ON4CRD

Del 05

Beräkning av filter



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Rättsliga meddelanden

Del 05 · Beräkning av filter

Webbplatsutgivare : Radio Club Durnal ON4CRD

Publikationsansvarig : Radio Club Durnal ON4CRD:s styrelse

https://on4crd.be

Rättsliga meddelanden

Immateriella rättigheter

Texter, bilder, dokument, logotyper och material som publiceras på webbplatsen förblir deras respektive författares eller klubbens egendom. All reproduktion eller återanvändning måste respektera källan, tillämpliga rättigheter och eventuella författares tillstånd.

Ansvar

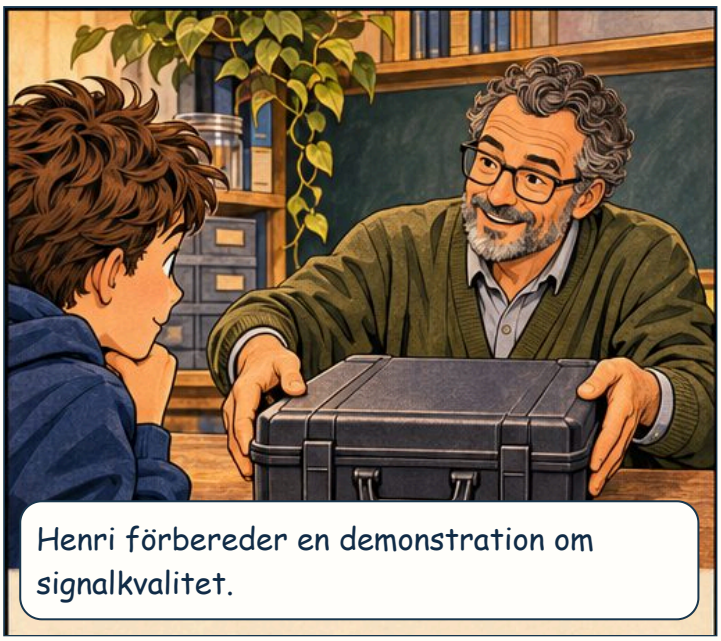
Klubben arbetar för att publicera användbar och verifierad information, men garanterar inte frånvaron av fel, utelämnanden eller avbrott. Teknisk eller regulatorisk information måste kontrolleras mot officiella källor när den stöder ett beslut.

Illustrationer skapade med hjälp av artificiell intelligens.

Ett nytt uppdrag



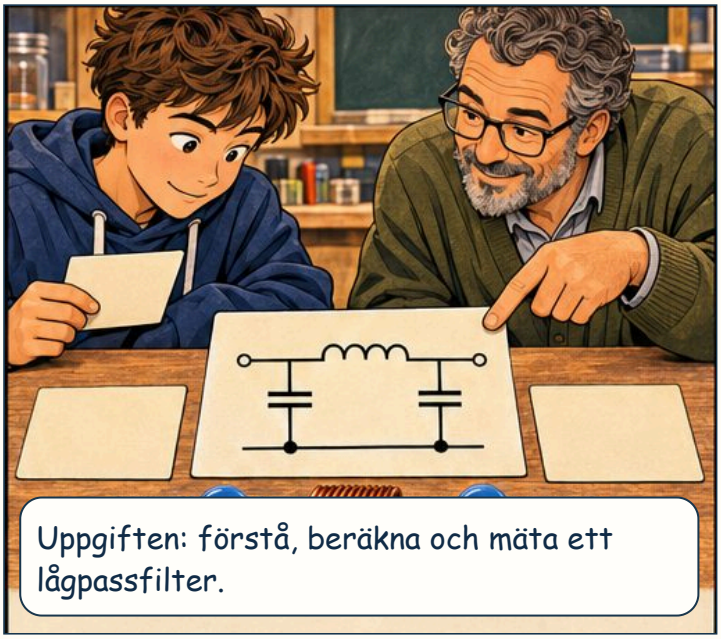
Efter elverkstaden tar Lucas fram sin anteckningsbok i klubben.



Henri förbereder en demonstration om signalkvalitet.



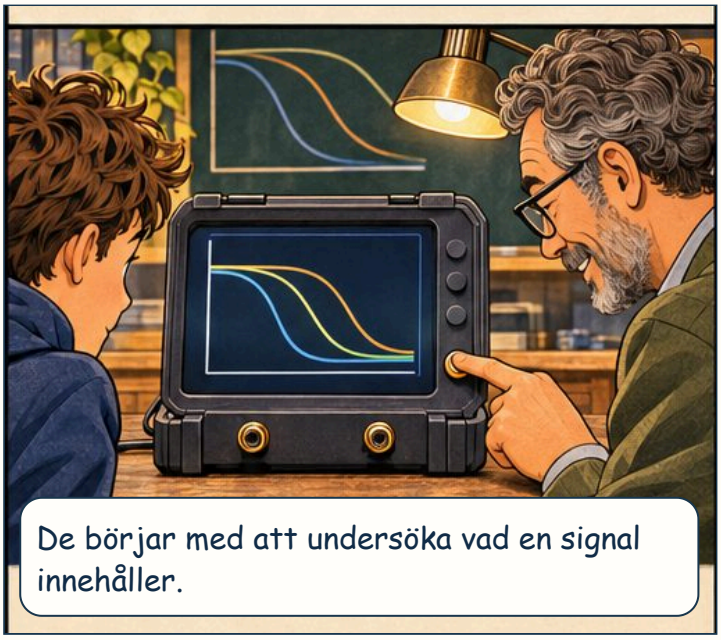
På bordet ligger två kondensatorer och en spole.



Uppgiften: förstå, beräkna och mäta ett lågpassfilter.



Den unge vill veta hur tre komponenter kan förändra allt.

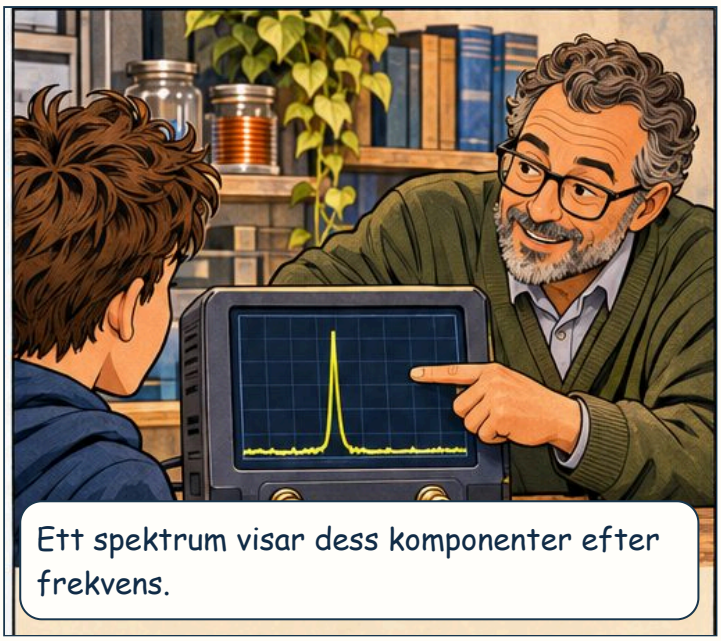


De börjar med att undersöka vad en signal innehåller.

Signalen och dess porträtt



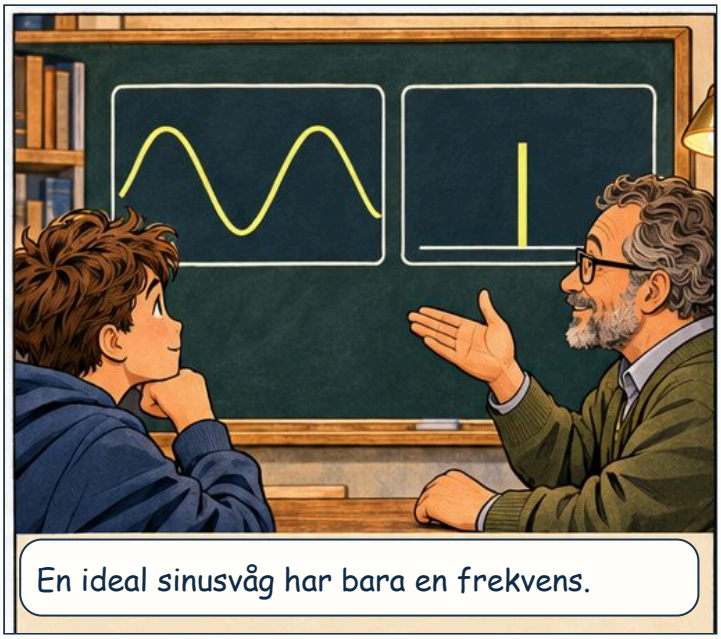
En tidskurva visar hur en signal förändras.



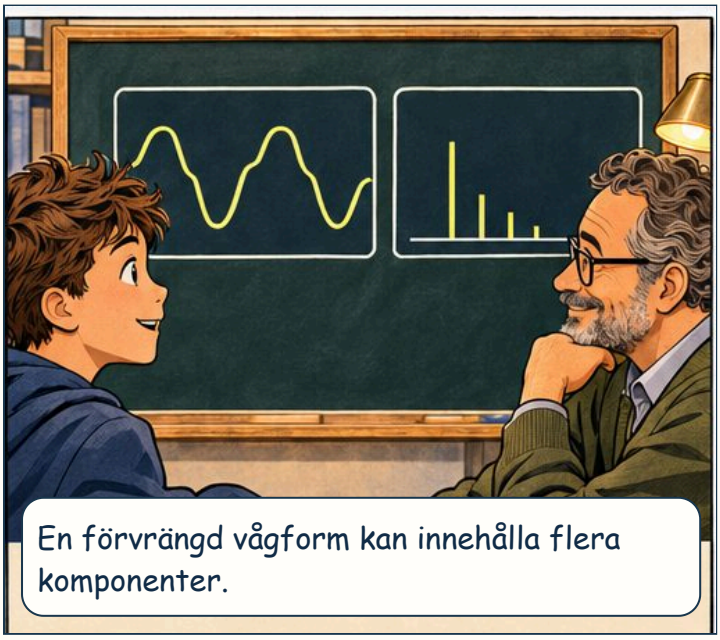
Ett spektrum visar dess komponenter efter frekvens.



De båda vyerna beskriver samma signal på olika sätt.



En ideal sinusvåg har bara en frekvens.

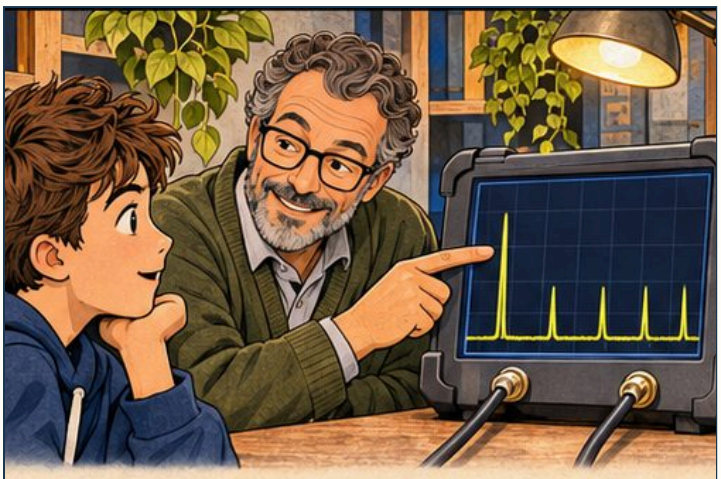


En förvrängd vågform kan innehålla flera komponenter.



Den unge upptäcker ett porträtt han inte kunnat läsa.

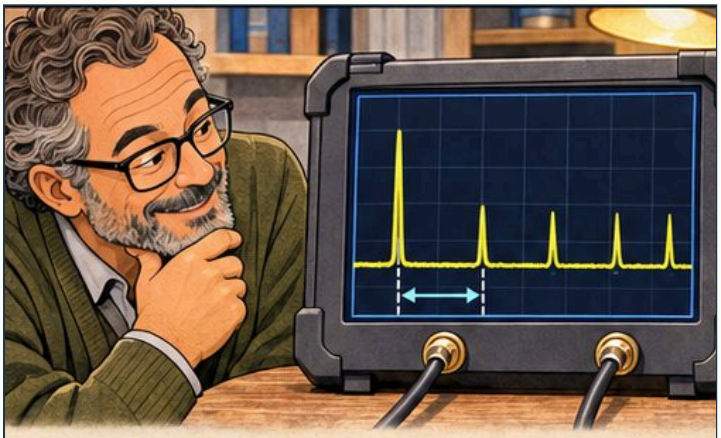
Övertonerna visar sig



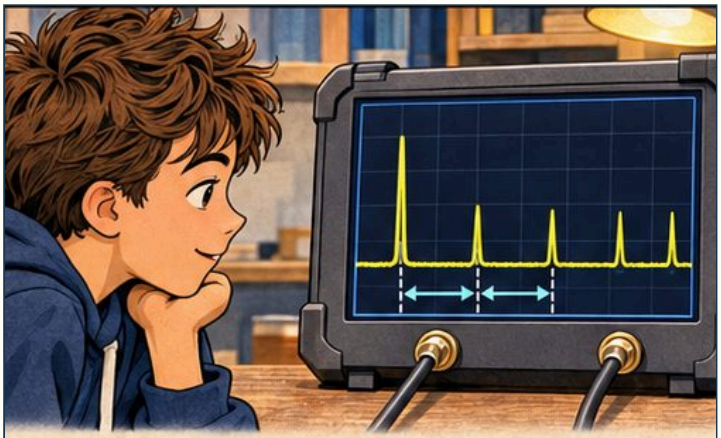
Grundfrekvensen är den första hållpunkten för en periodisk signal.



Dess harmoniska övertoner är heltalsmultiplar av denna frekvens.



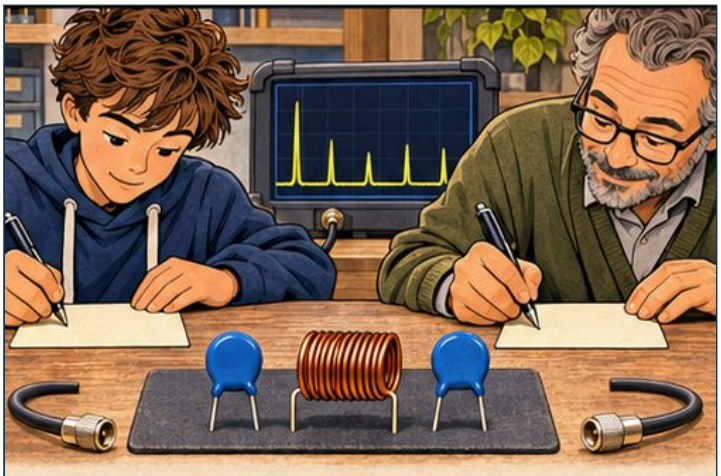
Den andra harmoniska frekvensen är två gånger grundfrekvensen.



Den tredje är tre gånger grundfrekvensen.

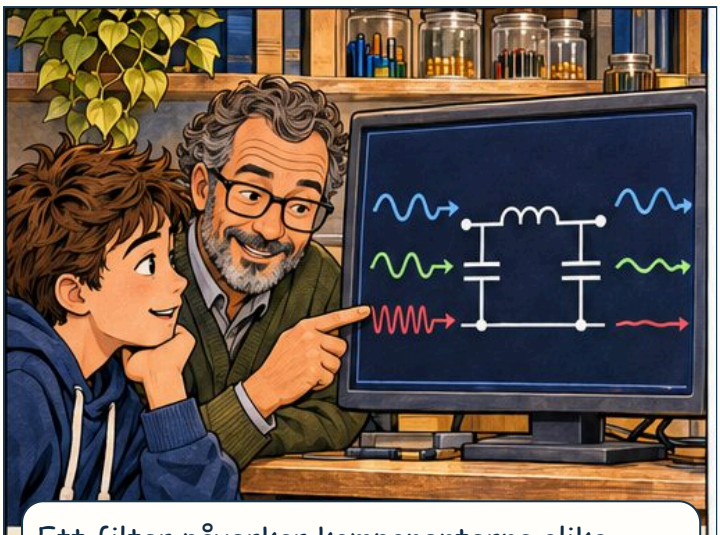


Men alla oönskade komponenter är inte harmoniska övertoner.

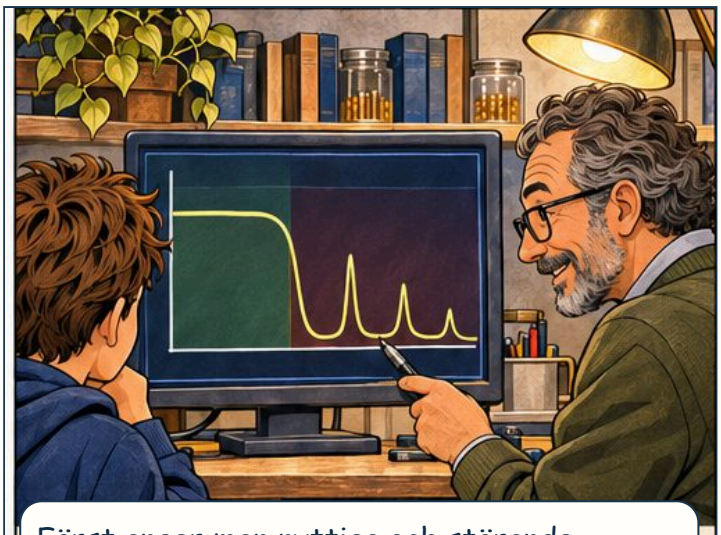


Filtret måste uppfylla ett noggrant definierat behov.

Välja vad som ska bevaras



Ett filter påverkar komponenterna olika beroende på frekvens.



Först anger man nyttiga och störande frekvenser.



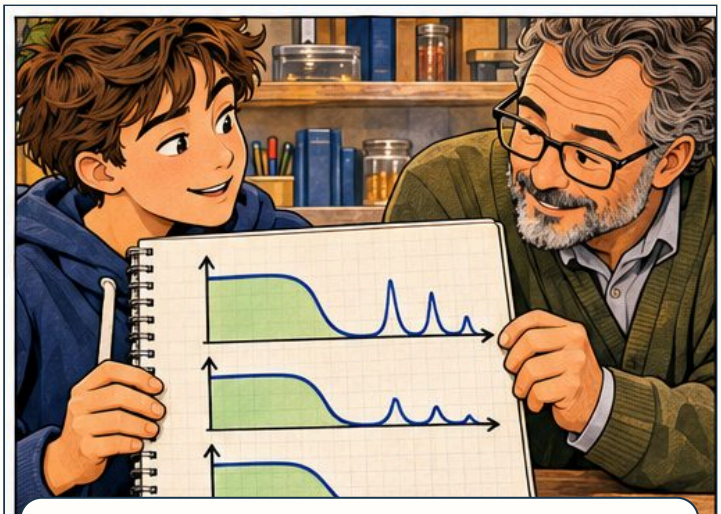
Man bestämmer också önskad dämpning.



Utan dessa mål vore komponentberäkningar knappast meningsfulla.

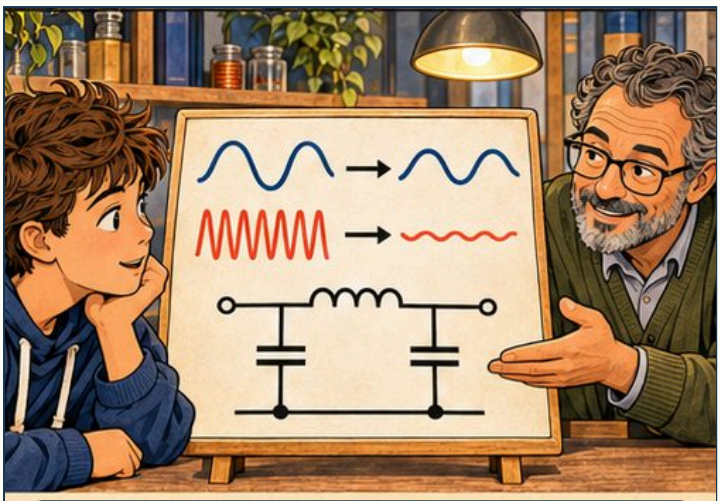


Den unge ringar in det nyttiga området i ett exempelspektrum.



Hans anteckningsbok blir en kravspecifikation.

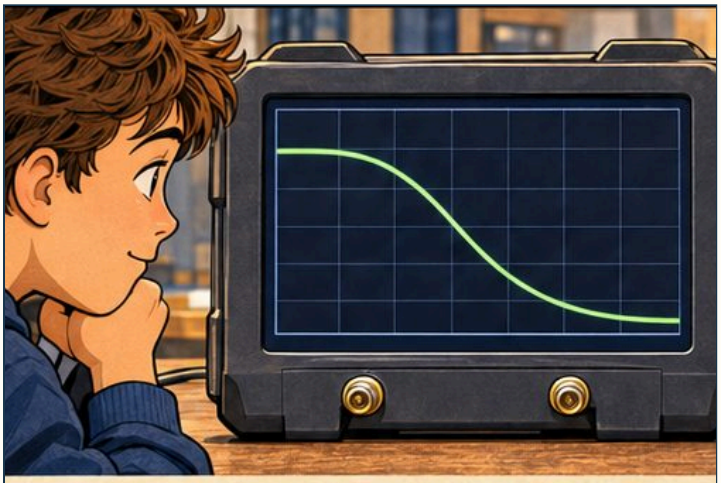
Valet av lågpassfilter



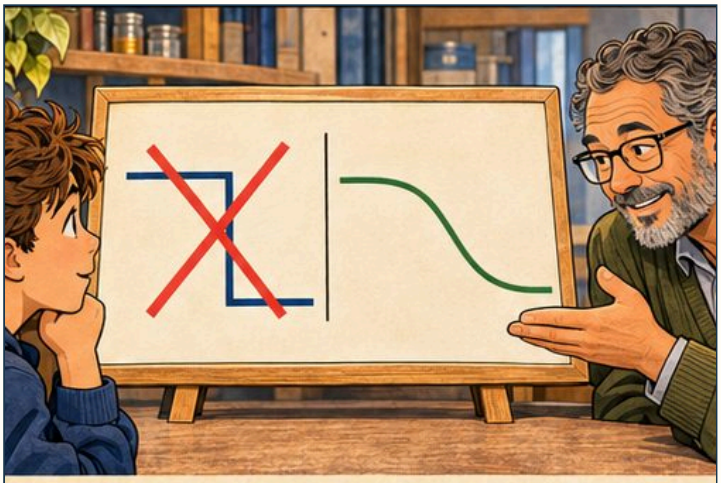
Ett lågpassfilter överför låga frekvenser bättre än höga.



Dess passband ligger på lågfrekvenssidan.



Högre upp ökar dämpningen gradvis.



Den verkliga övergången är aldrig en perfekt lodrät vägg.



Denna typ passar dagens demonstration.



Den unge ritar en sluttning i stället för en barriär.

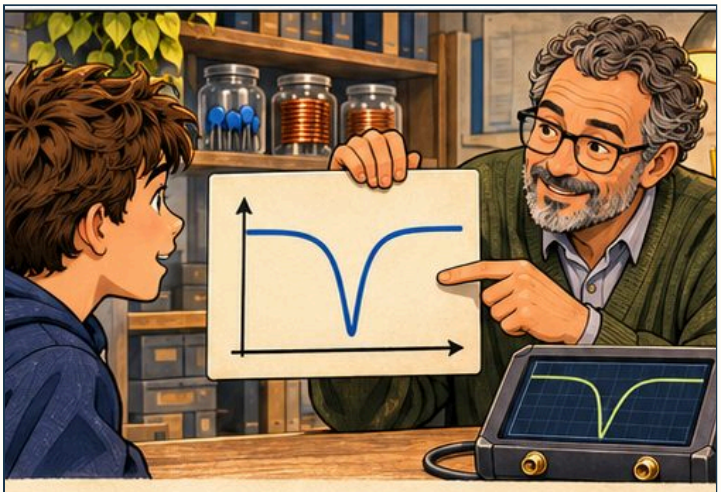
Andra möjliga vägar



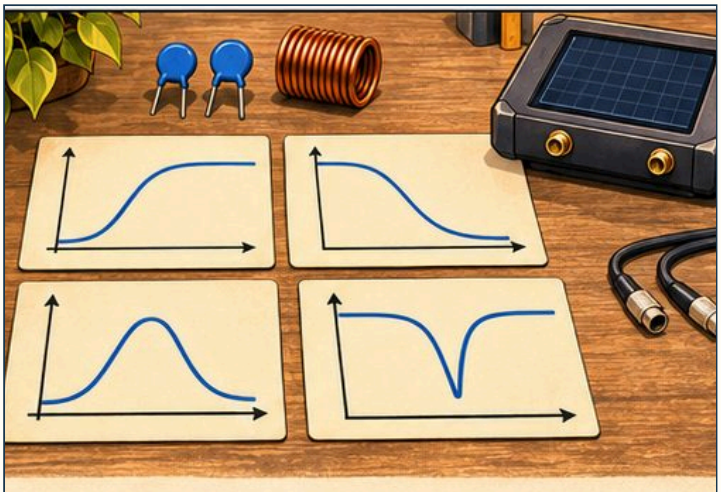
Ett högpassfilter dämpar låga frekvenser och bevarar höga.



