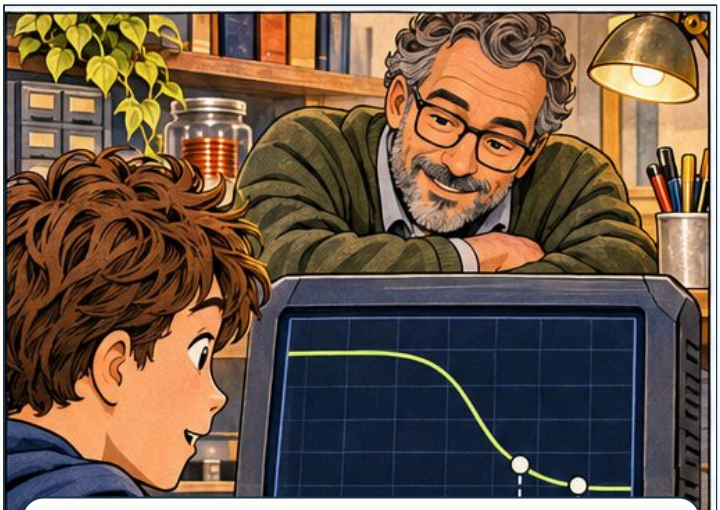
Aflæs bestemte punkter



Markører viser de frekvenser, der blev valgt i beregningen.



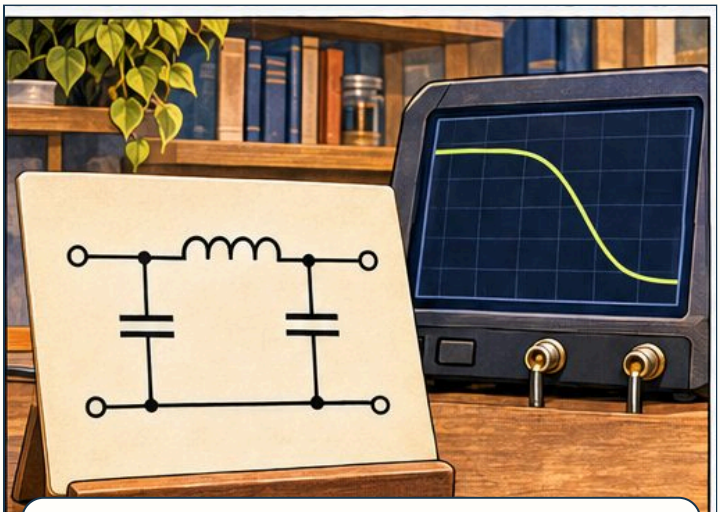
De aflæser transmissionen nær den forventede grænse.



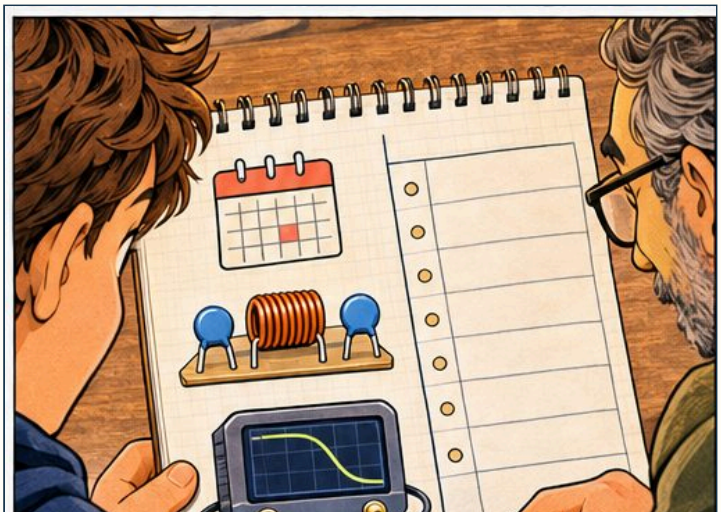
De undersøger også punkter ved højere frekvenser.



De faktiske aflæsninger skrives i målekolonnen.



De bevarer aflæsningen, også når den afviger fra forventningen.



Den unge noterer også dato og konfiguration.