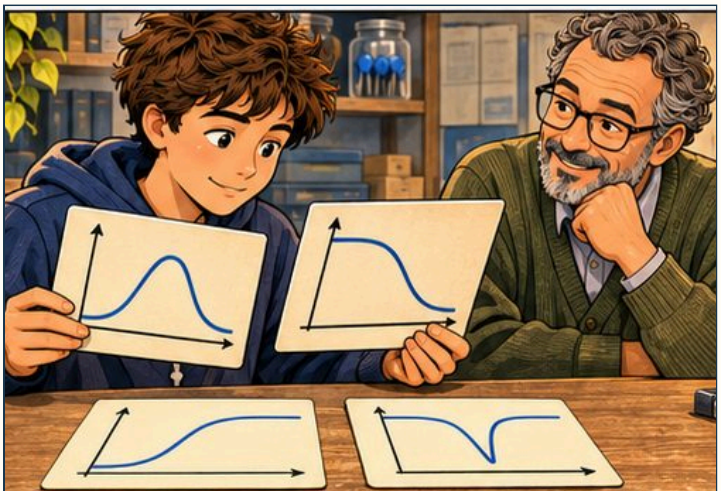
Ett bandpassfilter gynnar ett område mellan två gränser.



Ett bandspärrfilter dämpar i stället ett valt område.



Dessa familjer fyller olika behov.



Namnet beskriver ett frekvenssvar, inte en universell kvalitet.



Den unge lägger undan tre kort till nästa verkstad.

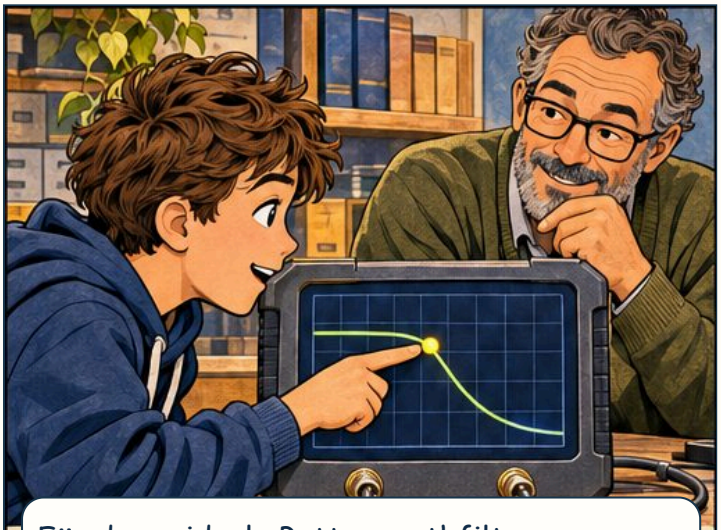
En gräns som ännu släpper igenom



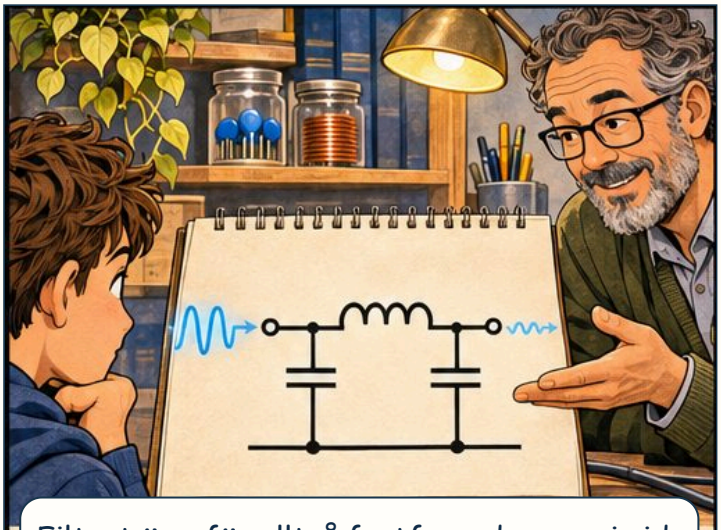
Gränsfrekvensen anger här en referensnivå.



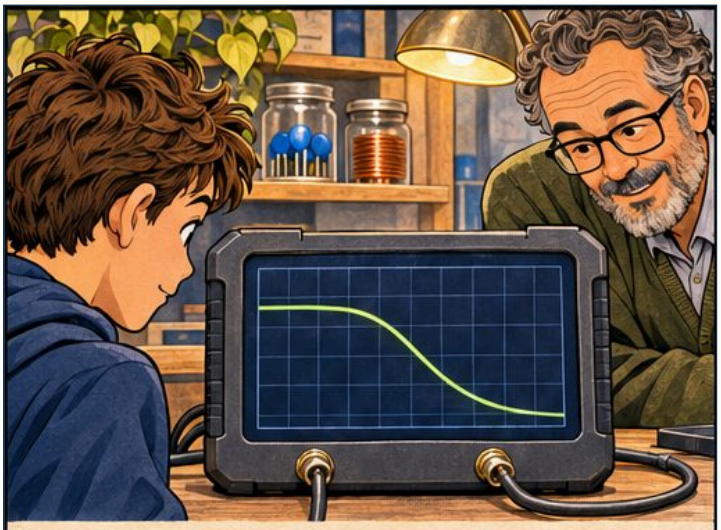
Den betyder inte att signalen plötsligt försvinner.



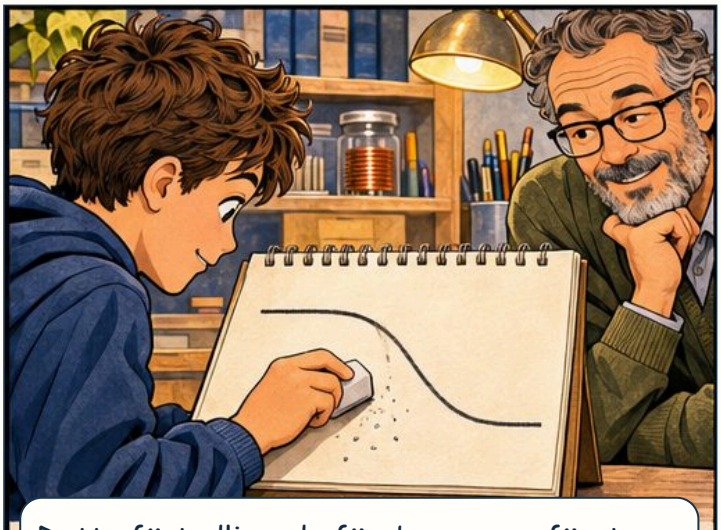
För deras ideala Butterworthfilter motsvarar den ungefär −3 dB.



Filtret överför alltså fortfarande energi vid denna frekvens.



Däröver fortsätter dämpningen att öka.

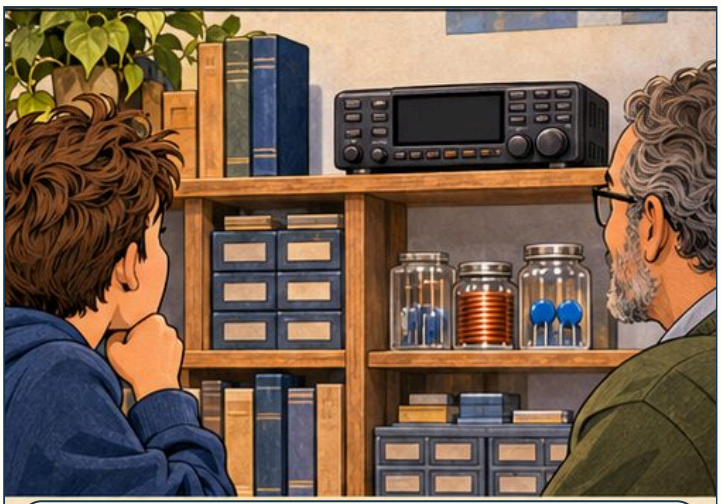


Detta förtydligande förebygger en första missuppfattning.

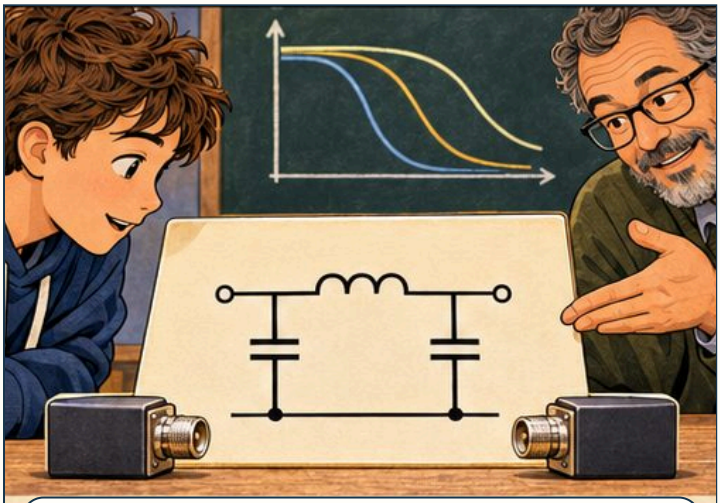
Ett laboratorieexempel



De väljer en teoretisk gränsfrekvens på 10 MHz.



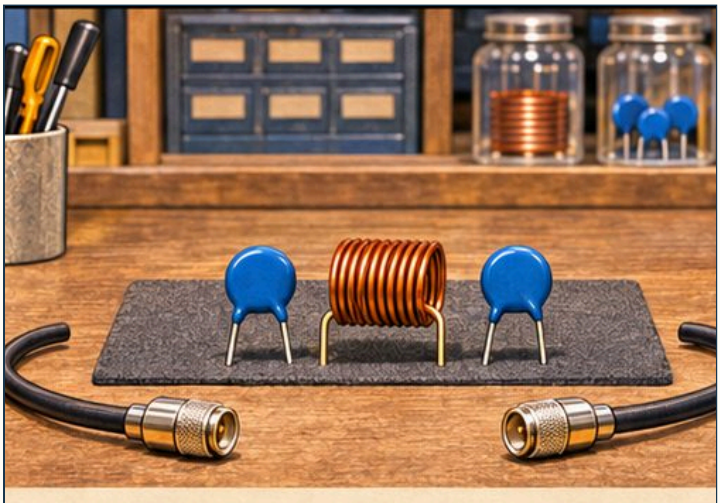
Värdet används för lärande och anger ingen sändningsfrekvens.



Källans och lastens referensimpedanser ska vara 50 Ω.



Kopplingen ska undersökas på mätbänken med en svag signal.



Ingen antenn eller sändare ska anslutas.

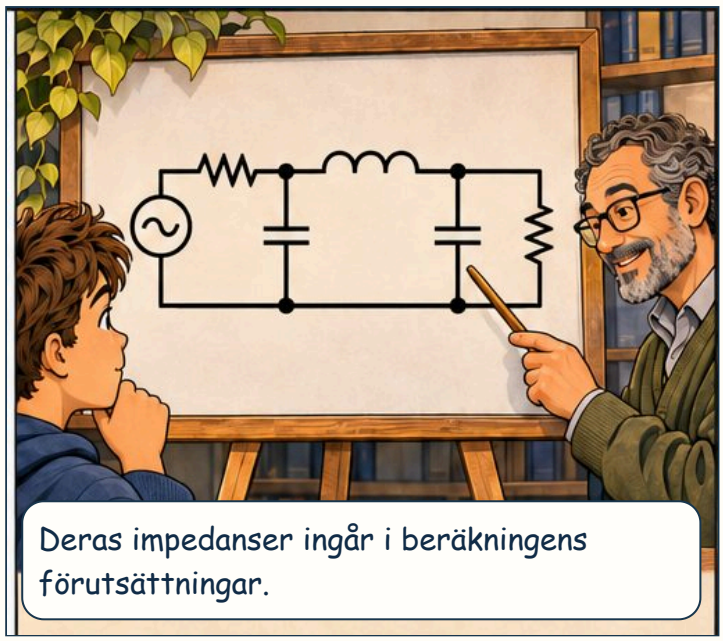


Målet är ett mätbart frekvenssvar, inte en radiokontakt.

Varför ange 50 ohm?



Ett filter arbetar mellan en källa och en last.



Deras impedanser ingår i beräkningens förutsättningar.



Här är båda idealt 50 Ω och rent resistiva.



Ändrade förutsättningar ändrar det erhållna svaret.

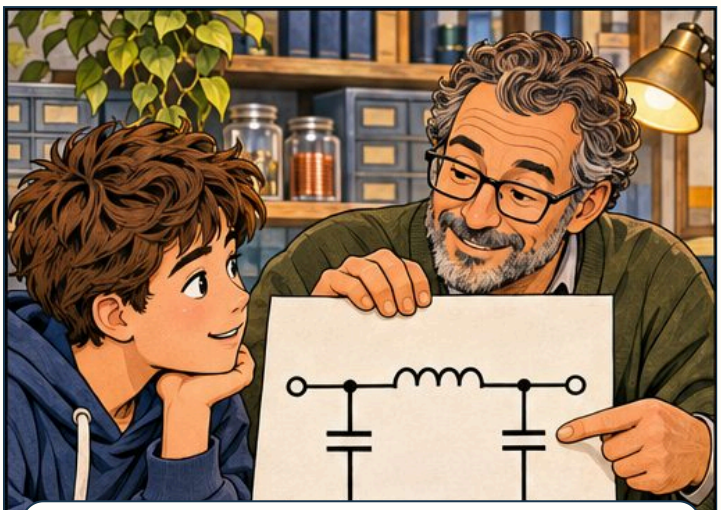


Det räcker därför inte att kopiera tre värden.



Den unge lägger till båda termineringarna i schemat.

Modellen och verkligheten



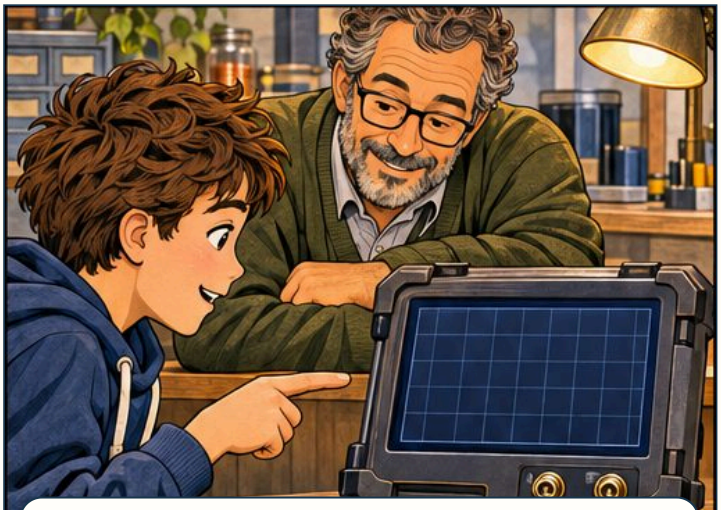
Beräkningen börjar med ideala komponenter utan förluster.



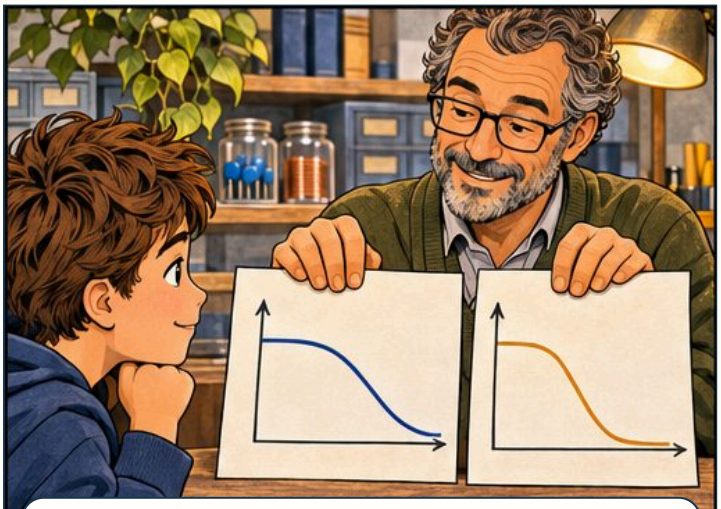
Den verkliga kopplingen får resistanser och parasitära effekter.



Modellen gör det möjligt att förutsäga ett första svar.



Mätningarna låter dem sedan undersöka skillnaderna.

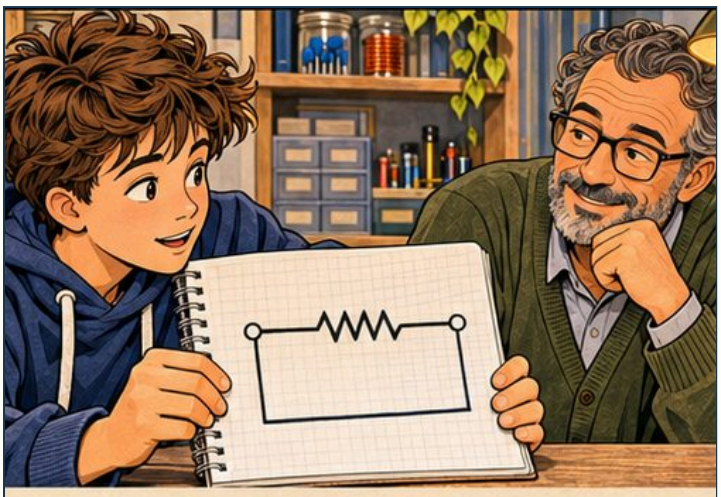


Att blanda ihop förutsägelse och resultat skulle dölja avvikelsernas orsaker.

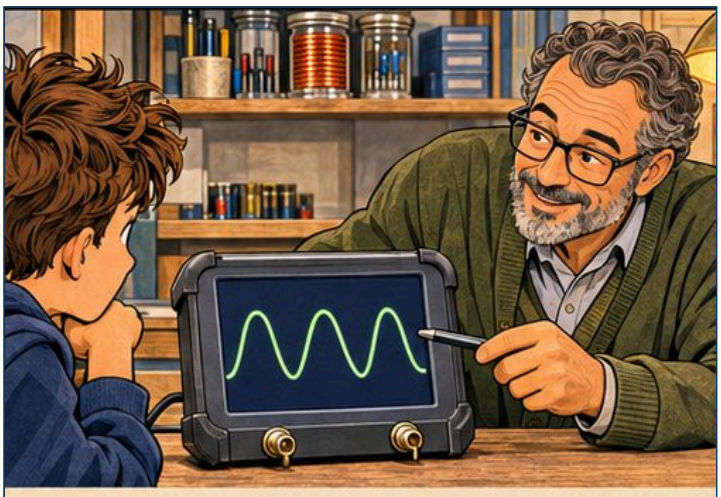


Anteckningsboken ger dem var sin plats.

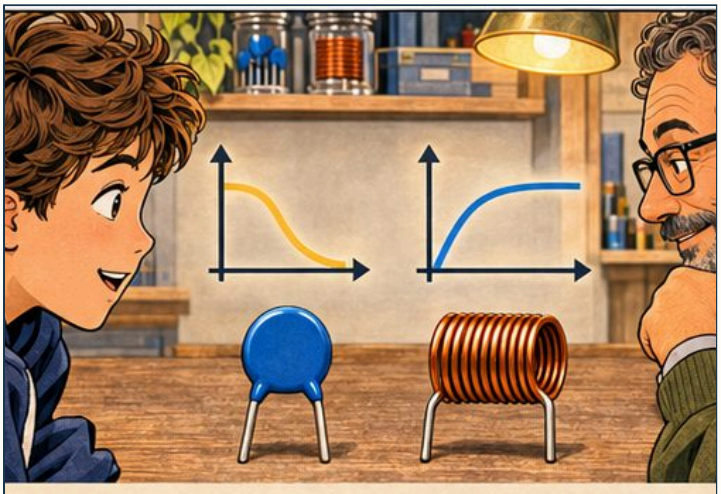
Resistans räcker inte längre



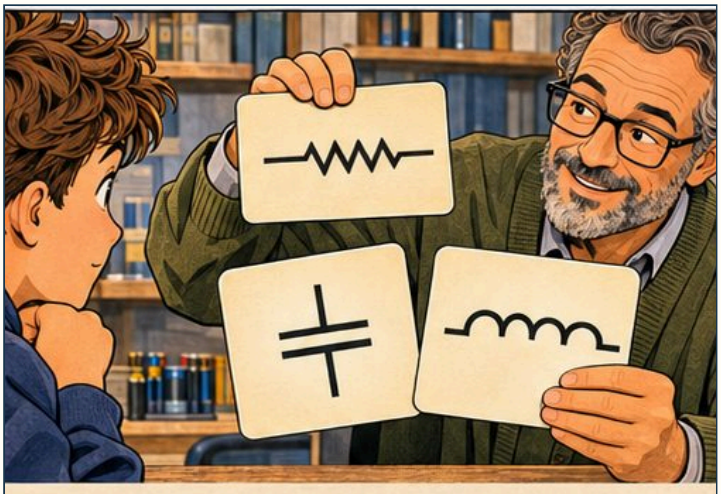
Förra boken förenade spänning, ström och resistans vid likström.



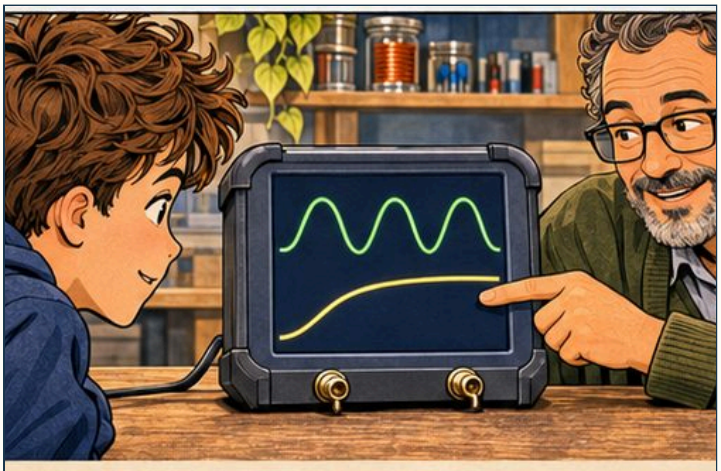
Här varierar signalen snabbt och frekvensen spelar roll.



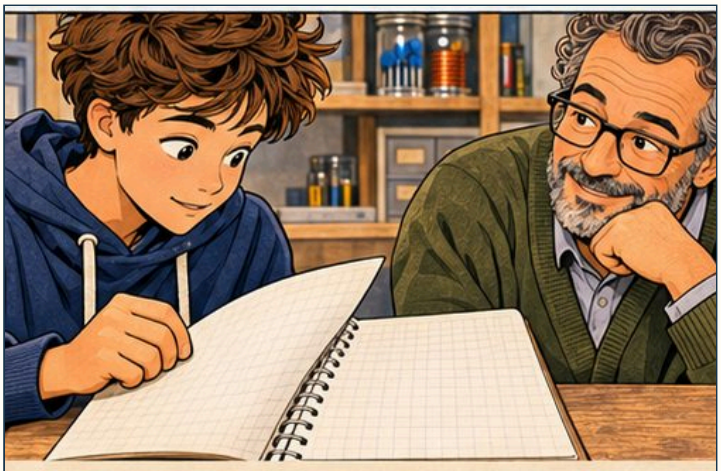
Kondensatorer och spolar ger ett frekvensberoende motstånd.



Denna reaktans är inte samma sak som vanlig resistans.



Impedansen beskriver det elektriska beteendet vid växelström mer fullständigt.