Forstå en afvigelse



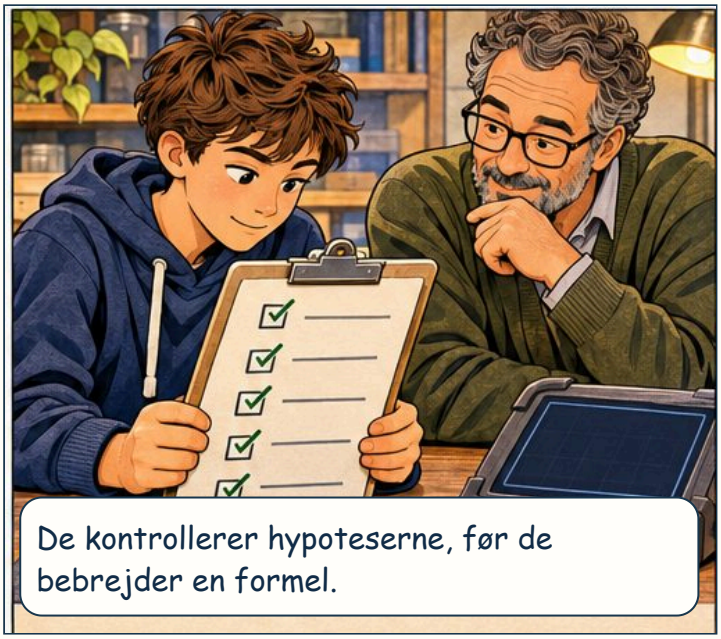
Den observerede grænse kan afvige fra den beregnede.



Valgte værdier og tolerancer giver de første spor.



Tab, opbygning og kalibrering bør også undersøges.



De kontrollerer hypoteserne, før de bebrejder en formel.

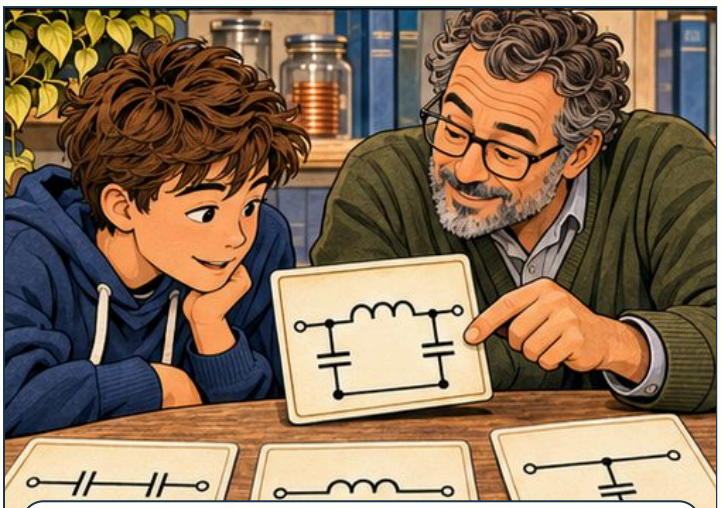


En anderledes kurve forklarer ikke alene sin årsag.

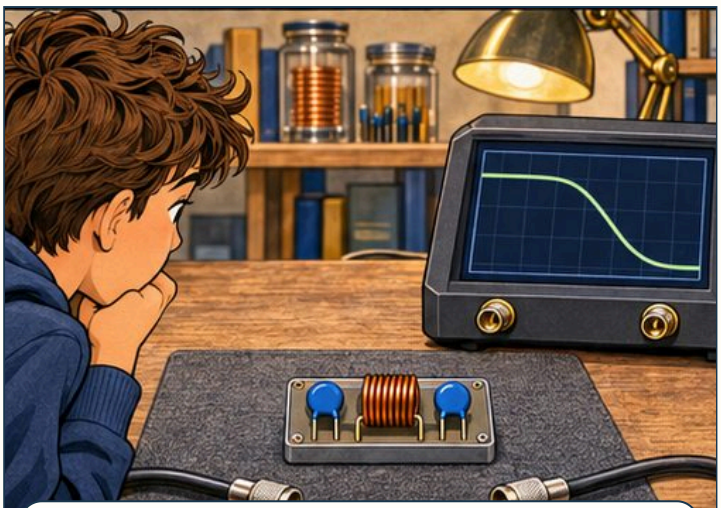


Den unge gør overraskelsen til et nyt spørgsmål.