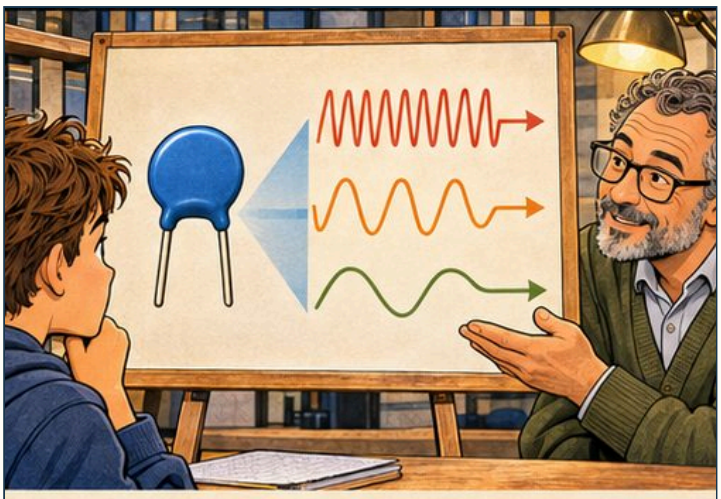


Den unge förstår varför en ny modell behövs.

Kondensatorns roll



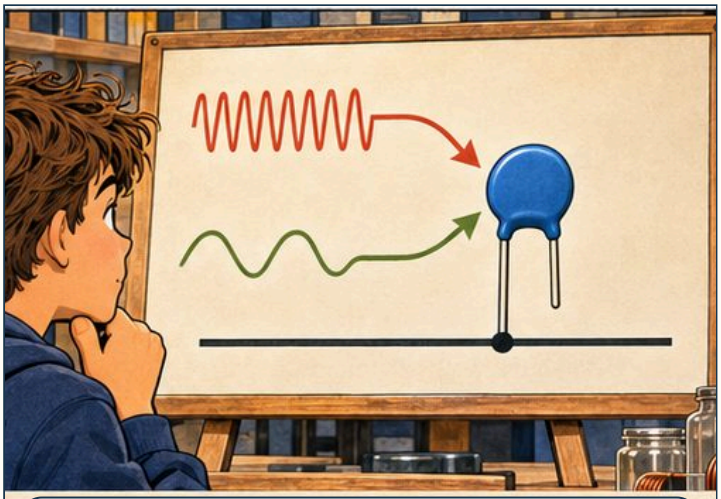
Kapacitans betecknas C och anges i farad, F.



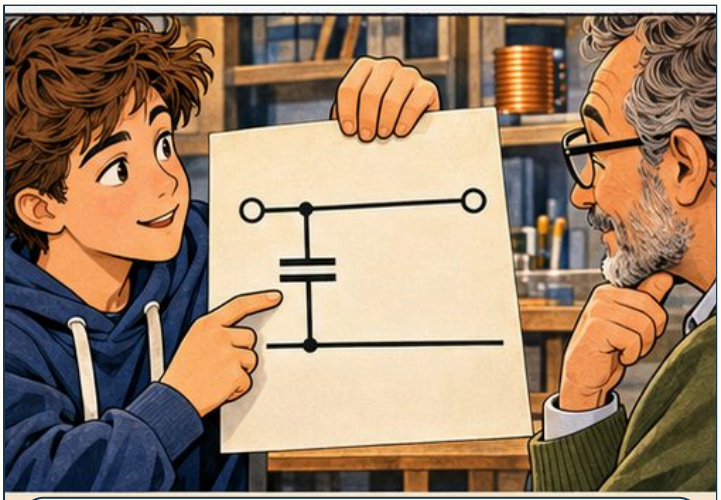
En ideal kondensators reaktans minskar när frekvensen ökar.



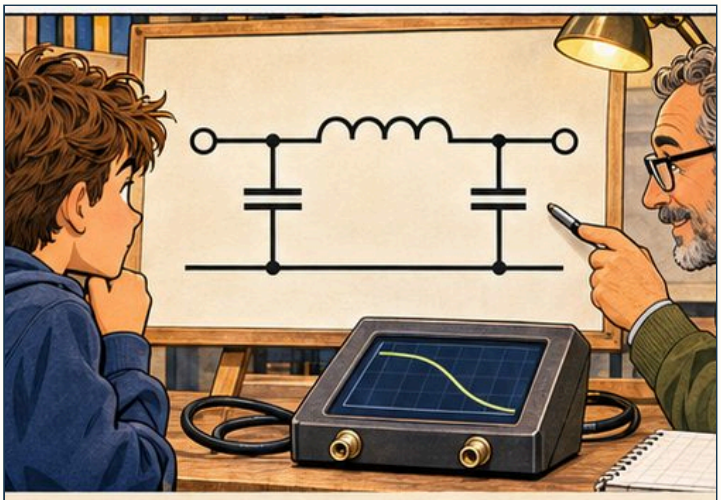
Dess absolutbelopp är Xc = 1/(2πfC).



Vid samma kapacitans möter höga frekvenser mindre reaktans.



I deras filter ska kondensatorerna anslutas till gemensam jord.

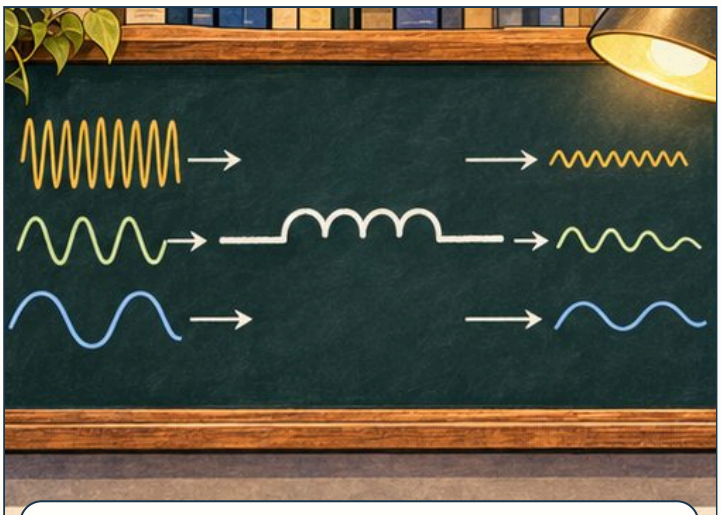


Deras roll beror också på resten av kretsen.

Spolens roll



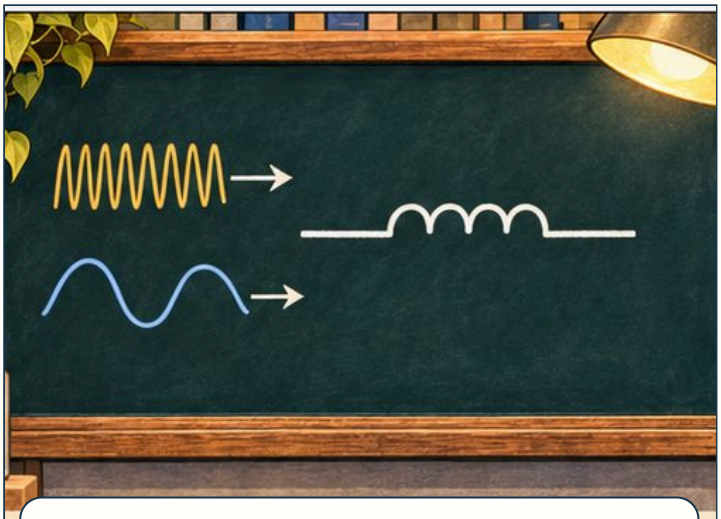
Induktans betecknas L och anges i henry, H.



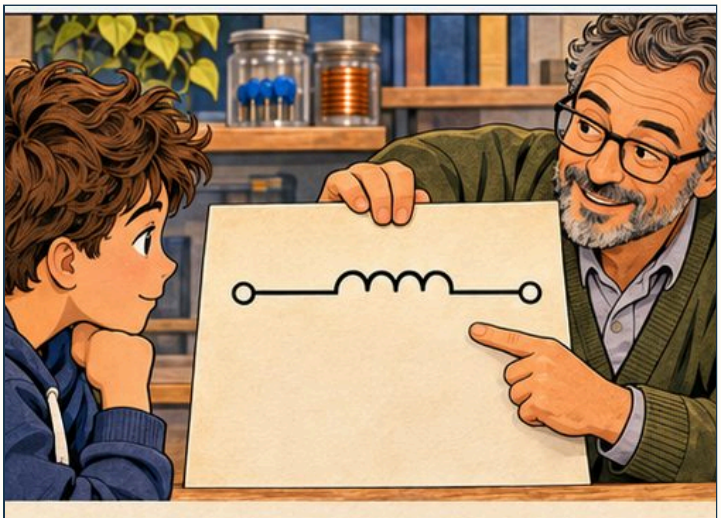
En ideal spoles reaktans ökar med frekvensen.



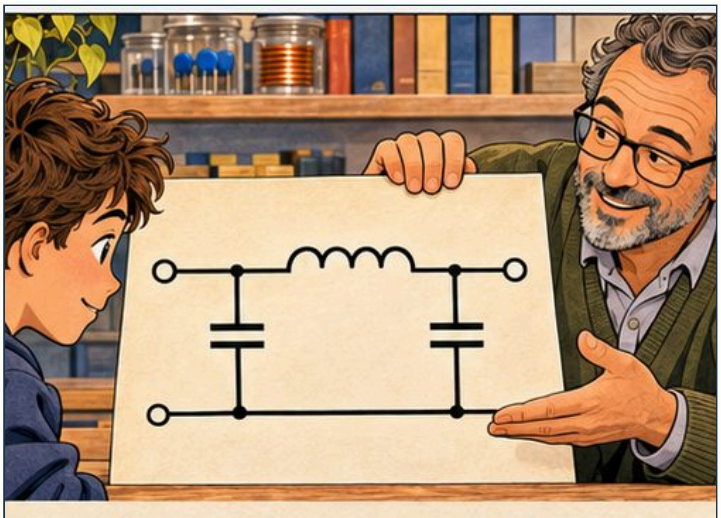
Dess absolutbelopp är $X_L = 2\pi fL$.



Vid samma induktans möter höga frekvenser större reaktans.

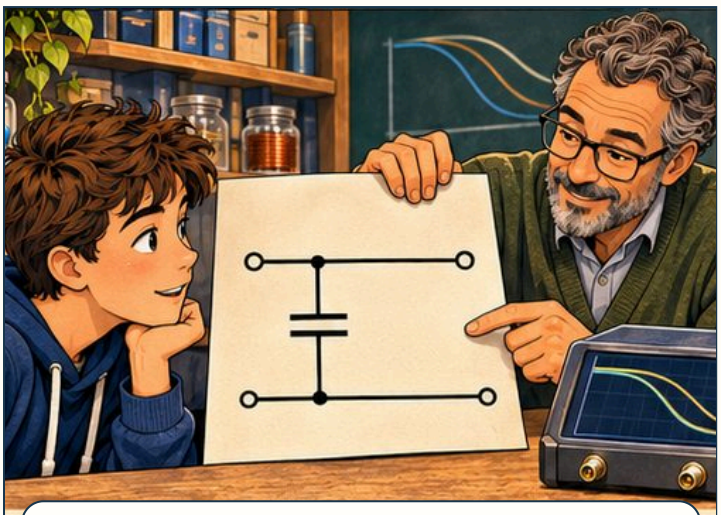


I deras filter ska spolen ligga i signalvägen.

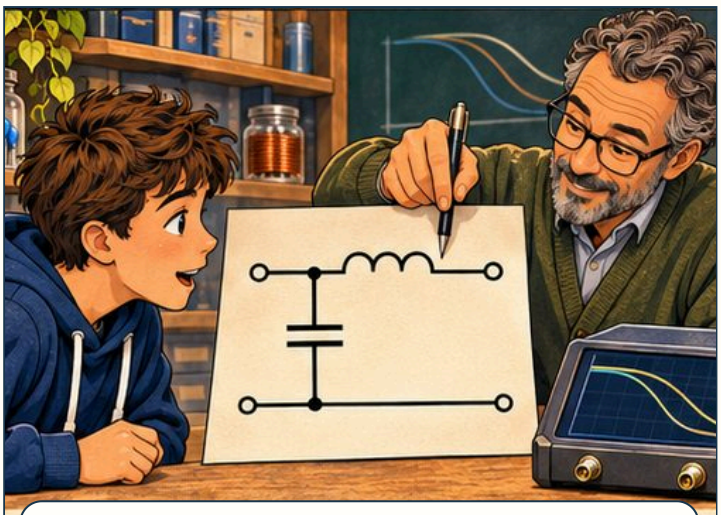


De båda komponenttyperna ska samverka.

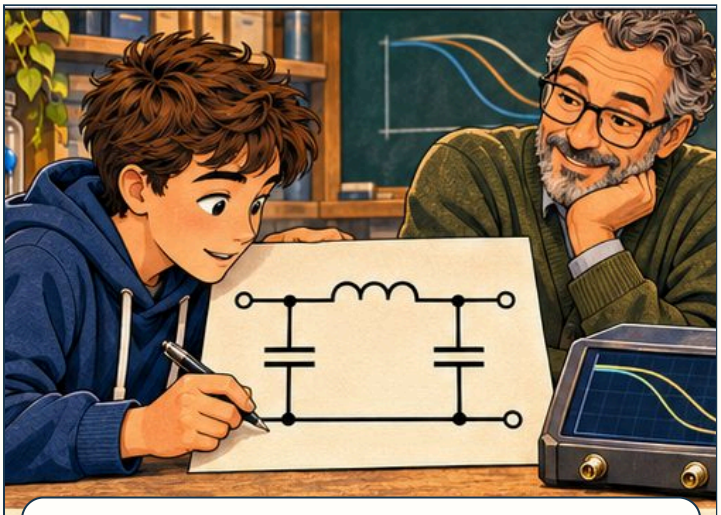
Schemat får formen π



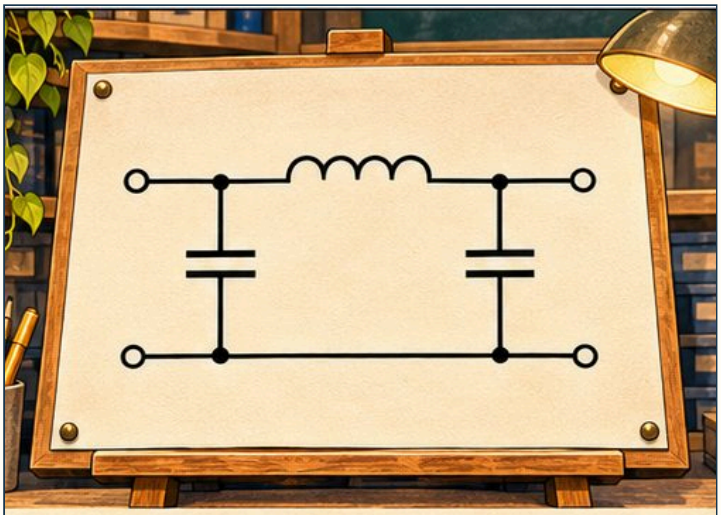
Ingången ansluts till en första kondensator mot jord.



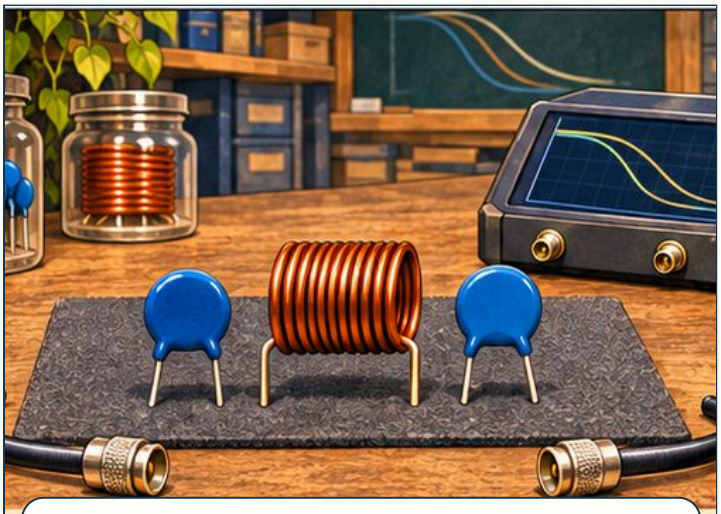
En spole förbinder sedan ingång och utgång i serie.



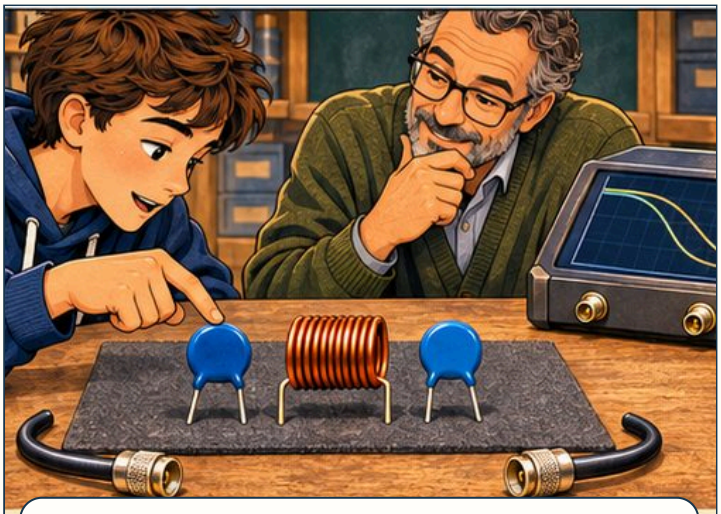
En andra kondensator förbinder utgången med samma jord.



Två grenar går ned på var sin sida om spolen.



Uppställningen påminner om den grekiska bokstaven π.

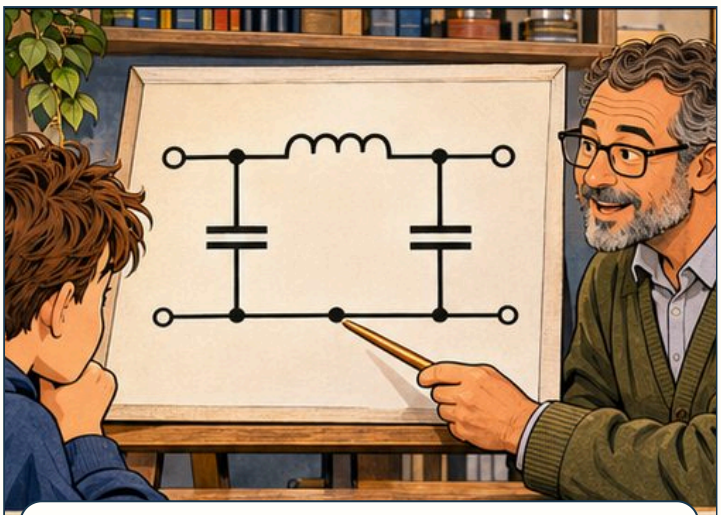


Den unge följer varje förbindelse med pennan.

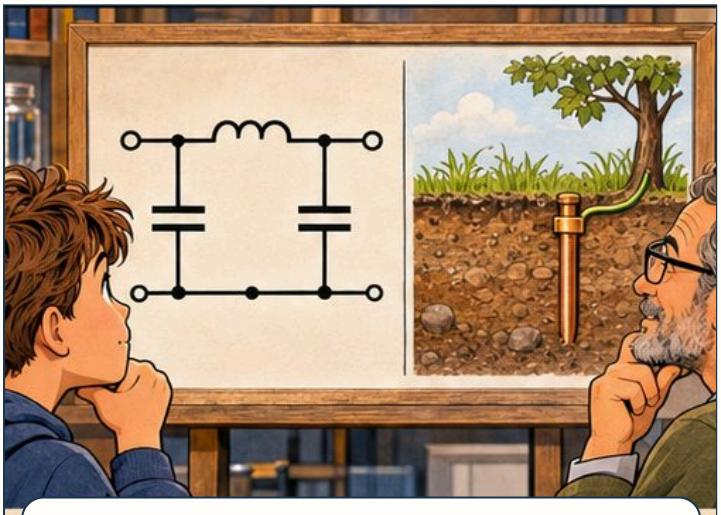
Schemat och dess jord



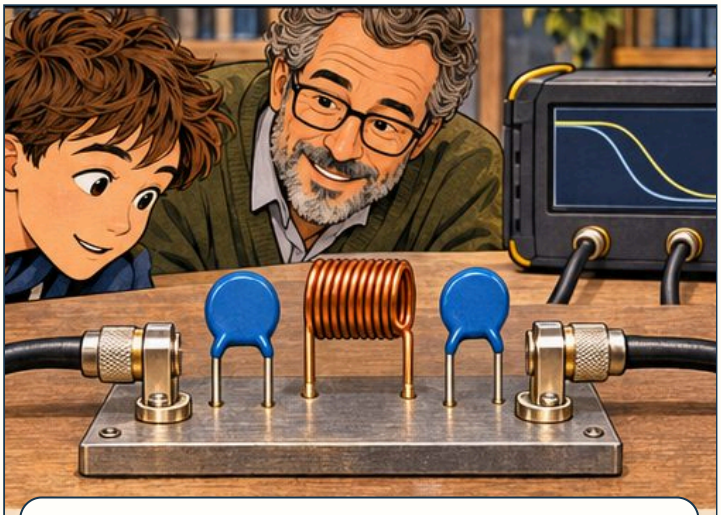
De två kondensatorerna har en gemensam elektrisk referens.



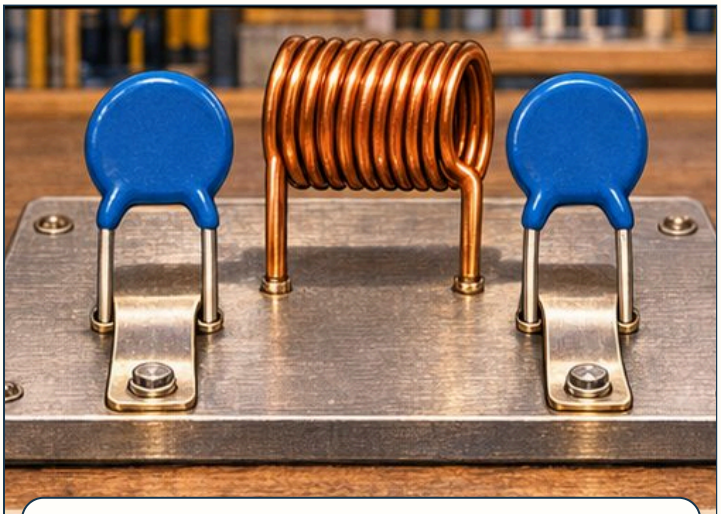
Jordsymbolen betecknar här denna referens i kopplingen.



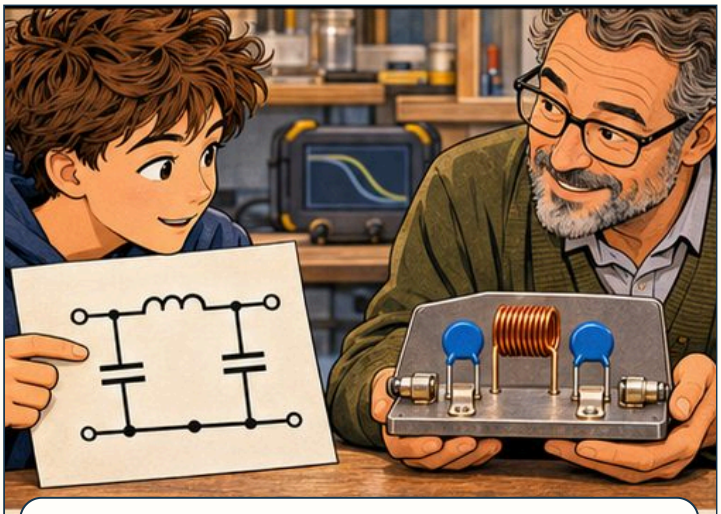
Den betyder inte automatiskt en anslutning till markjord.



Koaxialskärmarna ansluts till denna jord enligt den planerade kopplingen.



En kort förbindelse begränsar vissa parasitära effekter.

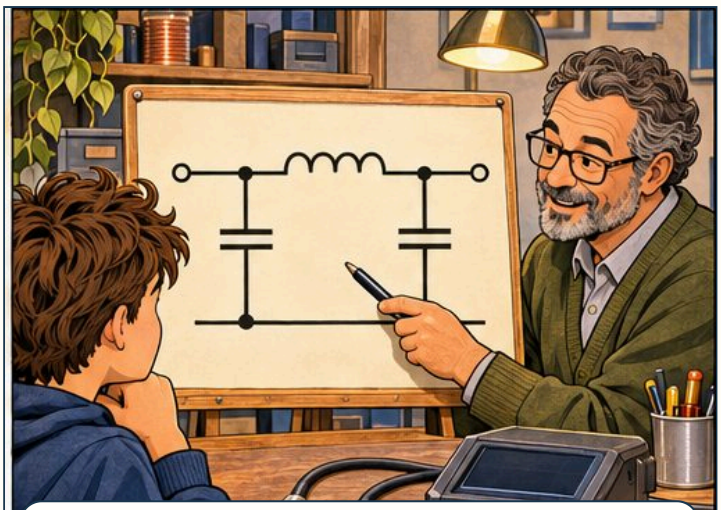


Den unge skiljer symbolen från dess praktiska utförande.