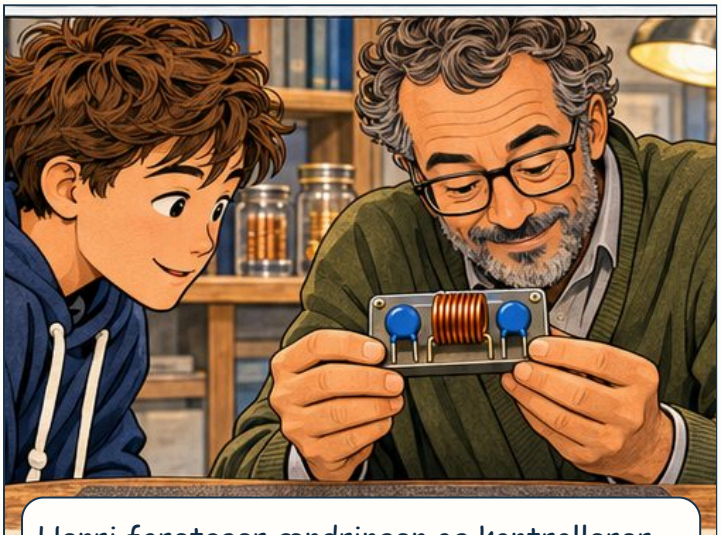
Én ændring ad gangen



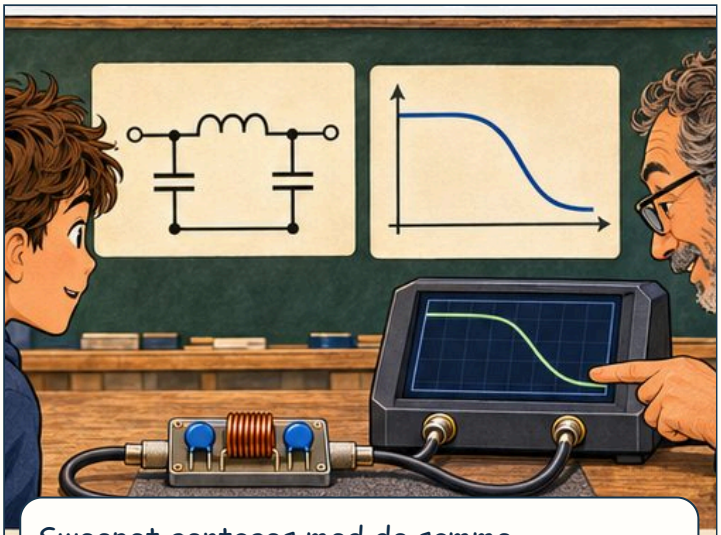
De vælger én hypotese og forbereder en begrundet ændring.



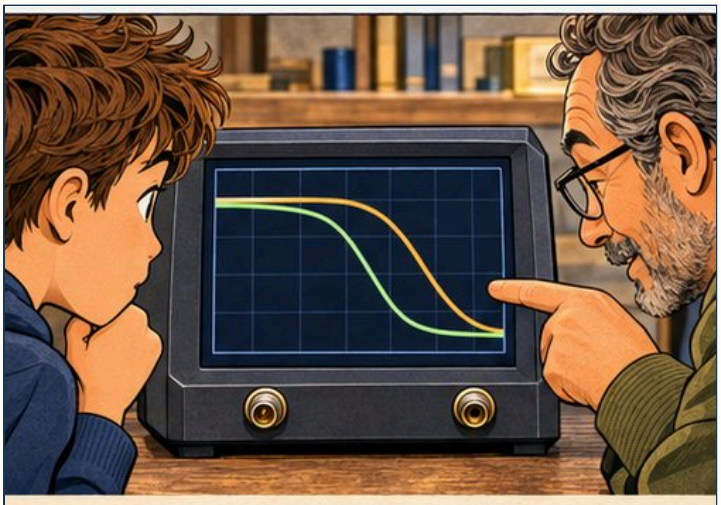
Kilden slukkes, og modulet frakobles før indgrebet.



Henri foretager ændringen og kontrollerer opstillingen.



Sweepet gentages med de samme dokumenterede betingelser.

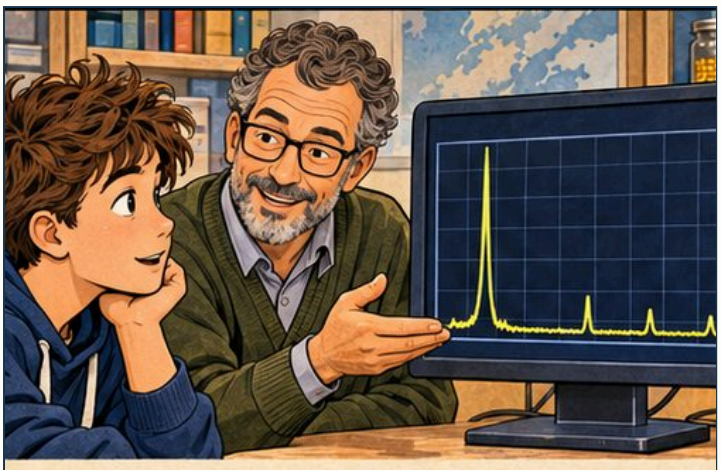


De sammenligner den gamle og den nye kurve.

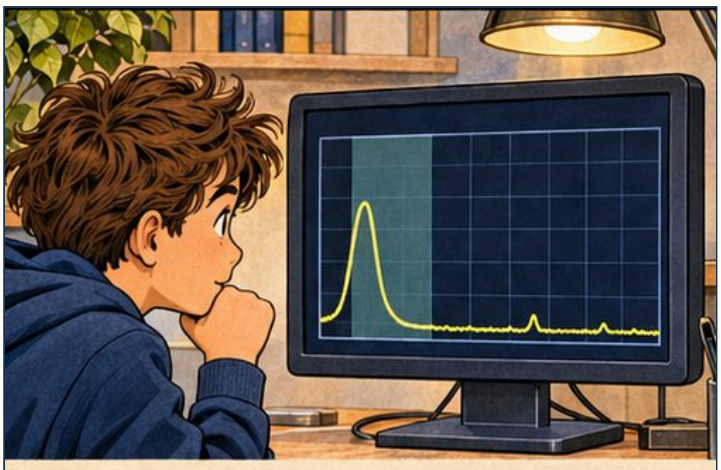


Metoden forhindrer, at flere mulige årsager blandes sammen.

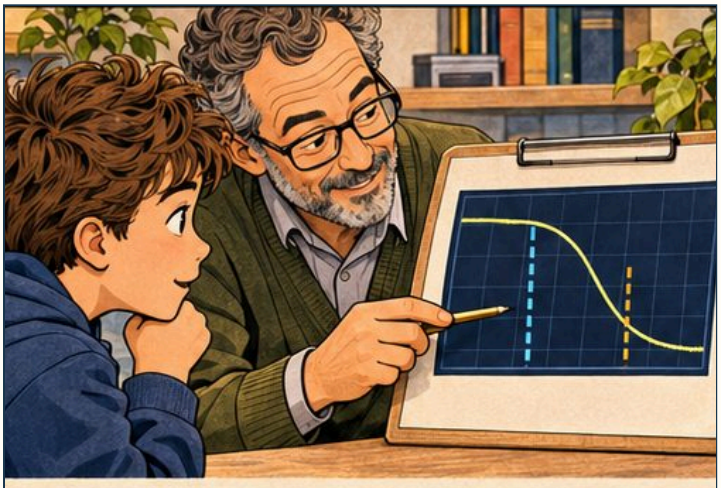
Dæmpningen har grænser



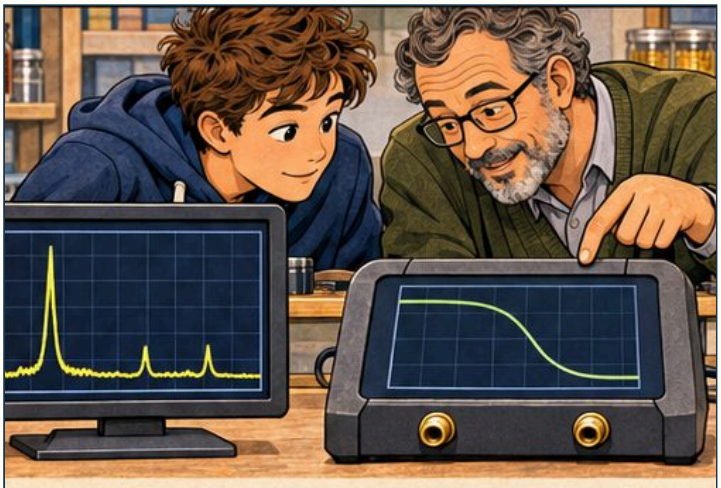
Et lavpasfilter fjerner ikke alle uønskede komponenter.