Tre element och en ordning



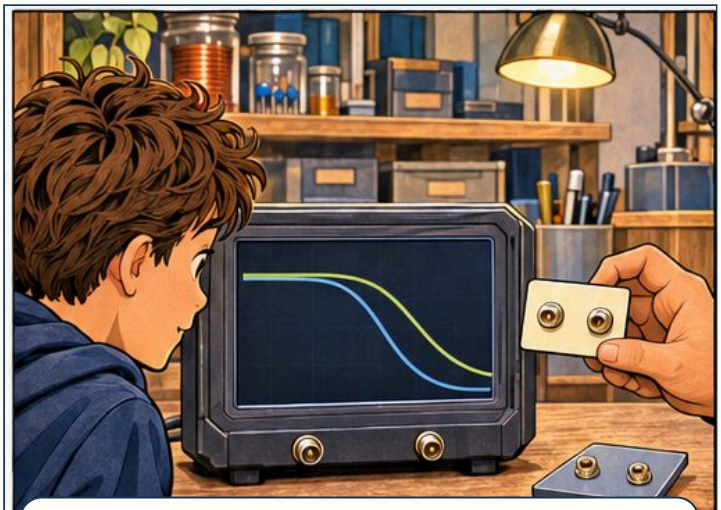
Detta ideala nät har tre reaktiva element: C, L och C.



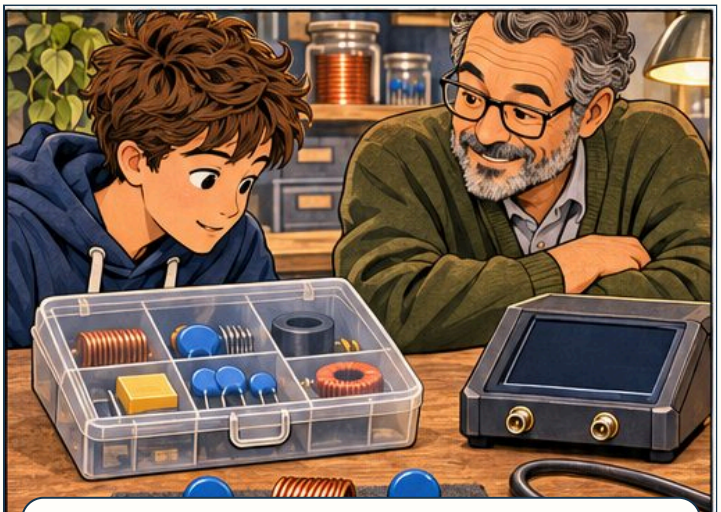
Här bildar de ett lågpassfilter av tredje ordningen.



Ordningen anger bland annat modellens lutning långt bort.



En felaktig impedans skulle ändå ändra svaret.



Slumpmässigt tillagda komponenter ger inte det önskade filtret.

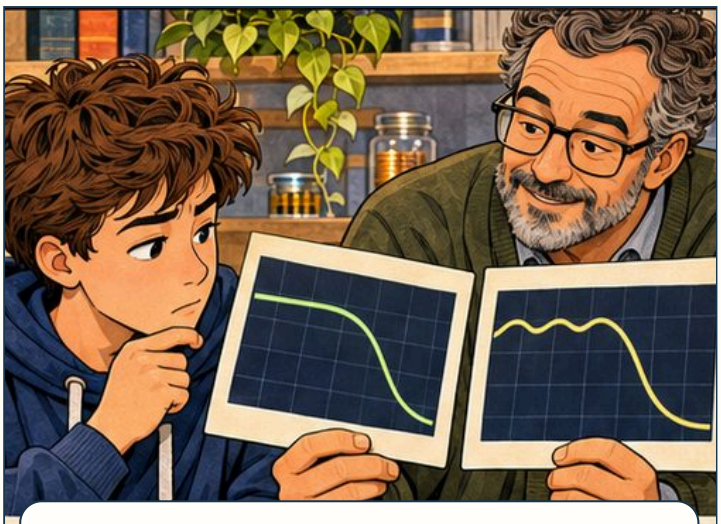


Schemats form måste stämma med beräkningen.

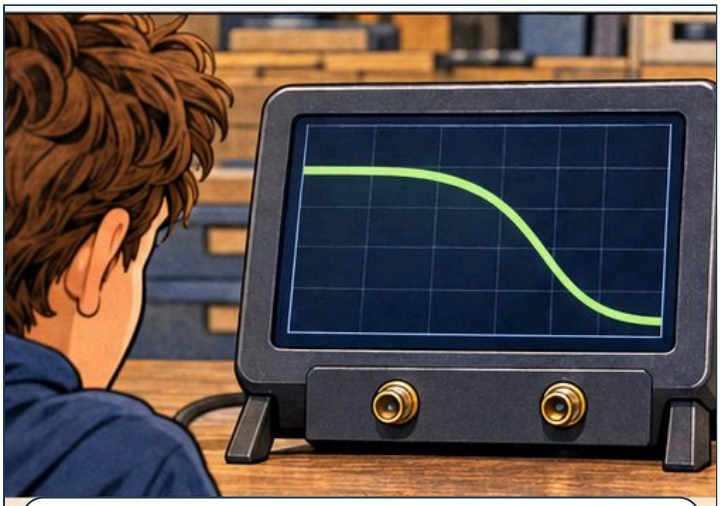
Varför Butterworth?



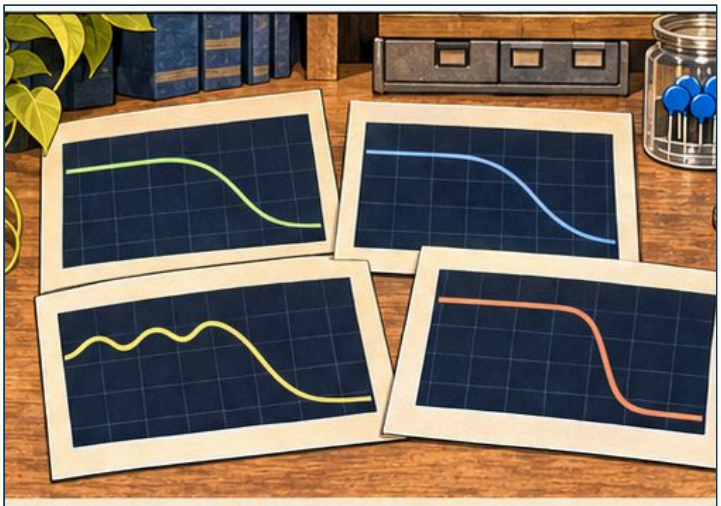
Butterworthsvaret är maximalt plant i passbandet.



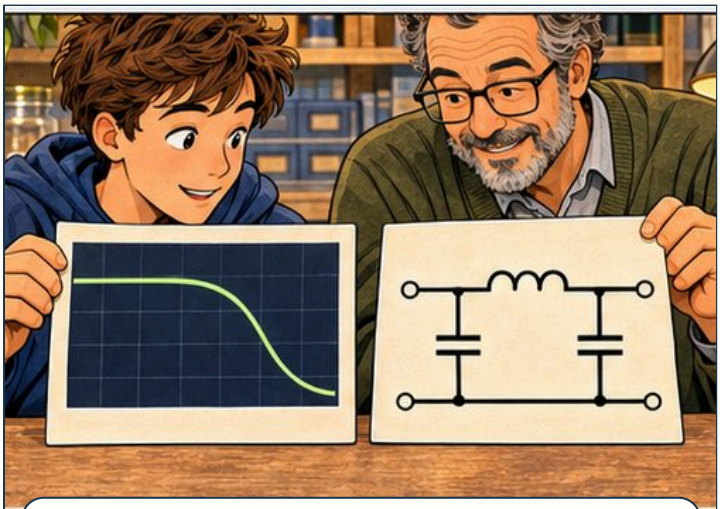
Den ideala modellen har inget rippel i detta band.



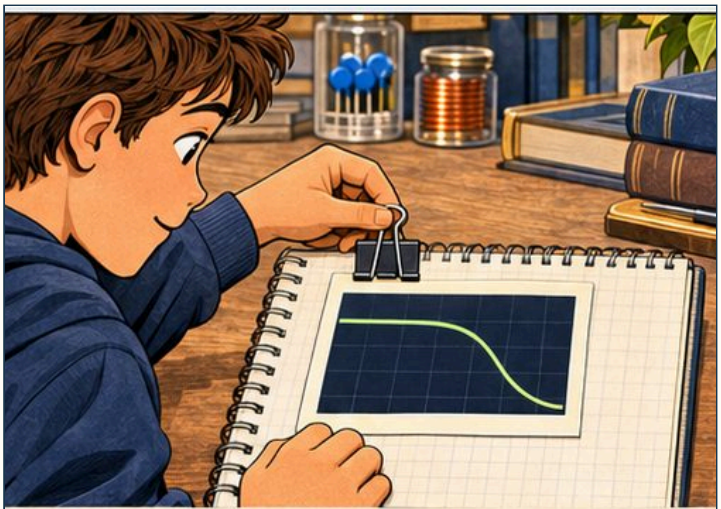
Övergången är gradvis med en karakteristisk krökning.



Andra svar innebär andra kompromisser.



De väljer denna familj för en första tydlig konstruktion.



Namnet säger alltså mer än bara lågpass.

Börja med en prototyp



En normaliserad prototyp ger konstruktionens koefficienter.



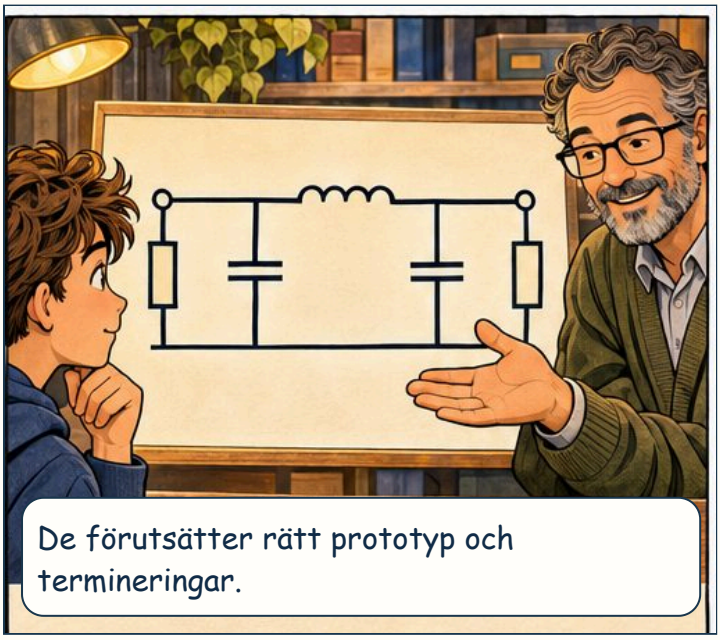
För detta Butterworthfilter av tredje ordningen är de 1, 2 och 1.



De motsvarar i tur och ordning kondensator, spole och kondensator.



Koefficienterna är ännu inte värdena som ska köpas.

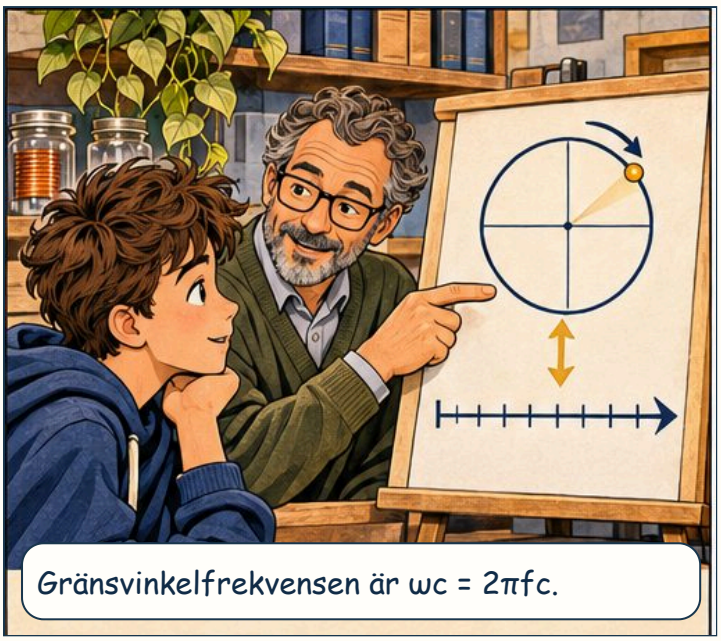


De förutsätter rätt prototyp och termineringar.



Frekvens- och impedansskalan återstår att bestämma.

Byta skala



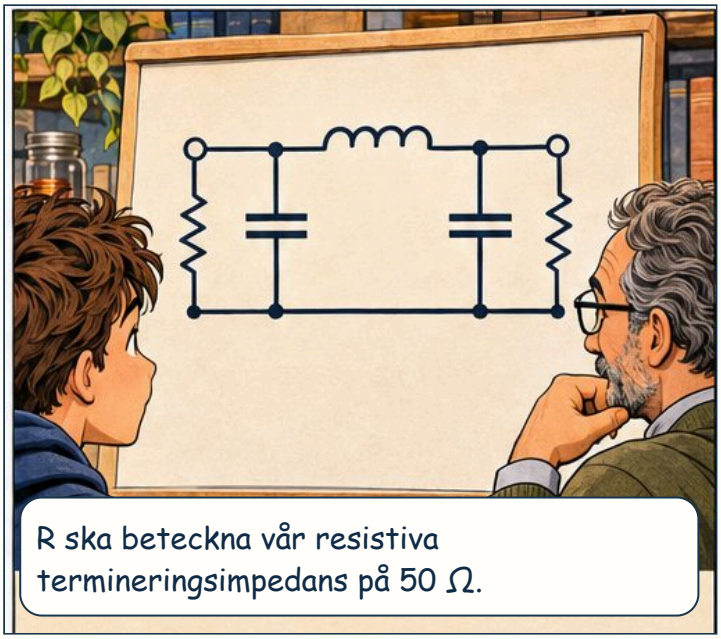
Gränsvinkelfrekvensen är ωc = 2πfc.



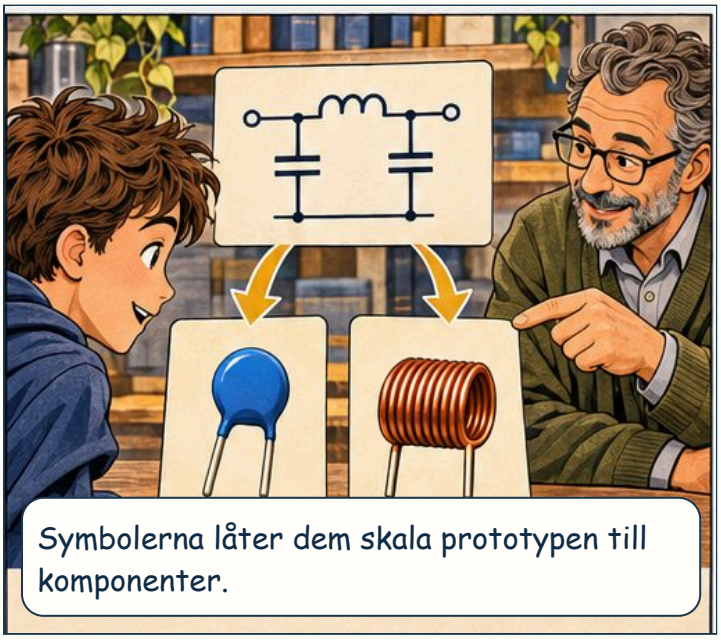
Här betecknar fc gränsfrekvensen i hertz.



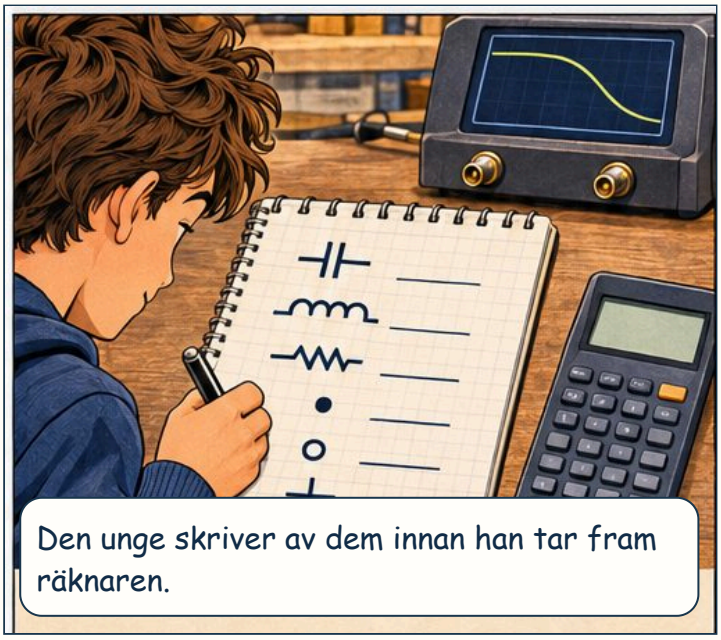
Vinkelfrekvensen ωc anges i radianer per sekund.



R ska beteckna vår resistiva termineringsimpedans på 50 Ω.



Symbolerna låter dem skala prototypen till komponenter.

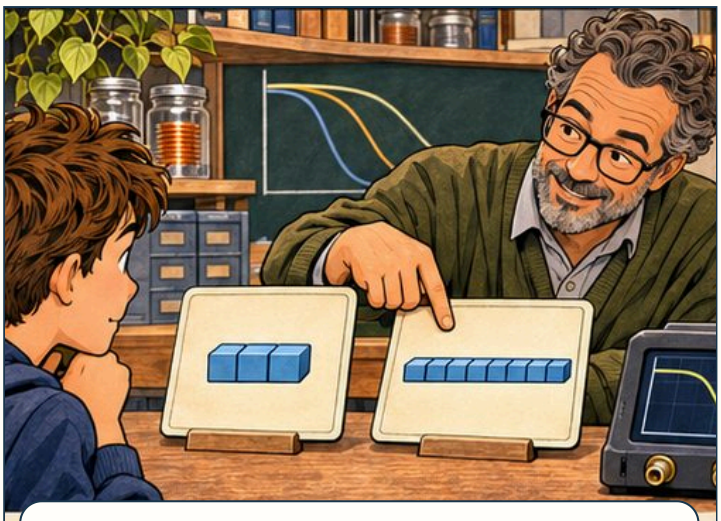


Den unge skriver av dem innan han tar fram räknaren.

Enheterna före talen



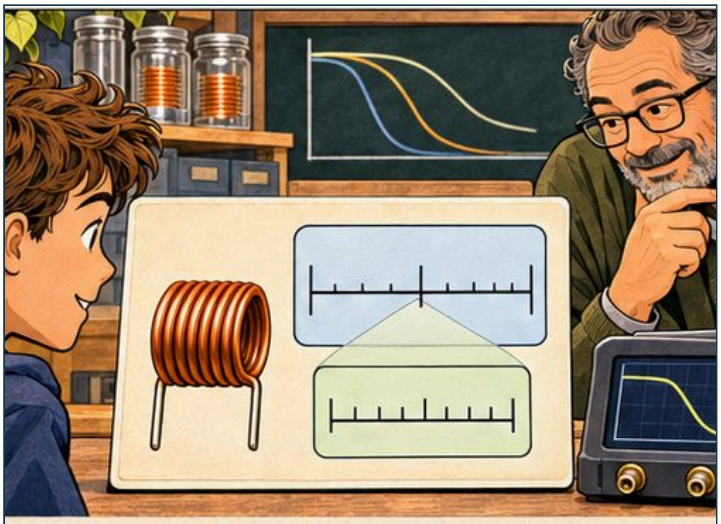
En megahertz är en miljon hertz.



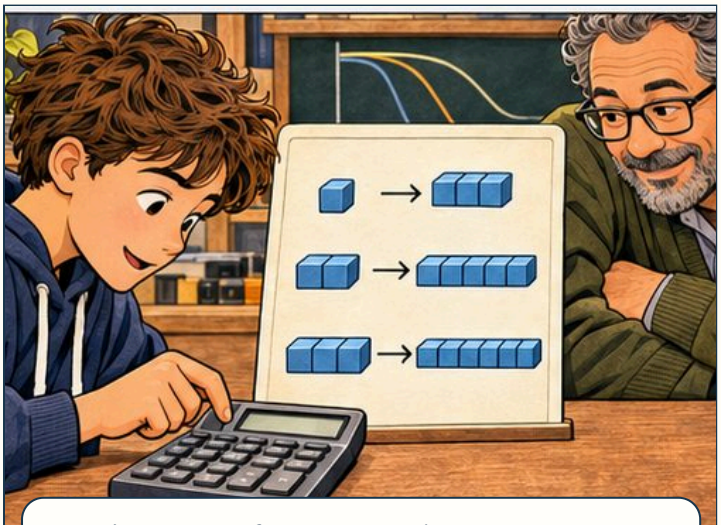
Deras gräns på 10 MHz är alltså 10 000 000 Hz.



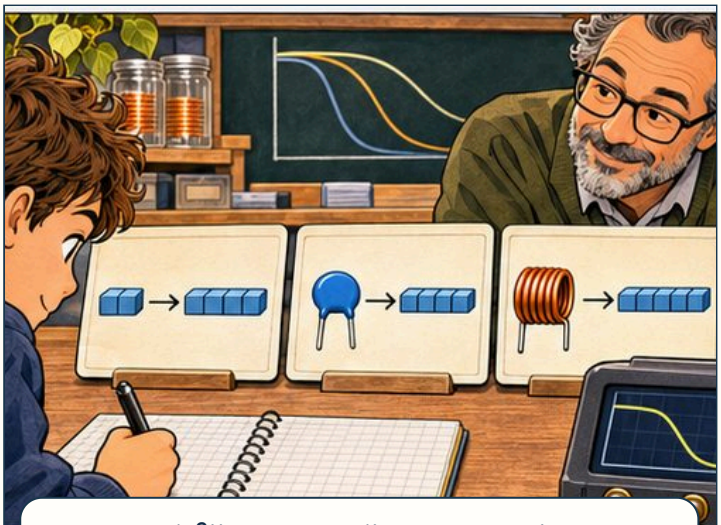
En pikofarad är 10^{-12} F.



En mikrohenry är 10^{-6} H.

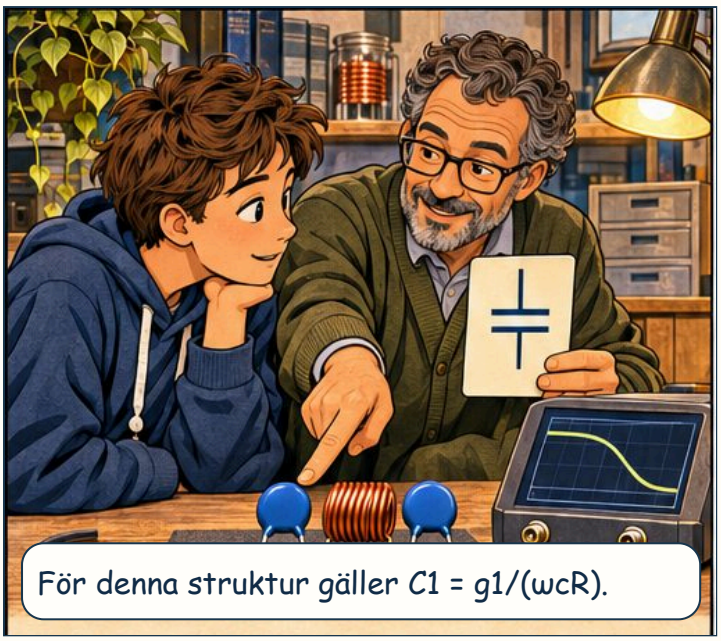


Formlerna ska först använda grundenheterna.



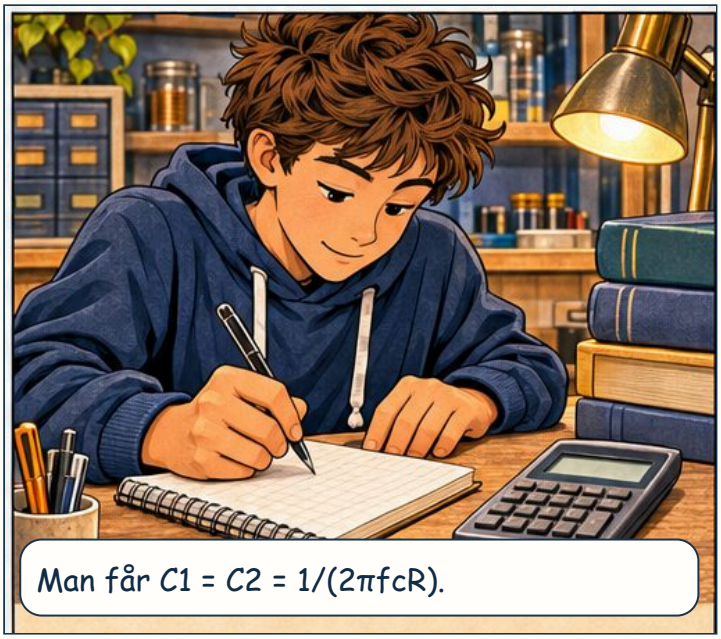
Den unge håller omvandlingarna synliga bredvid beräkningarna.

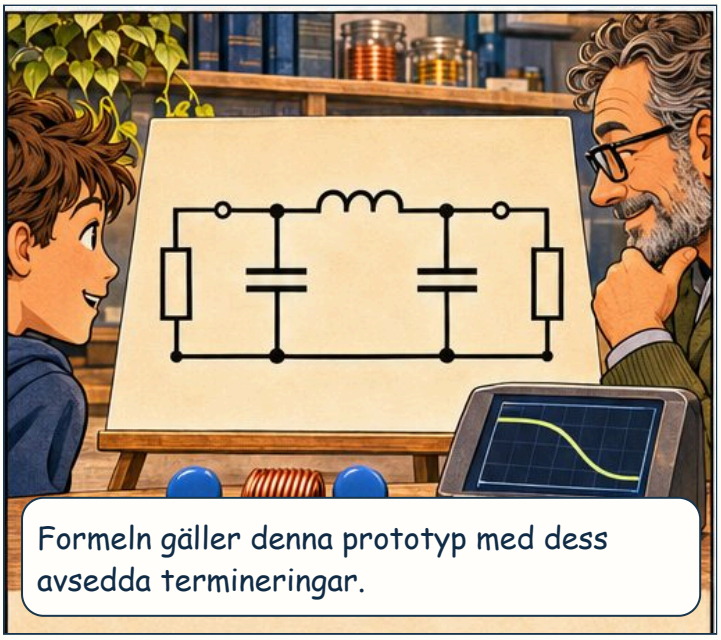
Formeln för kondensatorerna





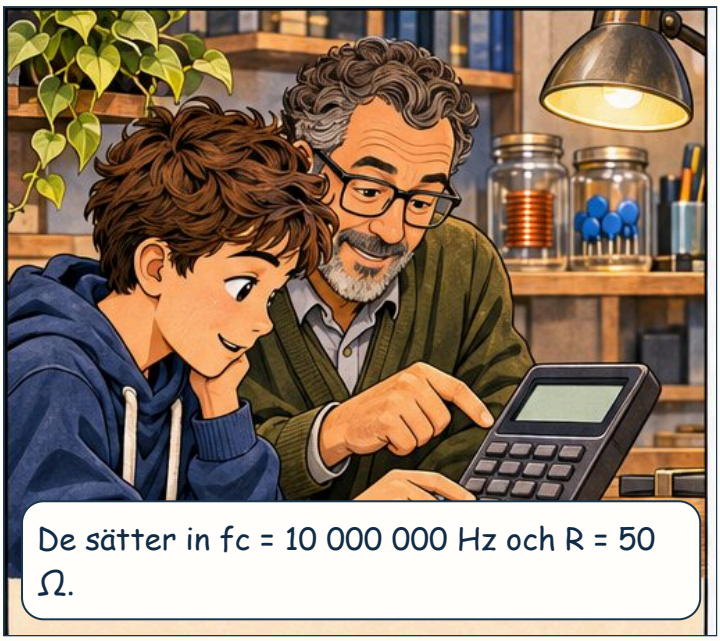








Beräkna kapacitanserna



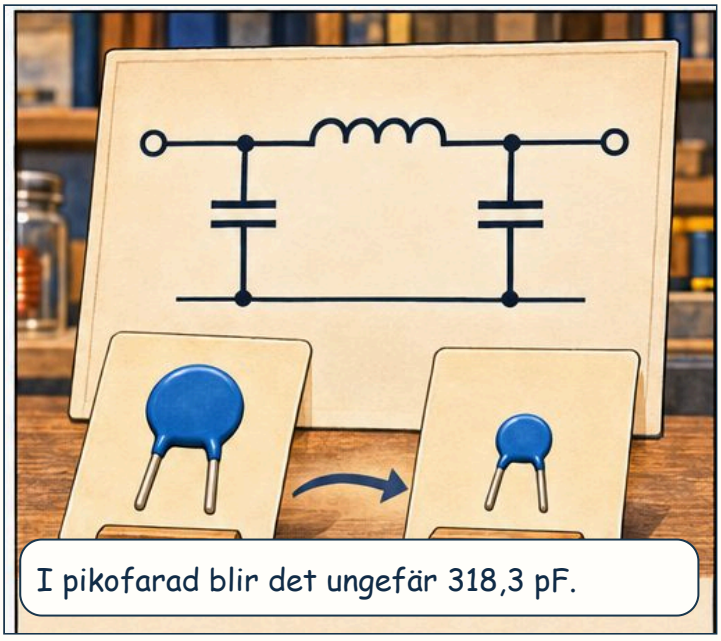
De sätter in fc = 10 000 000 Hz och R = 50 Ω.



Nämnaren blir ungefär 3,142 × 10^{9}.



Varje ideal kapacitans blir ungefär 3,183 × 10^{-10} F.



I pikofarad blir det ungefär 318,3 pF.

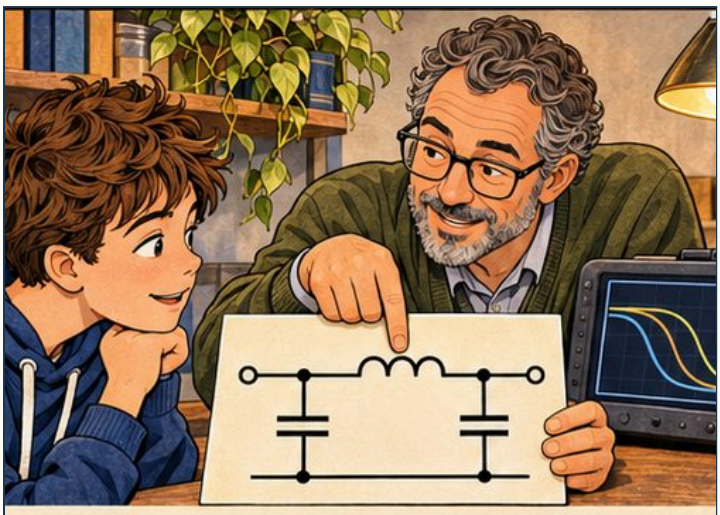


De två kondensatorerna ska alltså ha samma teoretiska värde.



Lucas skriver resultatet tillsammans med enheten.

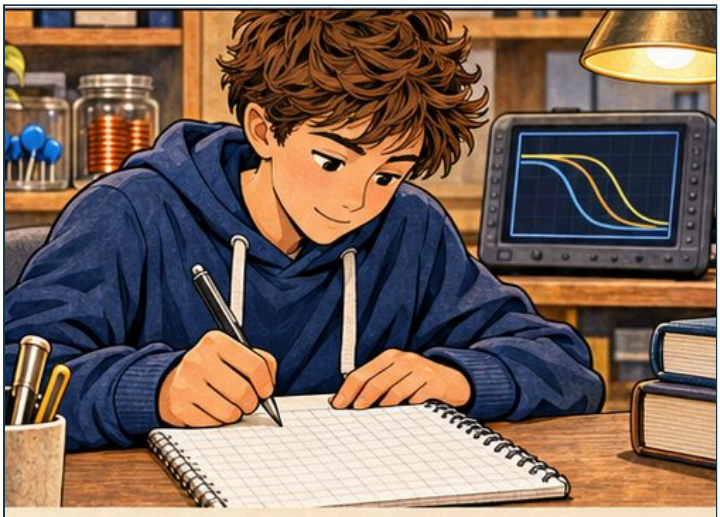
Formeln för spolen



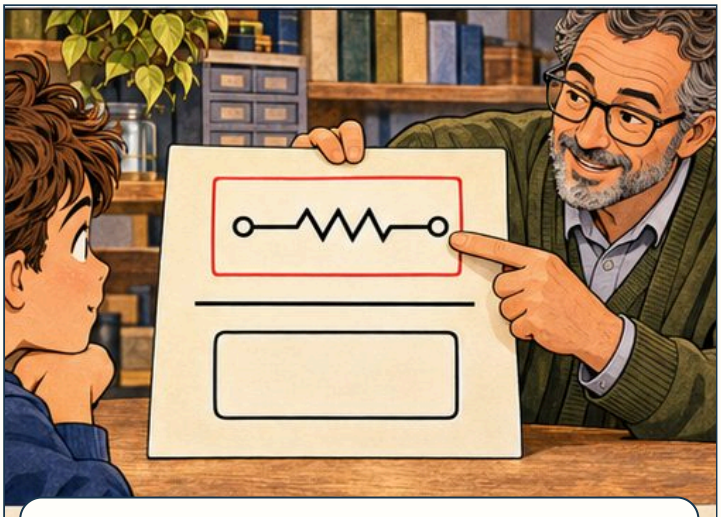
För seriespolen gäller L = g2R/ωc.



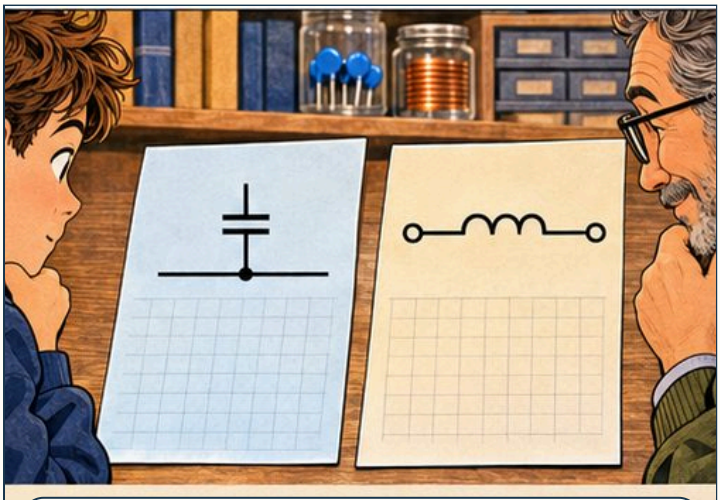
Den mittersta koefficienten är här g2 = 2.



Man får alltså L = 2R/(2πfc).



Termineringsresistansen står den här gången i täljaren.



Den unge jämför formeln med kondensatorernas.

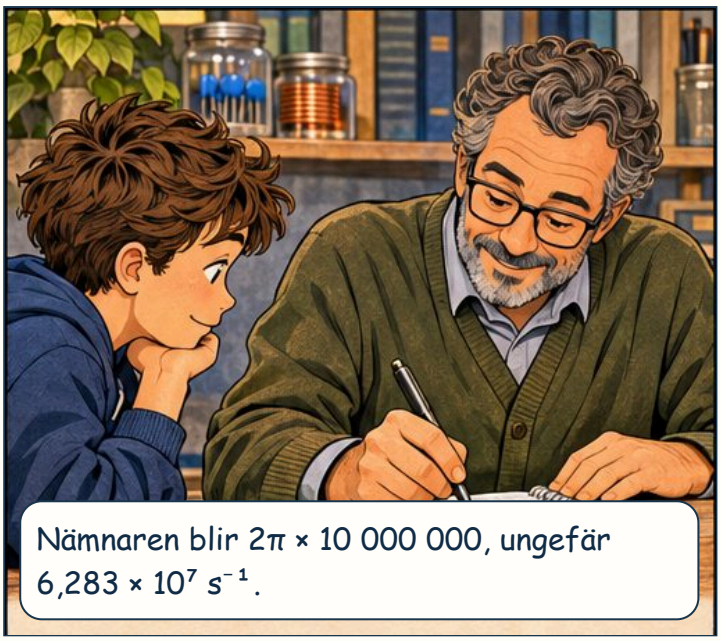


Ett liknande utseende ersätter inte en ny genomläsning.

Beräkna induktansen



Täljaren blir 2 × 50, alltså 100 Ω.



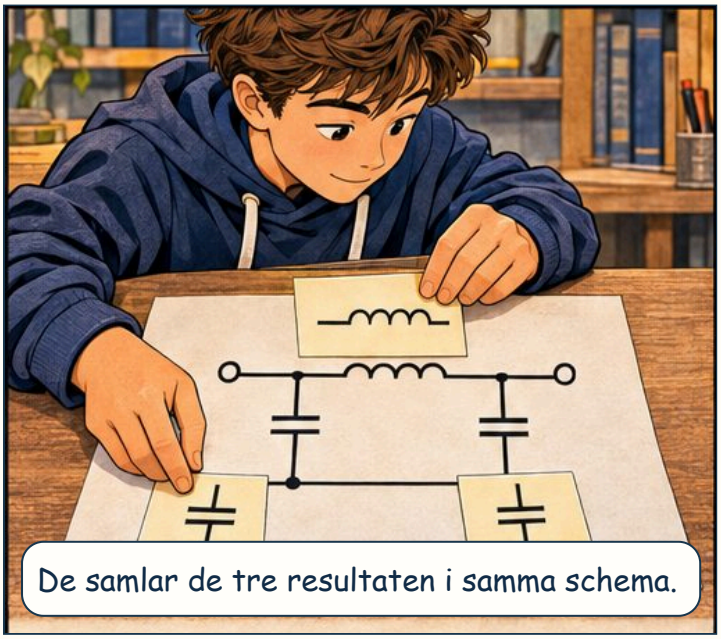
Nämnaren blir $2\pi \times 10\,000\,000$, ungefär $6{,}283 \times 10^{7}\ s^{-1}$.



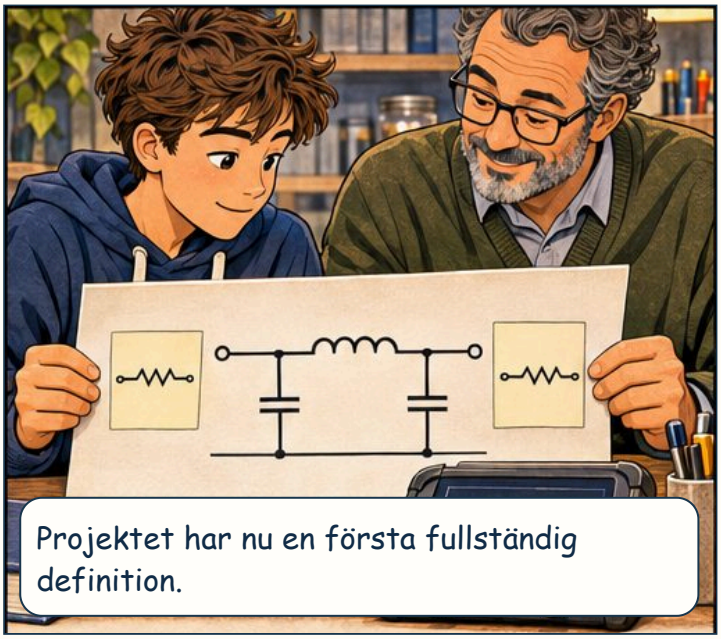
Beräkningen ger ungefär $1{,}592 \times 10^{-6}$ H.



Den ideala spolen ska alltså ha ungefär 1,59 µH induktans.



De samlar de tre resultaten i samma schema.



Projektet har nu en första fullständig definition.

Felet på en miljon



Den unge försöker sedan snabbt mata in beräkningen igen.



Han skriver 10 i stället för 10 000 000.



Resultatet blir en miljon gånger för stort.



Jämförelsen med förväntade komponenter avslöjar genast problemet.



Han rättar inmatningen och gör om beräkningen separat.

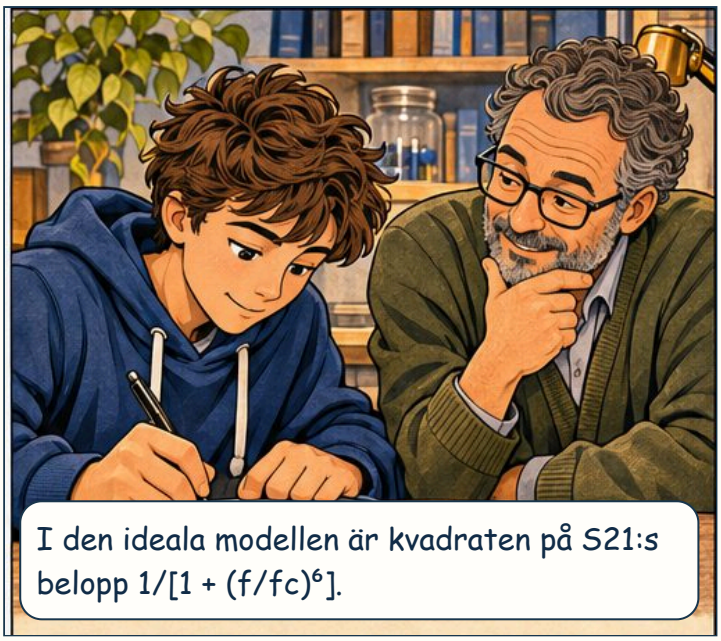


Att kontrollera storleksordningen blir en nyttig vana.

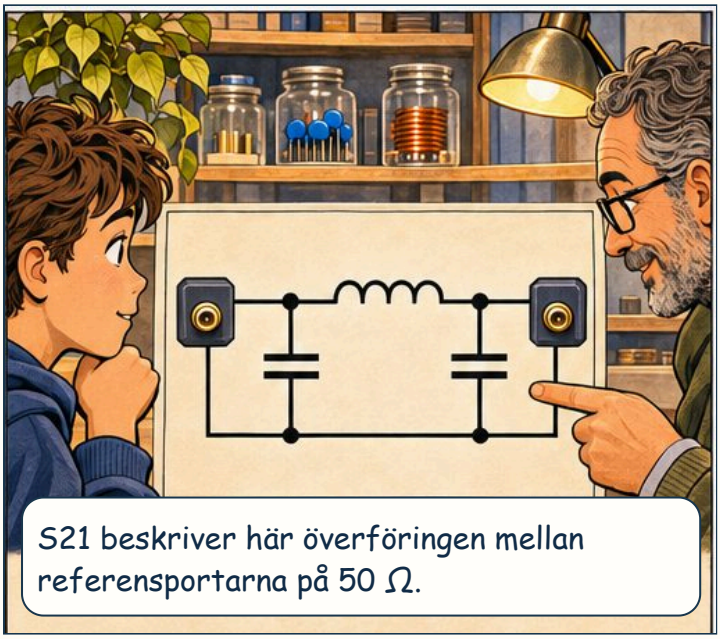
Förutsäga en hel kurva



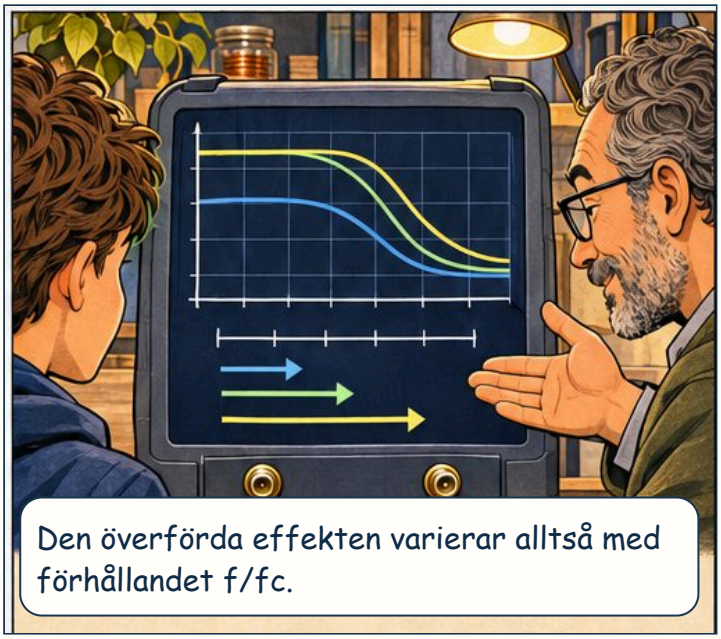
Tre värden berättar ännu inte hela svaret.



I den ideala modellen är kvadraten på S21:s belopp $1/[1 + (f/fc)^6]$.



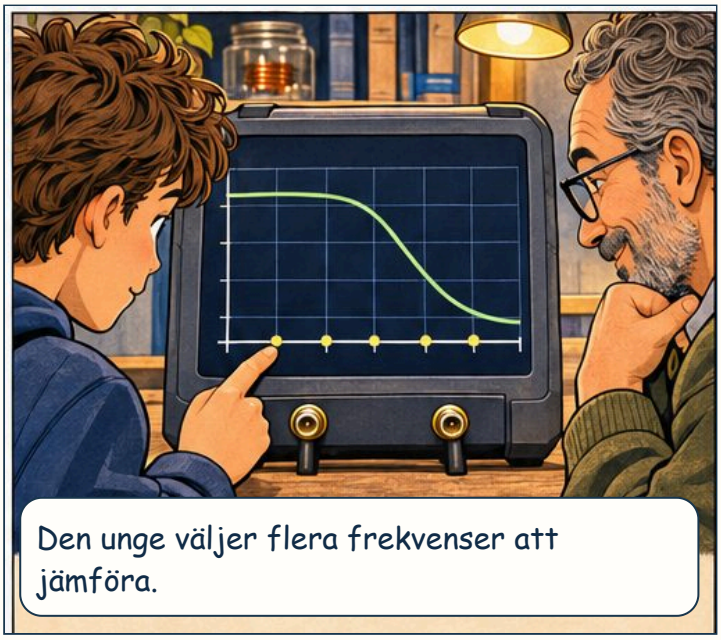
S21 beskriver här överföringen mellan referensportarna på 50 Ω.



Den överförda effekten varierar alltså med förhållandet f/fc.



Den teoretiska kurvan ger en hållpunkt före mätningen.



Den unge väljer flera frekvenser att jämföra.

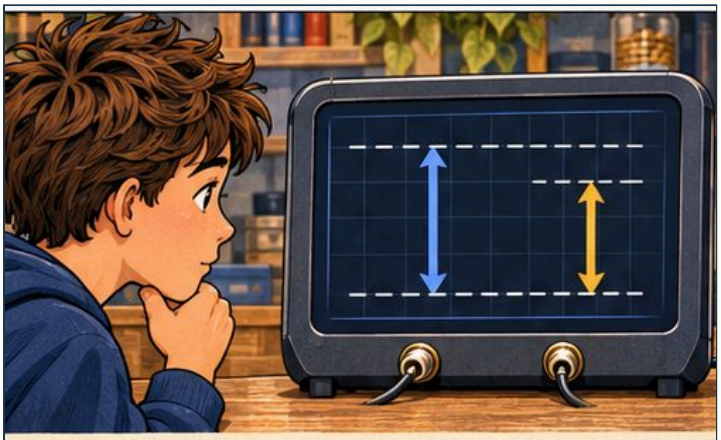
Vad betyder minus tre decibel?



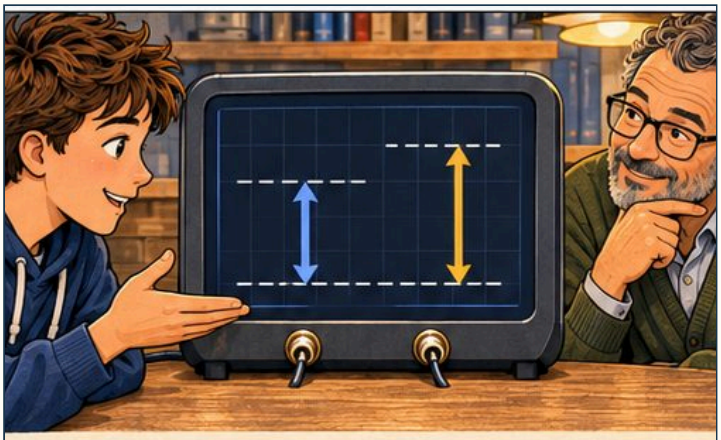
Vid f = fc är det ideala effektförhållandet 1/2.