En komponent i pasbåndet bliver kun lidt dæmpet.



Undertrykkelsen afhænger af frekvensen og udførelsen.



En fuldstændig spektralkontrol kræver flere egnede målinger.



Filterets tilstedeværelse beviser ikke stationens regeloverholdelse.

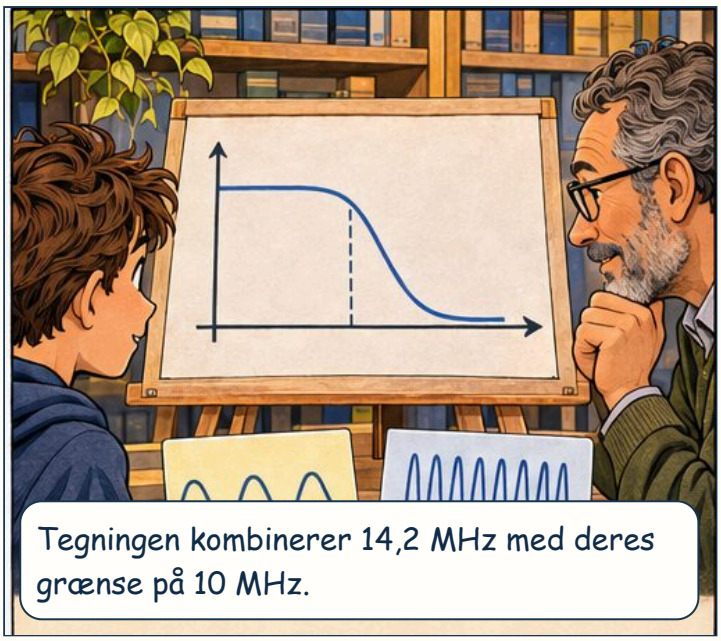


Den unge skelner mellem en nyttig funktion og en generel garanti.

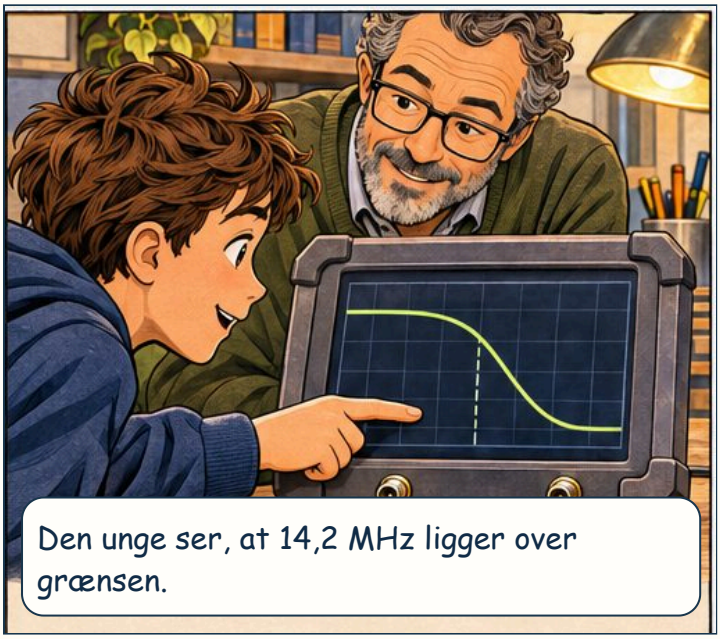
Den nyttige frekvens skal igennem



Mentoren viser til sidst en fælde på en stationstegning.



Tegningen kombinerer 14,2 MHz med deres grænse på 10 MHz.



Den unge ser, at 14,2 MHz ligger over grænsen.



Dette valg ville også dæmpe det ønskede signal.



Kravspecifikationen skal genovervejes før enhver anvendelse.



Et beregningseksempel er ikke et universelt filter.