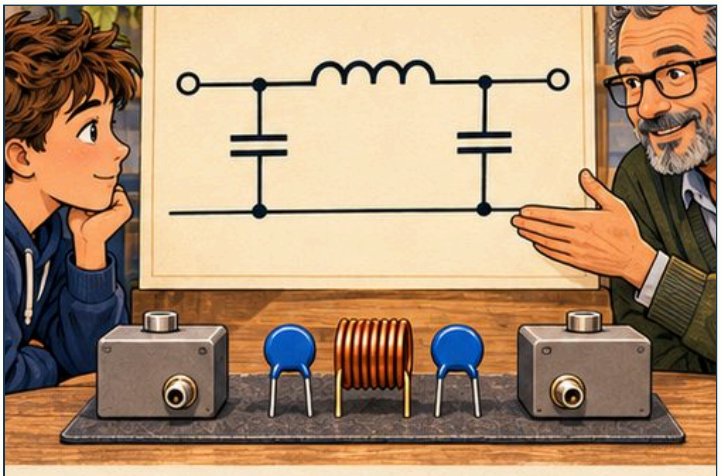
I decibel ger 10 log10(1/2) ungefär −3,01 dB.



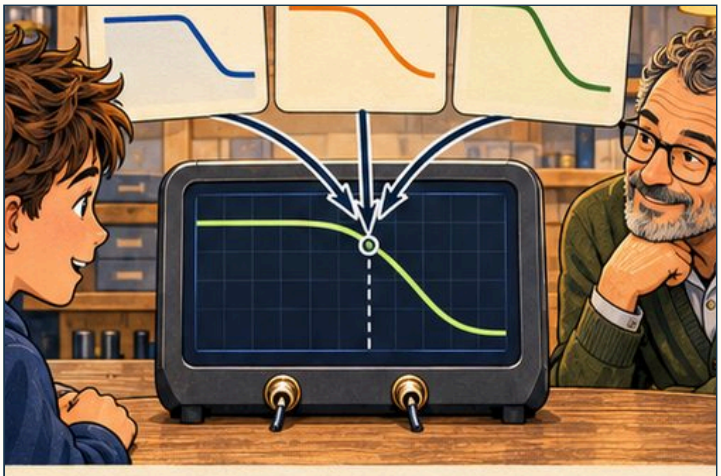
Beloppet av S21 är då ungefär 0,707.



Denna amplitud är alltså inte hälften.



Beräkningen använder rätt referenser på 50 Ω.

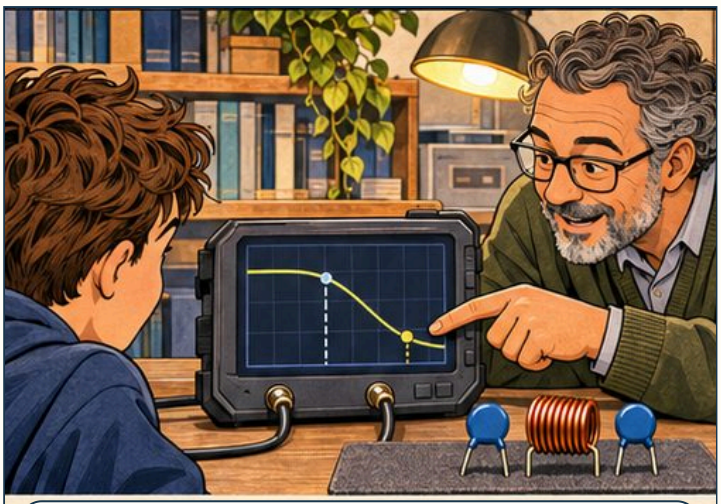


Den unge förenar tre uttryck för samma kurvpunkt.

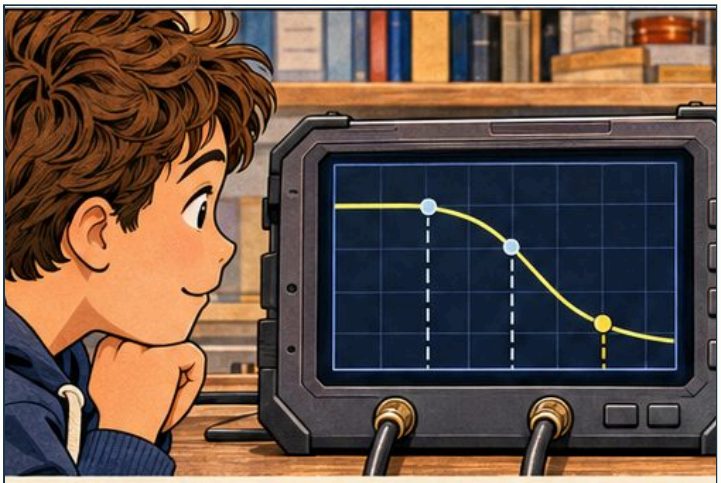
Ovanför gränsen



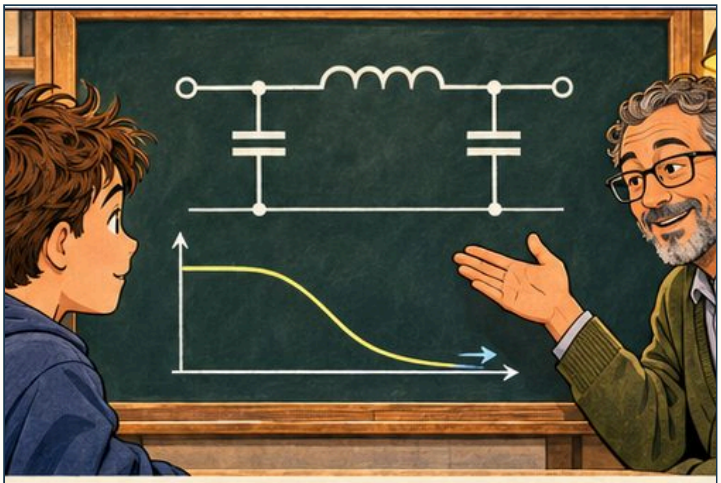
Vid 20 MHz är f/fc lika med 2.



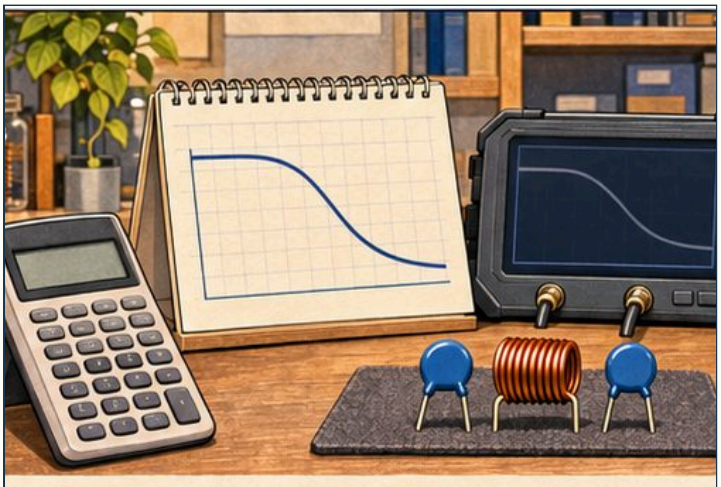
Den ideala överföringen blir ungefär −18,13 dB.



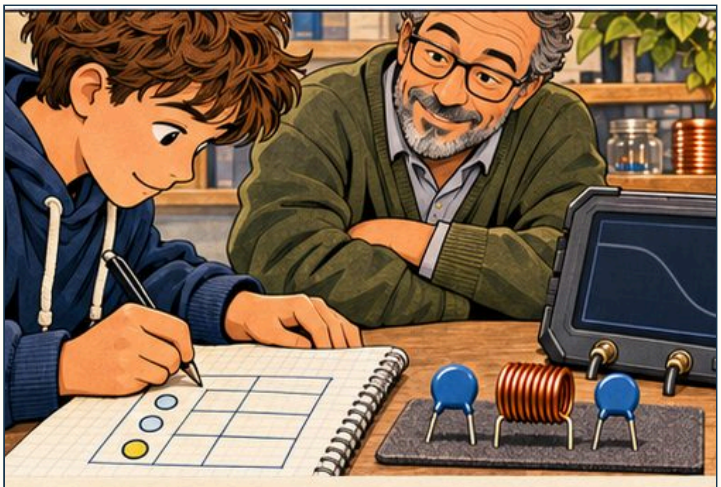
Vid 30 MHz är f/fc lika med 3: ungefär −28,63 dB.



Dämpningen ökar men förblir ändlig.

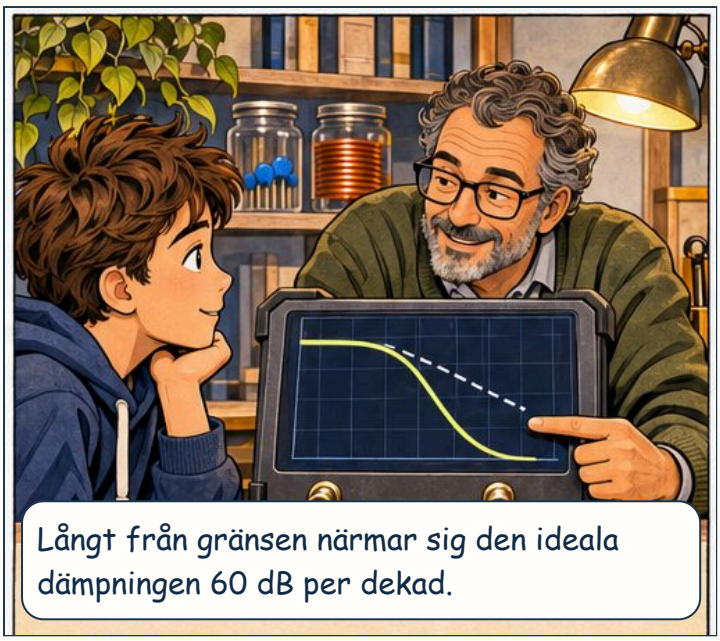


Talen är beräknade, inte uppmätta på deras koppling.

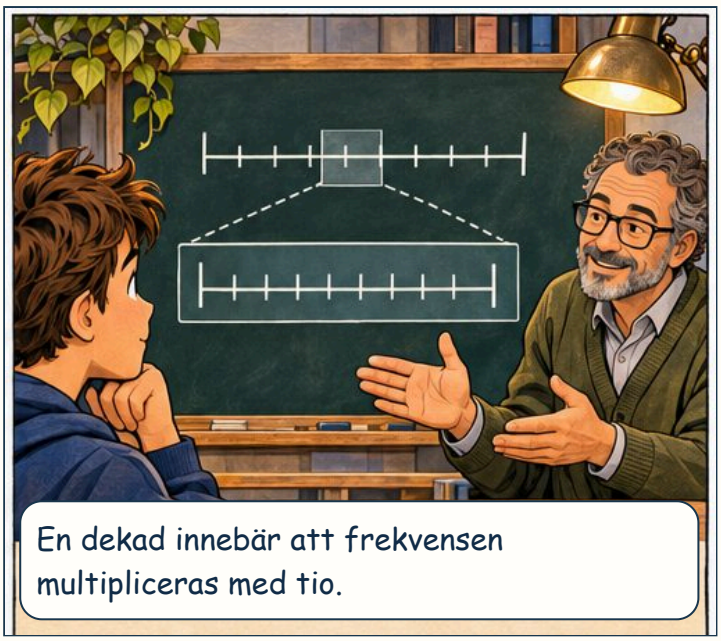


Den unge placerar dem i kolumnen för förutsägelser.

Lutningen är inget löfte



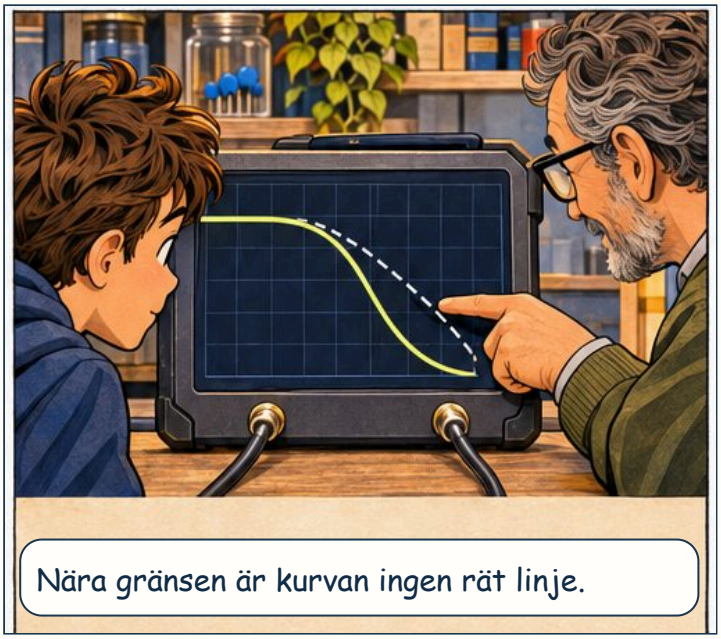
Långt från gränsen närmar sig den ideala dämpningen 60 dB per dekad.



En dekad innebär att frekvensen multipliceras med tio.



Den asymptotiska lutningen hör till modellen av tredje ordningen.



Nära gränsen är kurvan ingen rät linje.

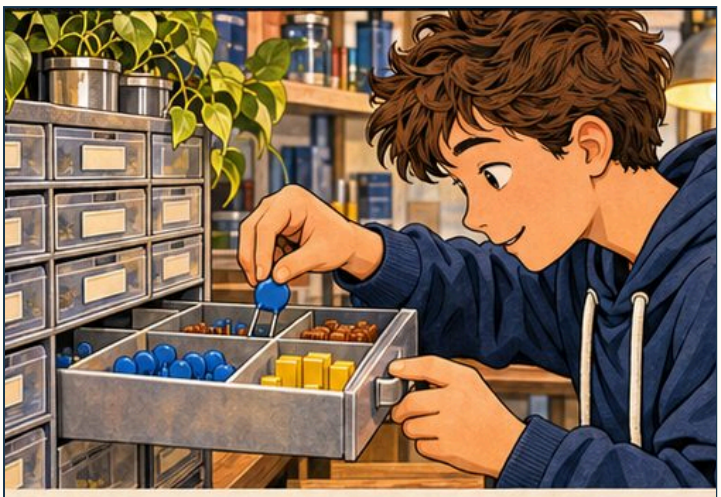


Även verkliga komponenter begränsar utvecklingen.

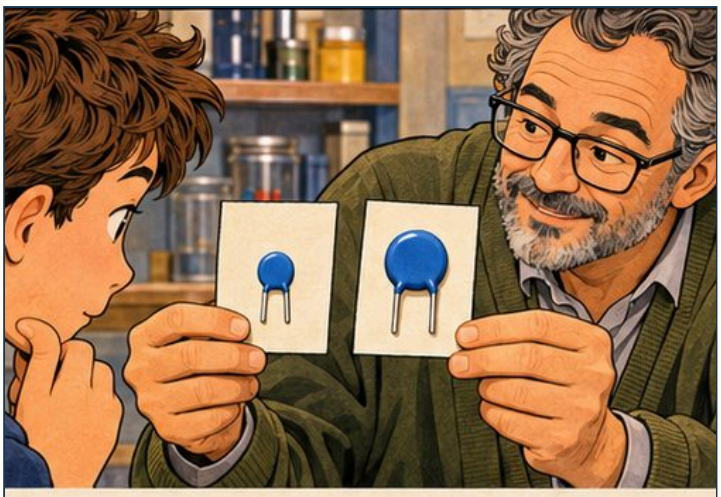


Den unge tillämpar inte regeln utanför dess villkor.

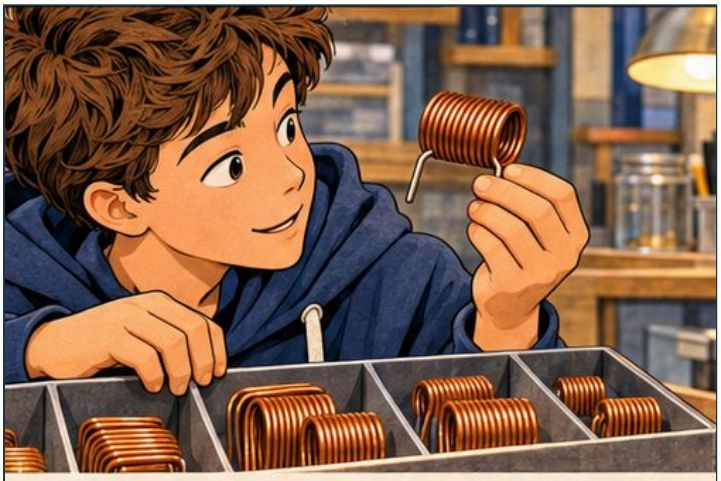
Värden som finns att få



Lådan innehåller inte nödvändigtvis kondensatorer på 318,3 pF.



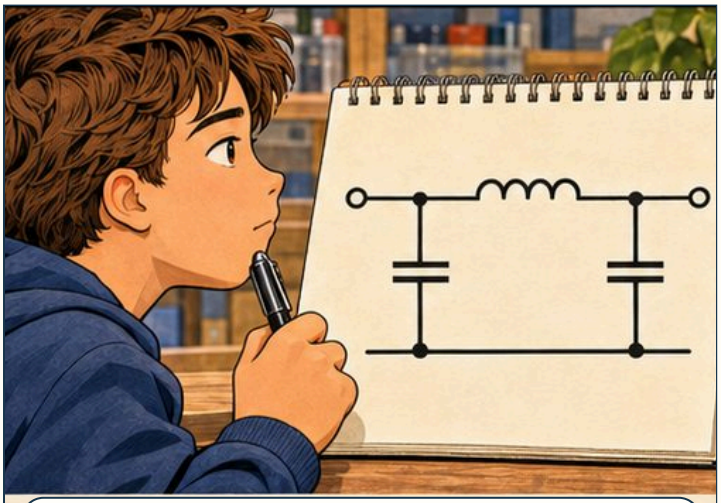
Det vanliga värdet 330 pF är inte identiskt.



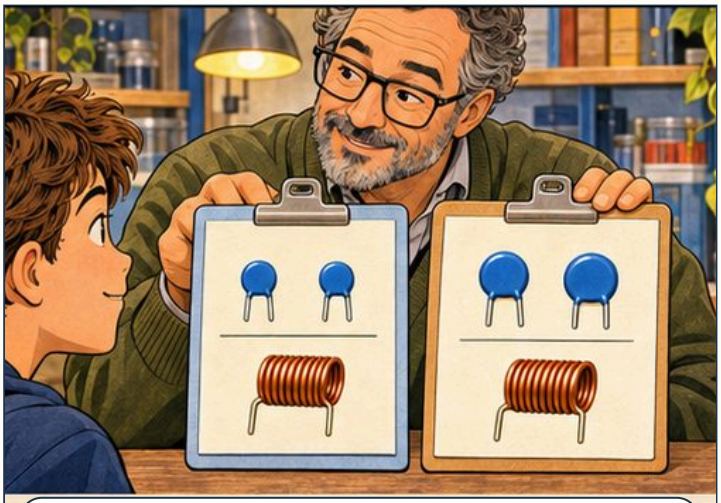
En spole på 1,6 µH ligger nära det beräknade värdet.



Att välja dem kräver omberäkning eller simulering av svaret.

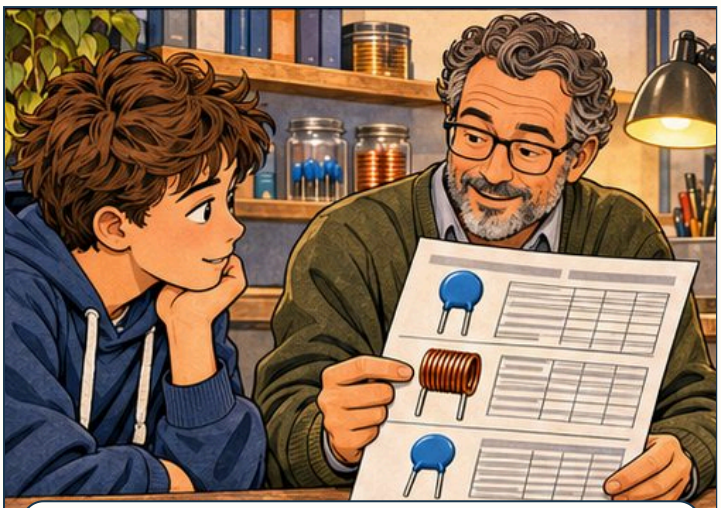


Kopplingen kan inte automatiskt kallas exakt 10 MHz.



Den unge sparar ideala och valda värden var för sig.

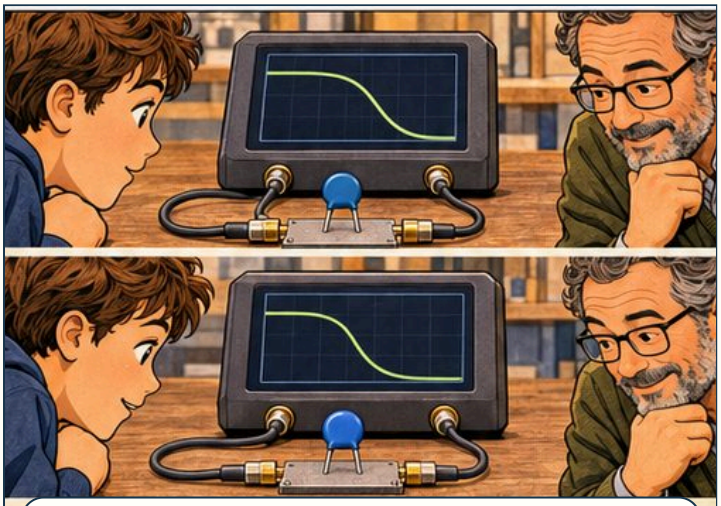
Varje del har en tolerans



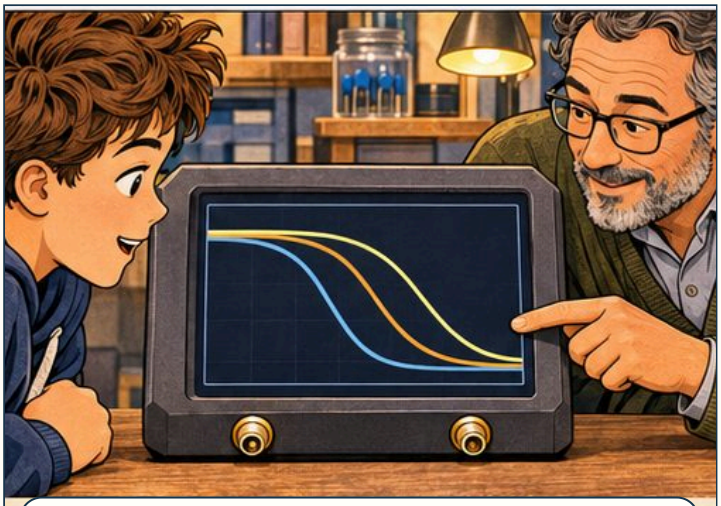
Ett nominellt värde är inget garanterat exakt värde.



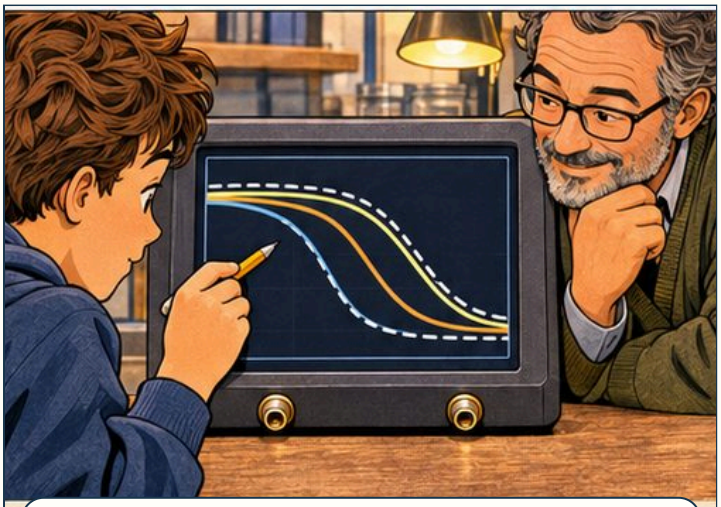
Kondensatorernas och spolens toleranser spelar roll.



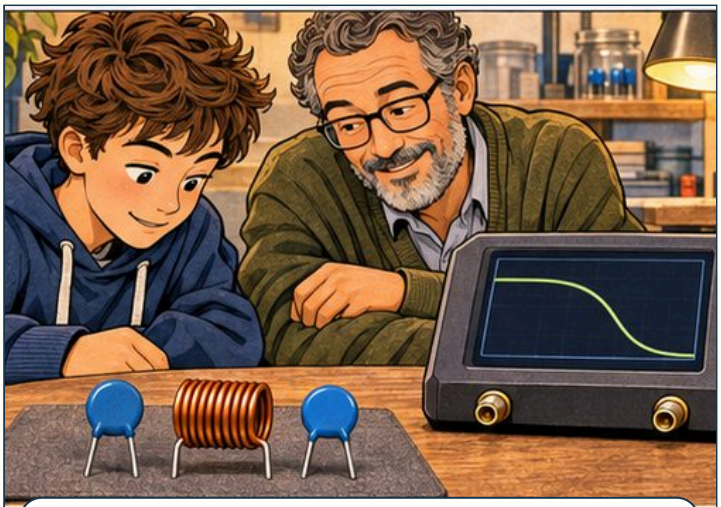
Två komponenter med samma märkning kan skilja sig något.



En simulering kan undersöka flera värdekombinationer.



Den hjälper till att förutsäga ett spann av möjliga svar.



Mätningen undersöker sedan de faktiskt använda delarna.

De dolda komponenterna



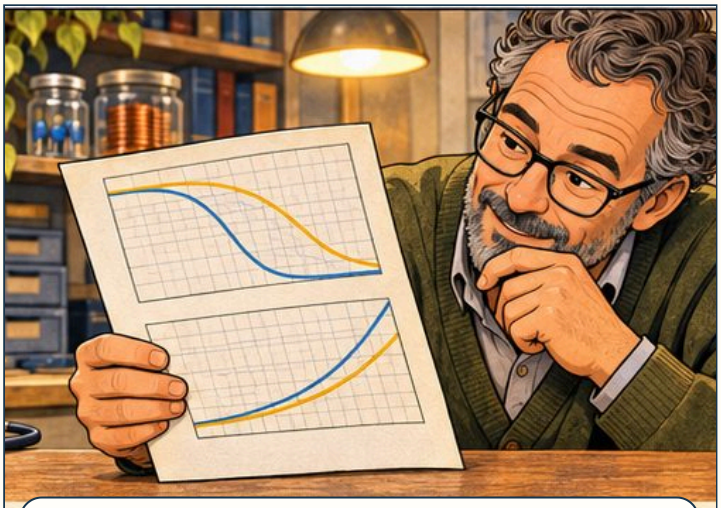
En verklig spole har även resistans och parasitkapacitans.



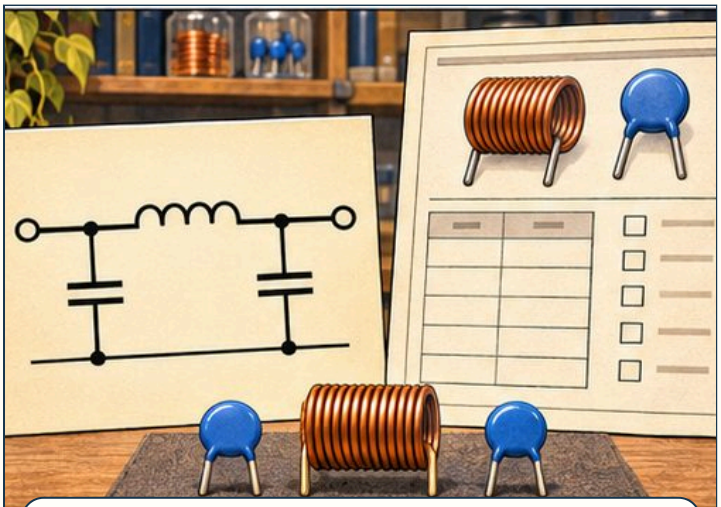
En kondensator har bland annat förluster och parasitinduktans.



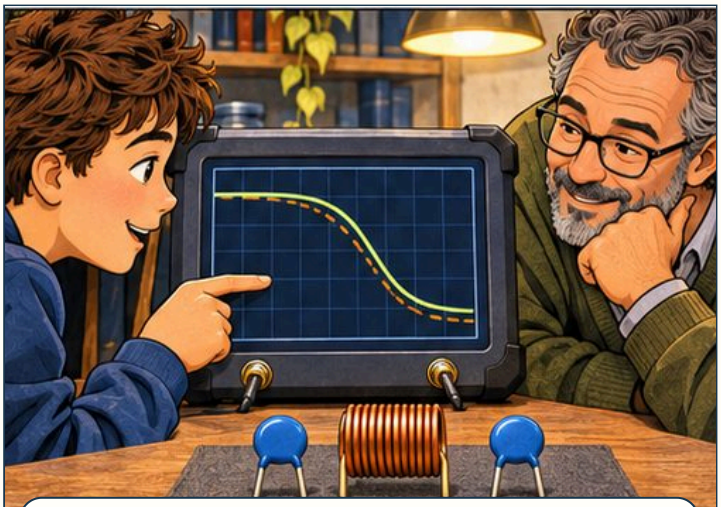
Deras beteende ändras nära vissa resonanser.



Databladen anger gränser som behöver granskas.



Värdet i pikofarad eller mikrohenry räcker alltså inte.



Den unge lär sig läsa bortom den första raden.

En mätbänk godkänner ingen sändare



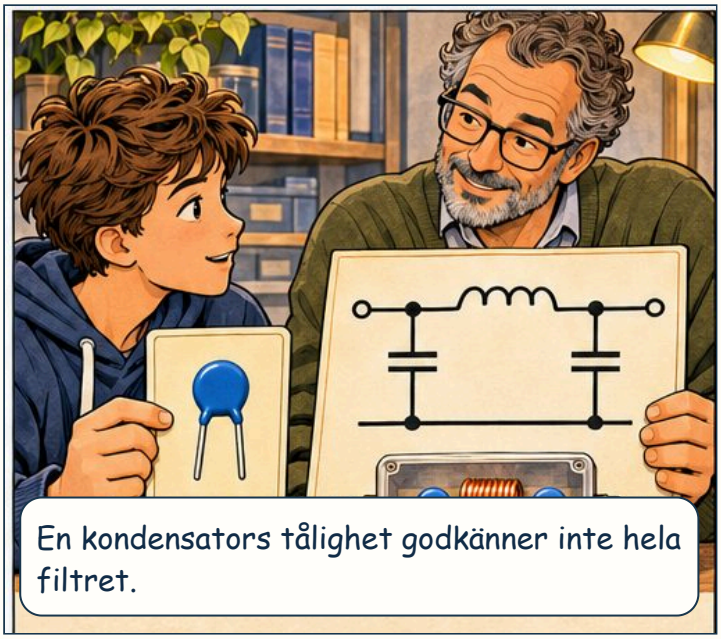
Demonstrationskopplingen får bara analysatorns avsedda svaga signal.



Användning vid sändning skulle kräva andra kontroller.



Spänningar, strömmar, uppvärmning och tillåten effekt måste undersökas.



En kondensators tålighet godkänner inte hela filtret.

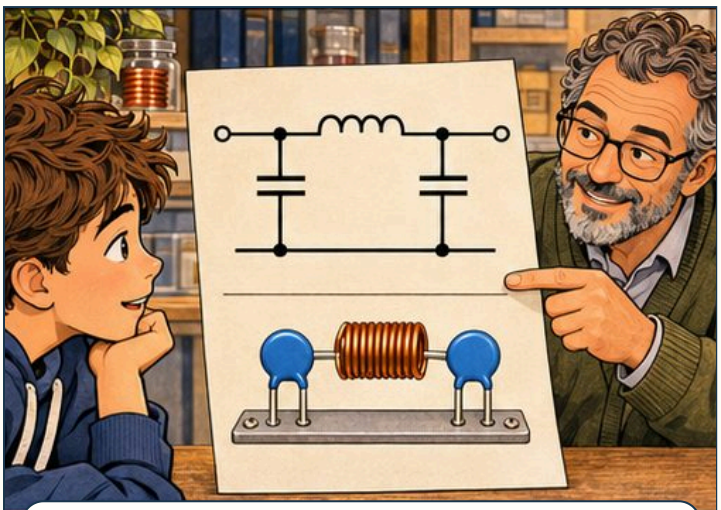


Denna verkstad omfattar inga effektprov.

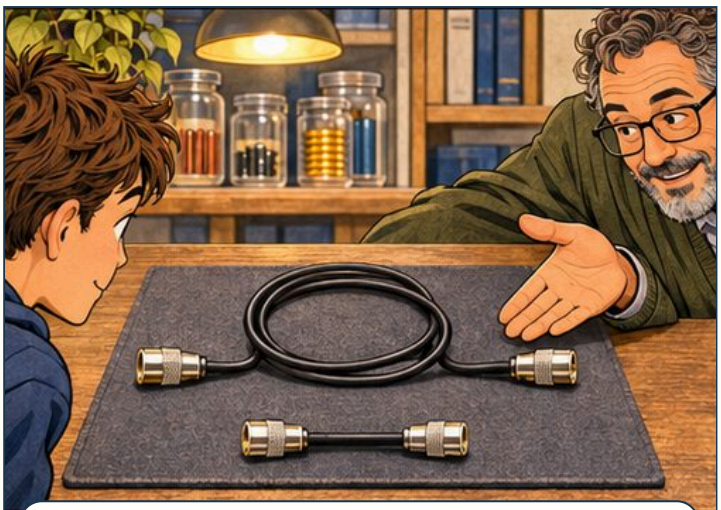


Den unge skriver tydligt ned konstruktionens begränsning.

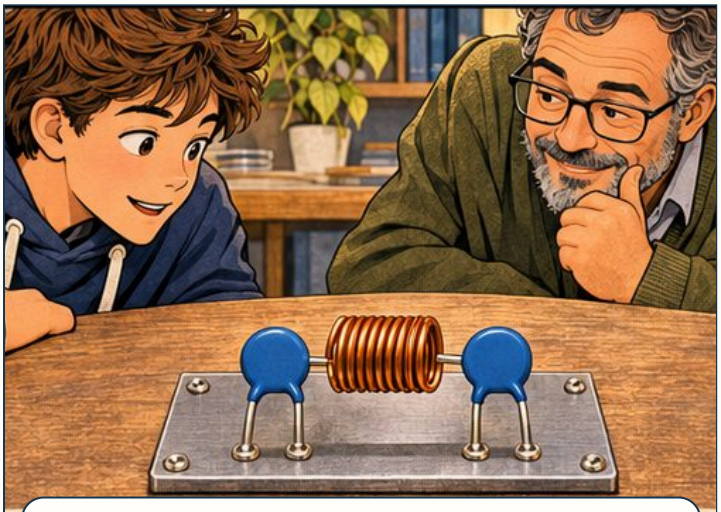
Rita komponentplaceringen



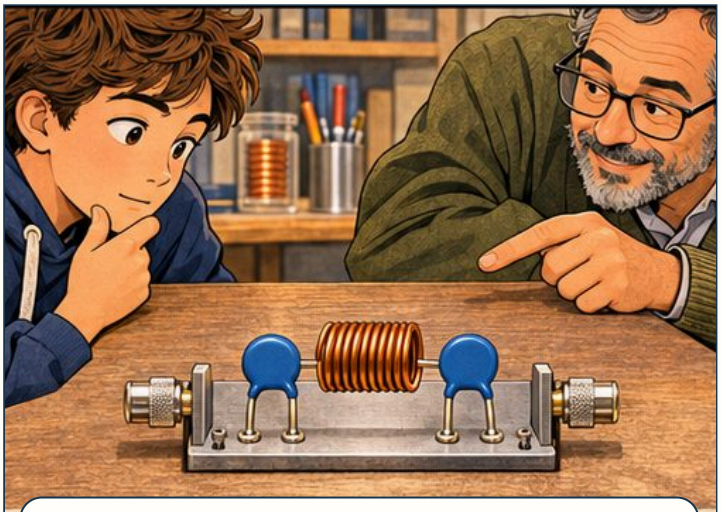
Schemat visar förbindelser men inte hela deras geometri.



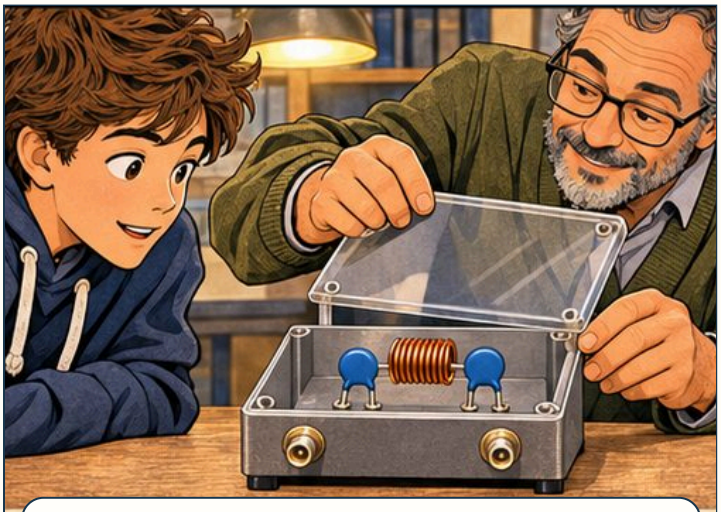
Vid dessa frekvenser kan förbindelselängd och placering spela roll.



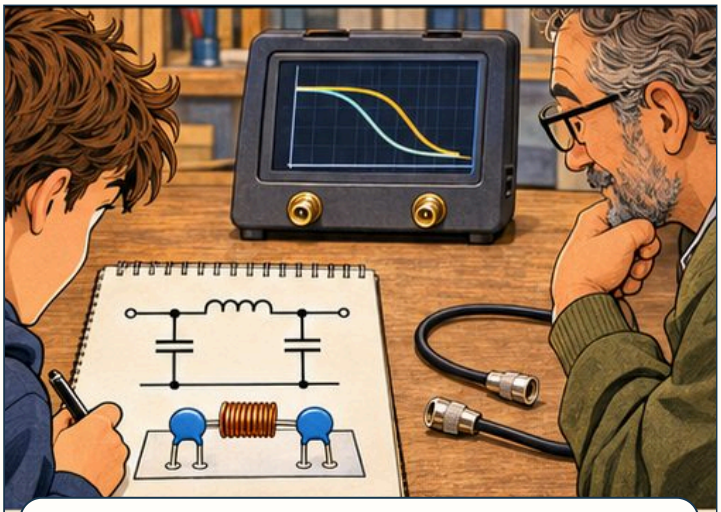
De planerar gemensam jord och korta förbindelser.



De skiljer också vägar som skulle kunna koppla direkt till varandra.



Henri förbereder en demonstrationsmodul som lämpar sig för mätning.

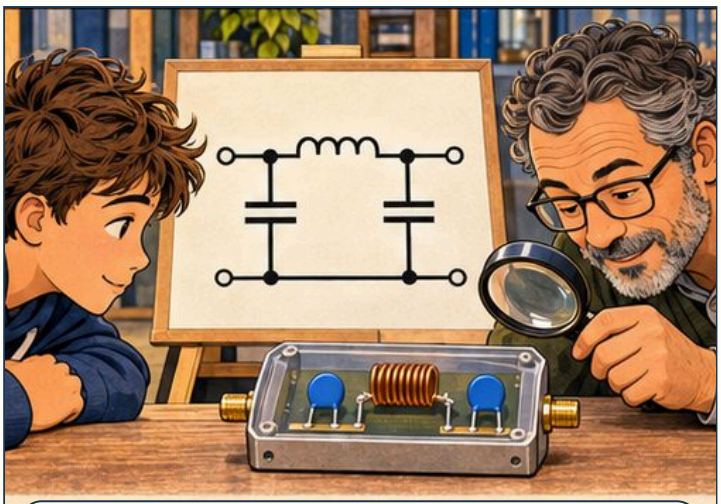


Lucas jämför placeringen med schemat, förbindelse för förbindelse.

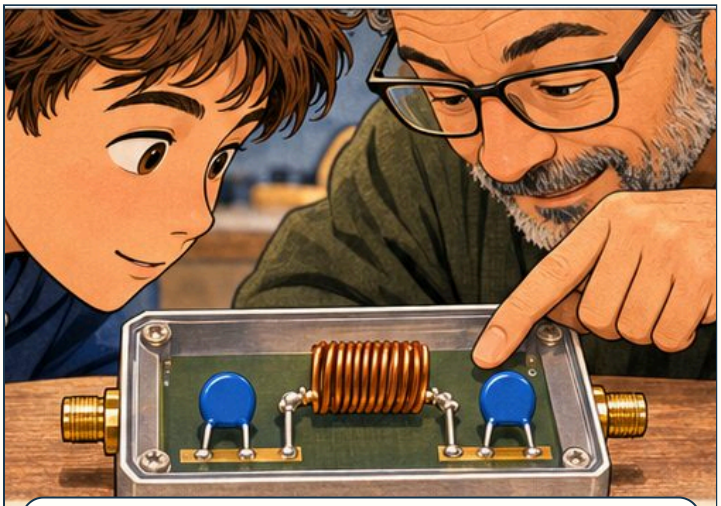
Kontrollera före anslutning



Mätkällan hålls avstängd under förberedelserna.



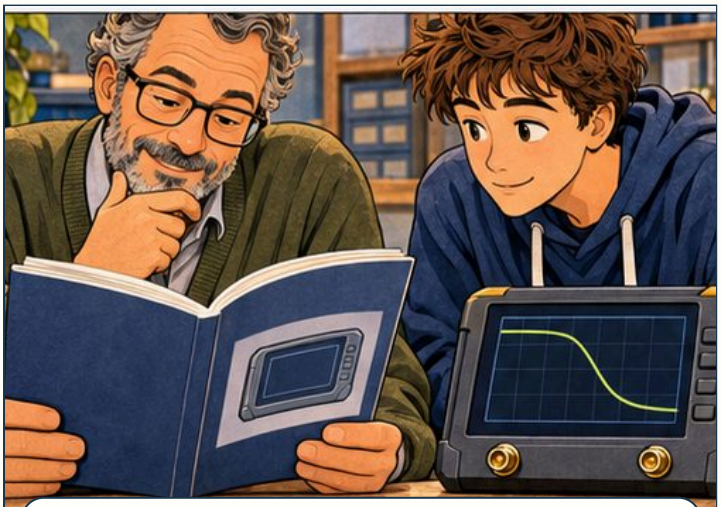
De kontrollerar förbindelser, komponenter och gemensam jord.



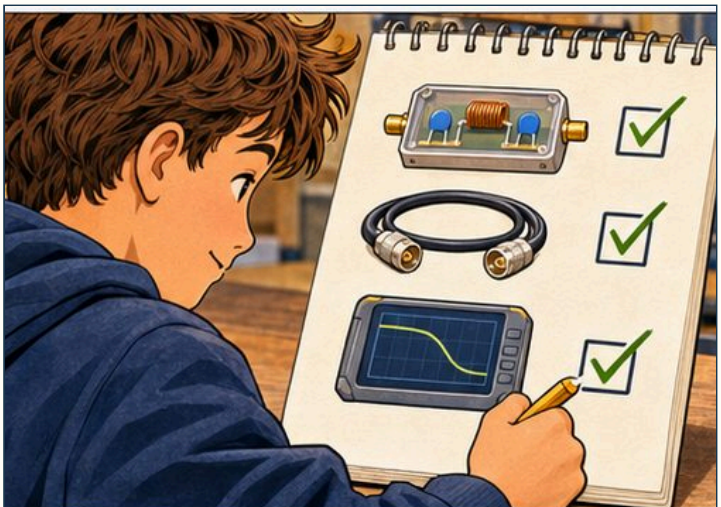
De söker kortslutning, felkoppling eller skadad del.



Kontakter och kablar inspekteras också.



Handledaren kontrollerar instrumentets ingångsgränser.

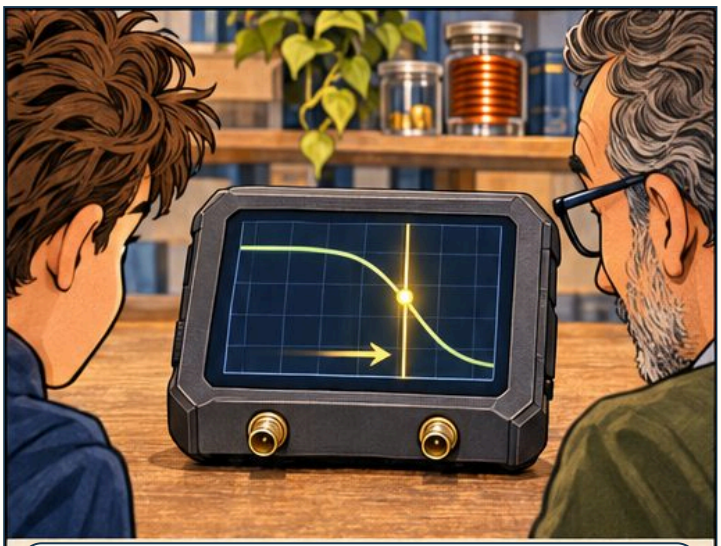


Den unge avslutar listan före första svepet.

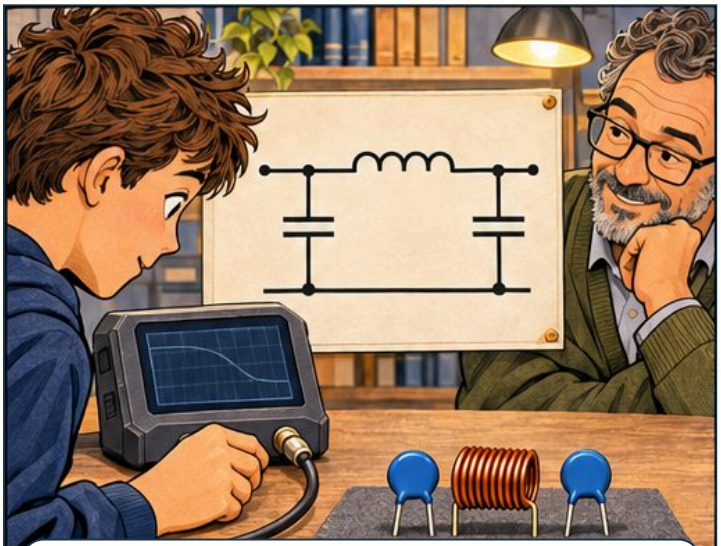
Analysatorn ställer frågor



Nätverksanalysatorn skickar en känd svag signal.



Den sveper ett valt frekvensområde.



Port 1 matar filtrets ingång.



Port 2 observerar överföringen vid utgången.



Parametern S21 gör det möjligt att följa överföringen.



Portarna ger de avsedda referenserna på 50 Ω.

Kalibrera på rätt ställe



Kablar och adaptrar ingår i mätningen.



De följer därför instrumentets kalibreringsförfarande.



Lämpliga kalibreringsnormaler ansluts enligt dess handbok.



Referensplanen läggs vid kabeländarna.



Efter kalibreringen bevaras förbindelserna så långt möjligt.



Den unge antecknar uppställningen och svepinställningarna.

Kontrollera den direkta vägen



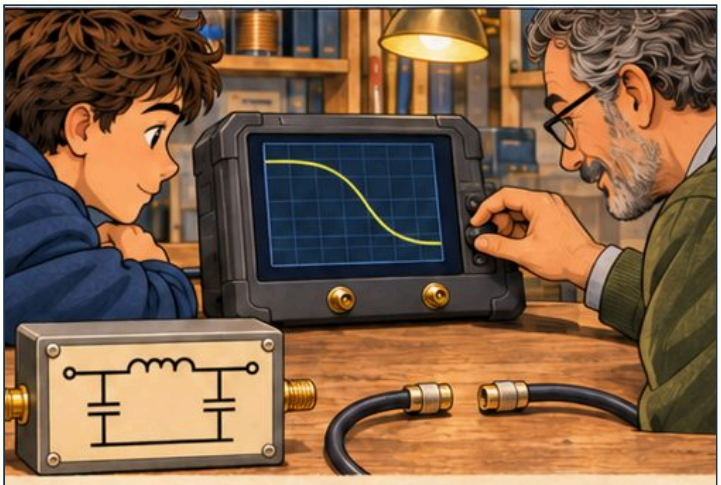
Före filtret låter en direkt förbindelse dem kontrollera referensen.



Den förväntade överföringen ska stämma med denna förbindelse.