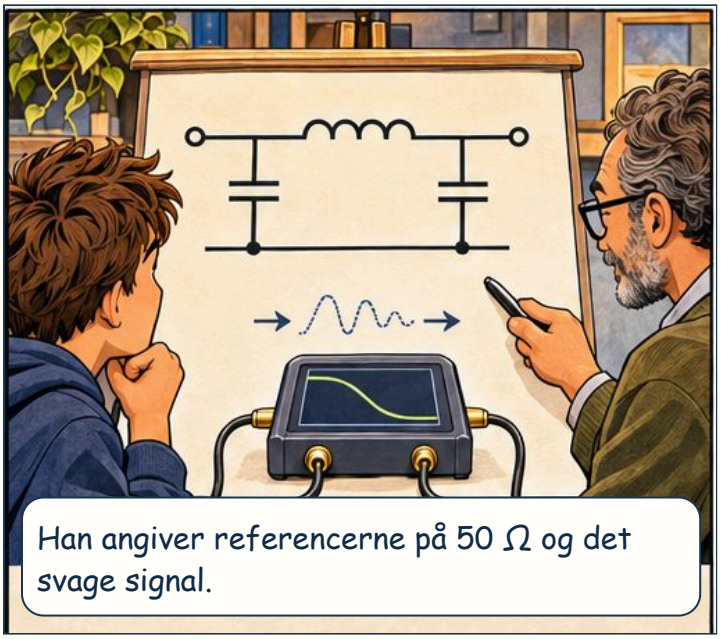
Forbered en forklaring til andre



Lucas samler behov, diagram, beregninger og komponentvalg.



Han skelner mellem forventninger og faktisk observerede resultater.



Han angiver referencerne på 50 Ω og det svage signal.



Han gemmer kurver, kalibrering og forsøgets begrænsninger.



Henri spiller besøgende og stiller et sidste spørgsmål.



Nu kan den unge forklare, hvorfor hver betingelse tæller.

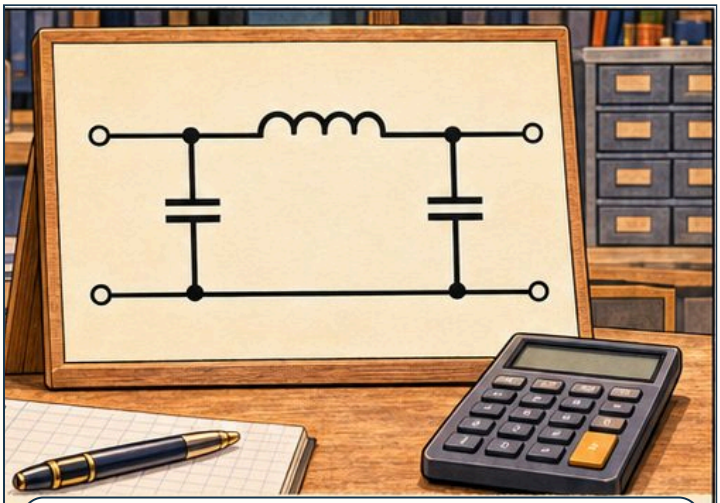
Forstå, beregn, mål



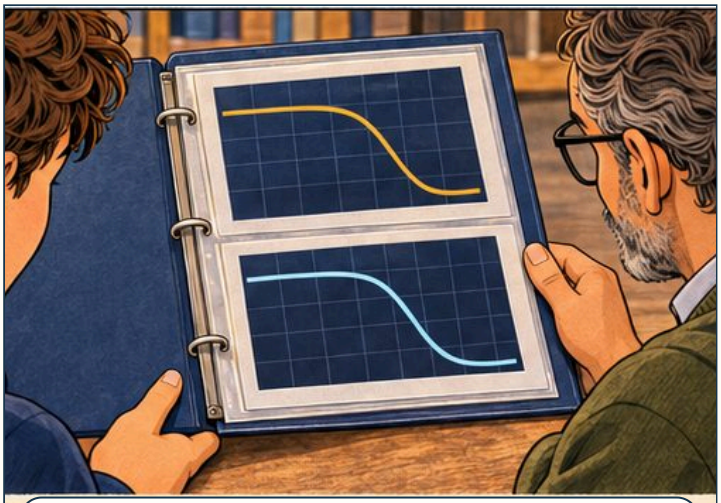
De tre komponenter lægges tilbage i undervisningskassen.



Den unge kan nu forbinde et behov med en filterrespons.



Han kan beregne dette Butterworth-π-filter og kontrollere enhederne.



Han kan også måle, sammenligne og undersøge afvigelser.



Notesbogen bevarer en metode med forudsætninger og begrænsninger.



Klubbens næste opdagelse begynder allerede med et spørgsmål.