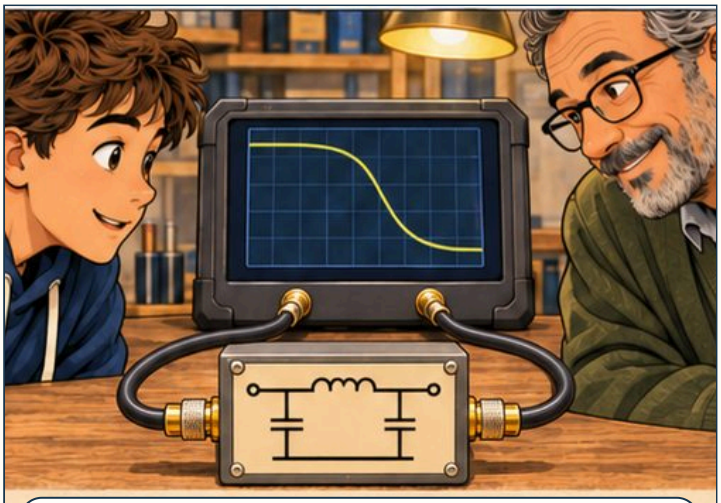
En avvikelse kräver granskning av kablar, kalibrering och inställningar.



Man ändrar inte ett filter för att dölja ett fel i mätbänken.



Efter kontrollen stängs källan av inför anslutningen.

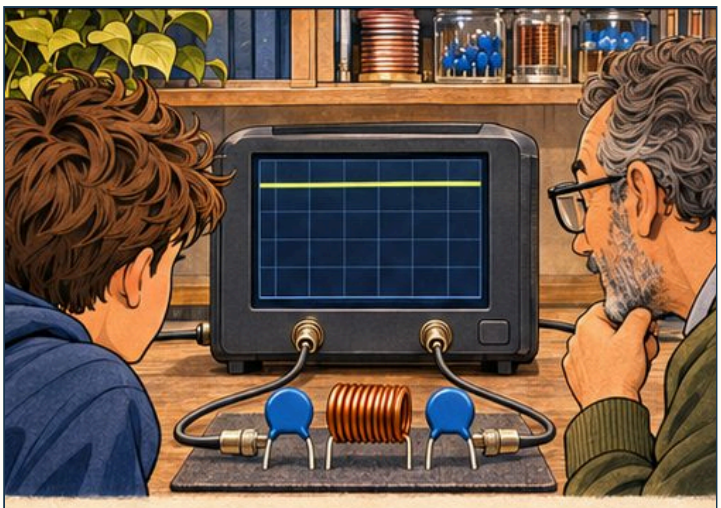


Filtret tar sedan plats mellan de två kablarna.

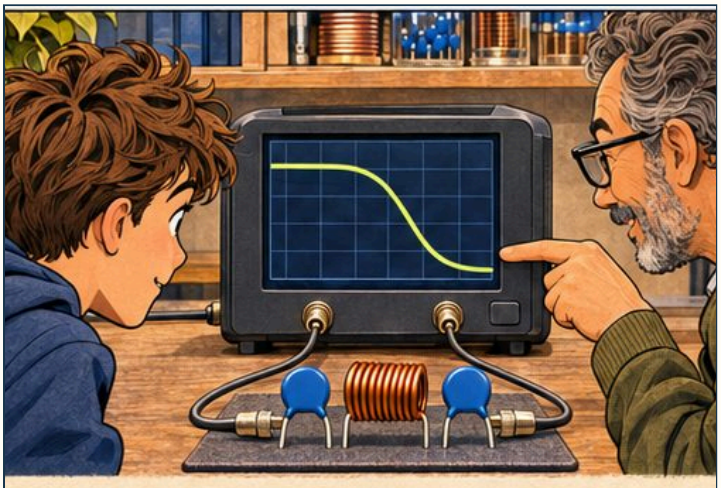
Det första svepet



De startar ett svep som täcker nyttobandet och övergången.



Kurvan ligger högre vid låga frekvenser.



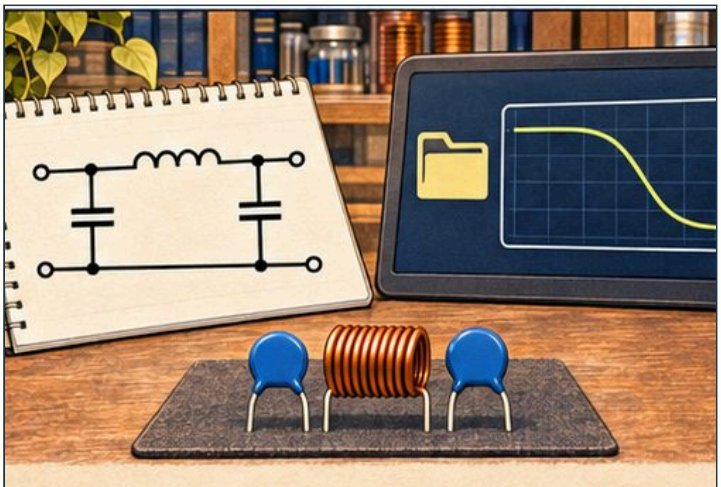
Sedan sjunker den när frekvensen ökar.



Den unge känner igen formen utan att anta perfekt överensstämmelse.

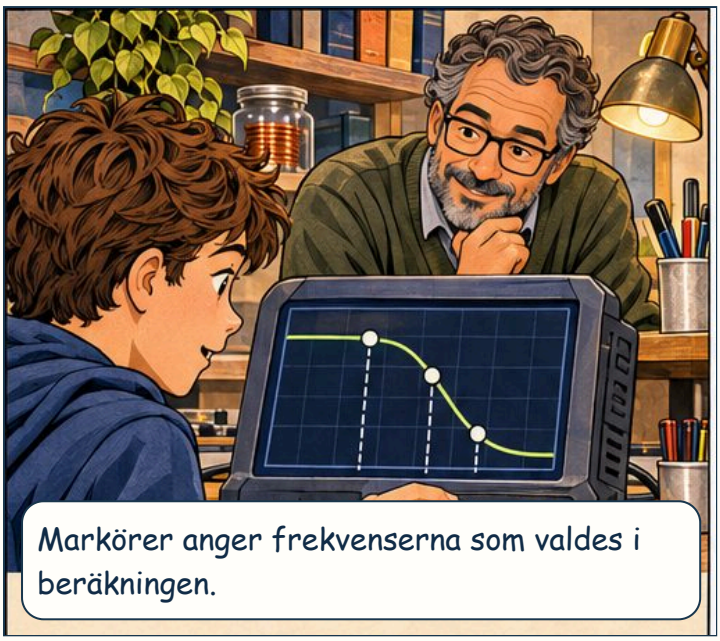


Han sparar kurvan och mätvillkoren.



Ett sparat resultat kan jämföras efter varje ändring.

Läsa av bestämda punkter



Markörer anger frekvenserna som valdes i beräkningen.



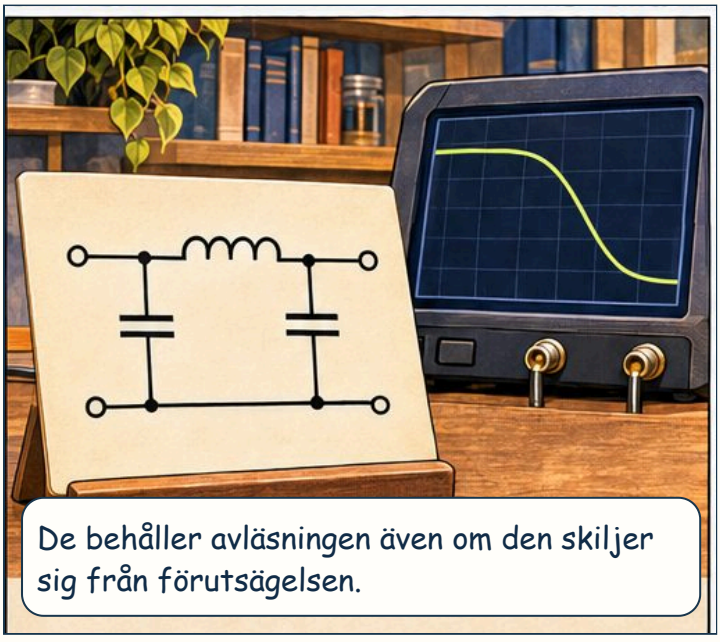
De läser av överföringen kring den förväntade gränsen.



De granskar också punkter vid högre frekvenser.



De faktiskt avlästa värdena hamnar i mätkolumnen.



De behåller avläsningen även om den skiljer sig från förutsägelsen.



Den unge anger även datum och uppställning.

Förstå en avvikelse



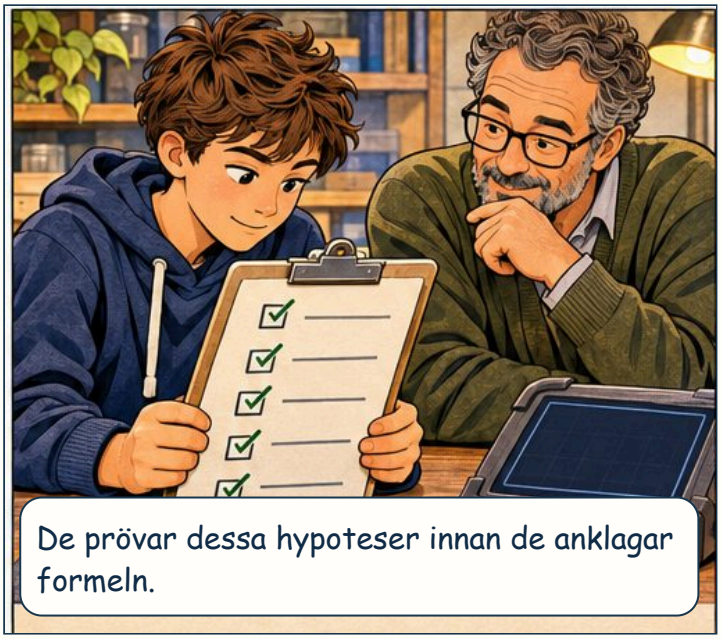
Den observerade gränsen kan skilja sig från den beräknade.



Valda värden och deras toleranser ger första ledtrådar.



Även förluster, placering och kalibrering behöver granskas.



De prövar dessa hypoteser innan de anklagar formeln.

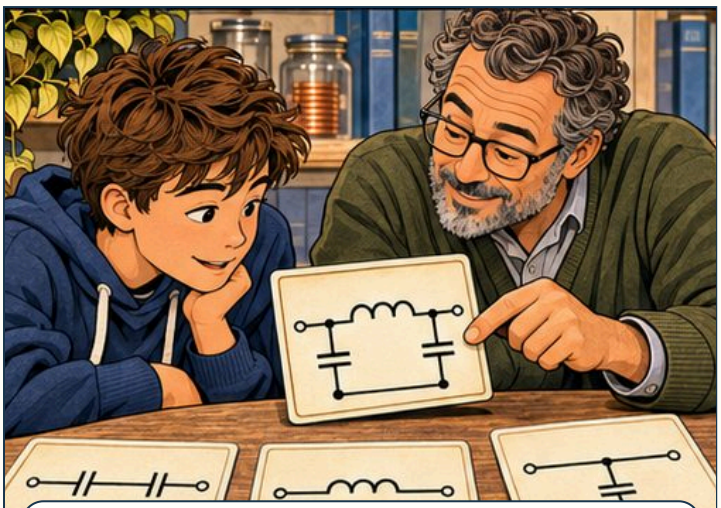


En annorlunda kurva förklarar inte ensam sitt ursprung.

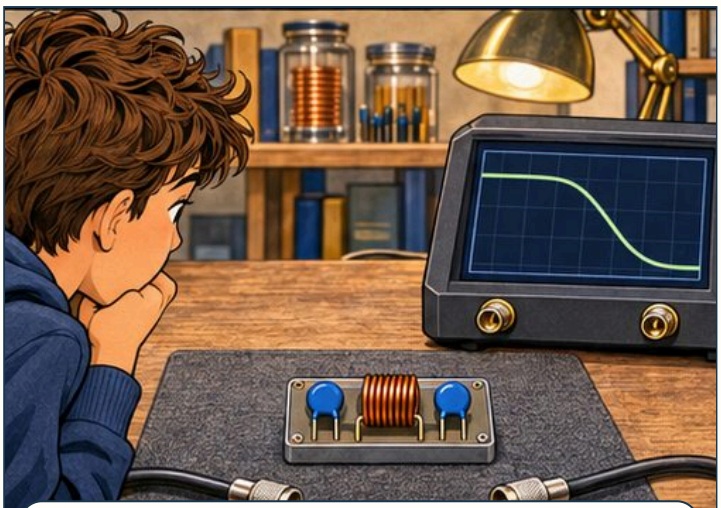


Den unge förvandlar överraskningen till en ny fråga.

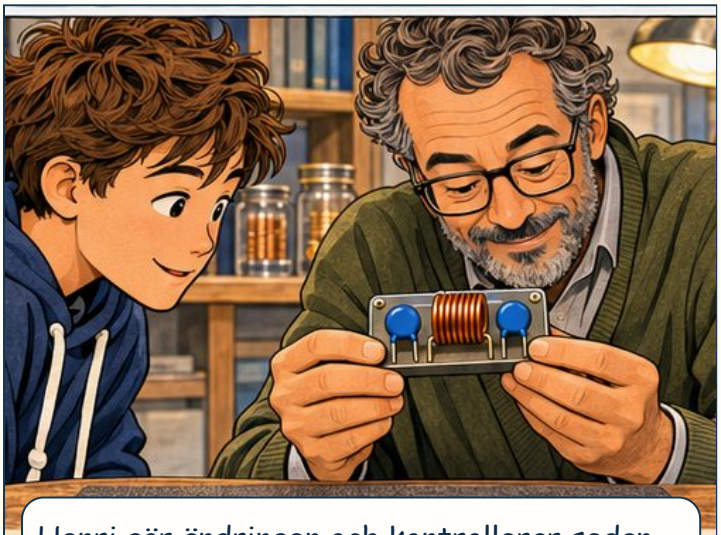
En ändring i taget



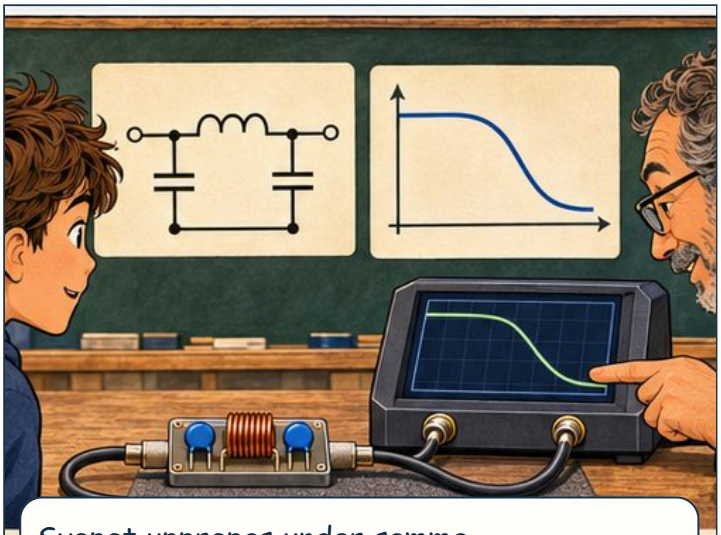
De väljer en hypotes och förbereder en motiverad ändring.



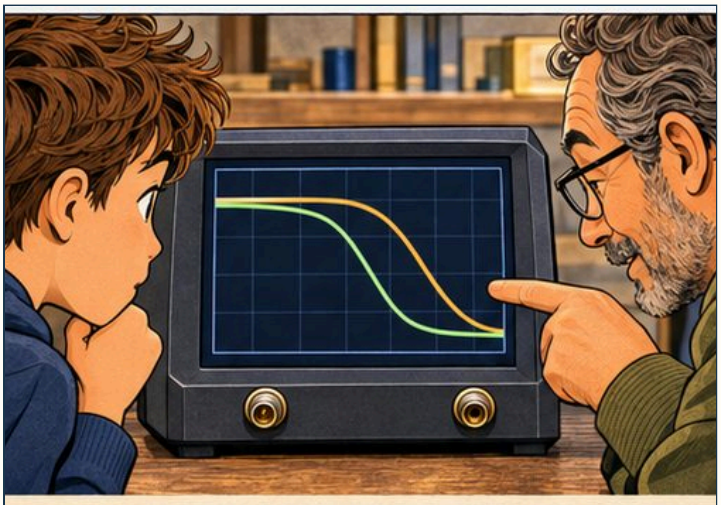
Källan stängs av och modulen kopplas loss före ingreppet.



Henri gör ändringen och kontrollerar sedan kopplingen.



Svepet upprepas under samma dokumenterade förhållanden.

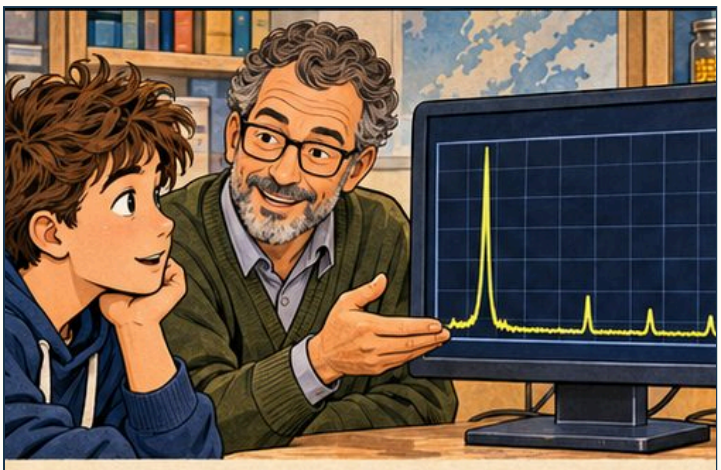


De jämför den gamla och den nya kurvan.

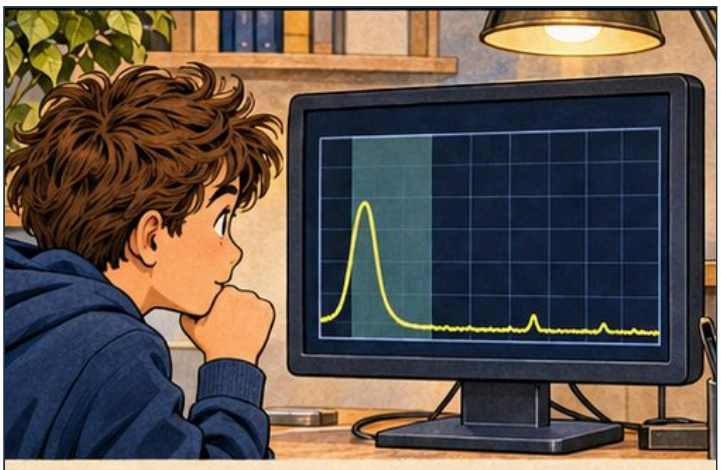


Metoden undviker att blanda ihop flera möjliga orsaker.

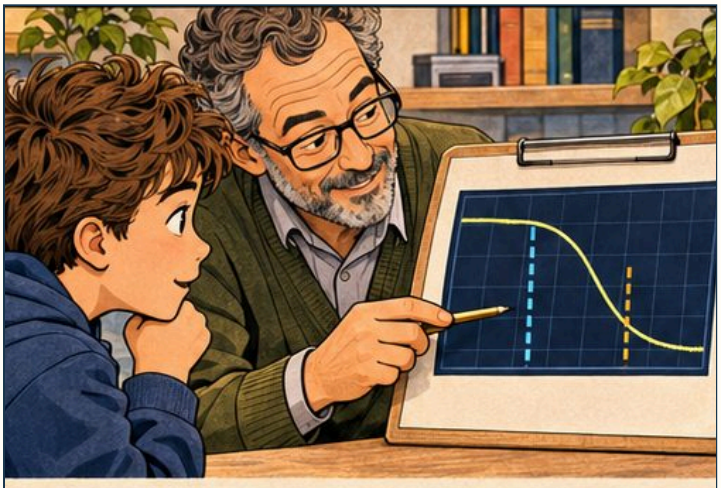
Dämpningen har gränser



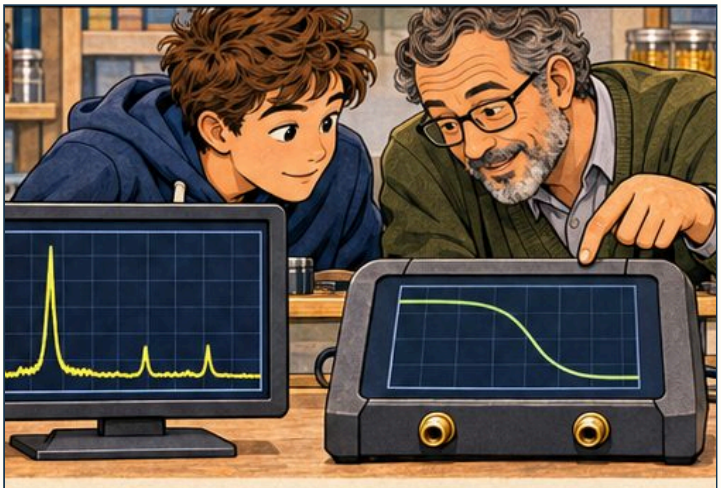
Ett lågpassfilter tar inte bort alla oönskade komponenter.



En komponent i dess passband dämpas lite.



Undertryckningen beror på frekvens och utförande.



En fullständig spektralkontroll skulle kräva ytterligare lämpliga mätningar.



Filtrets närvaro bevisar inte att en station uppfyller kraven.

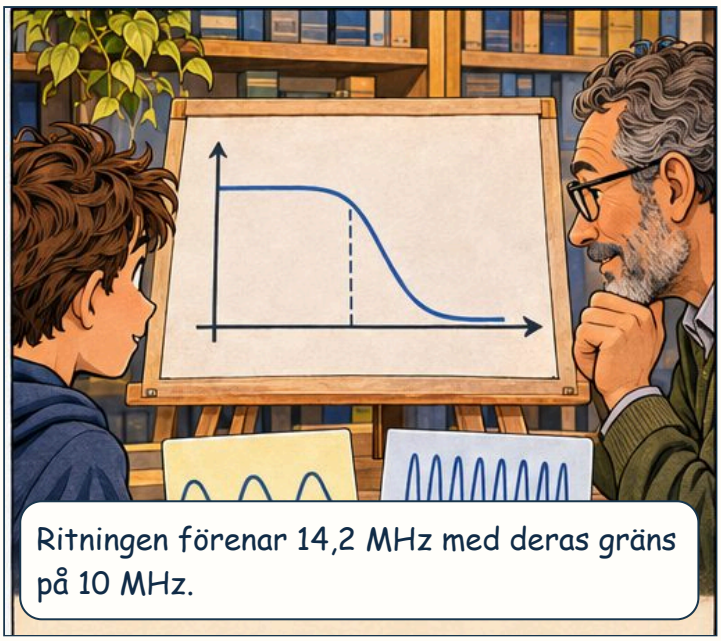


Den unge skiljer en nyttig funktion från en allmän garanti.

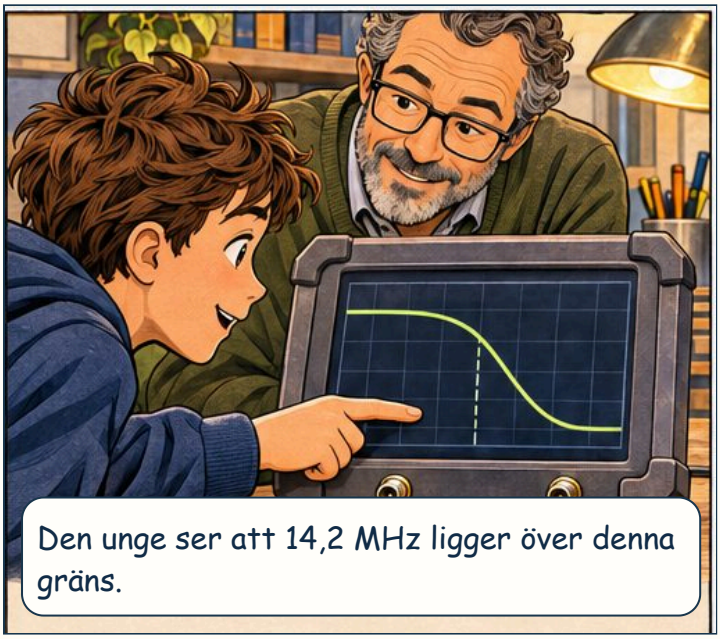
Nyttofrekvensen måste passera



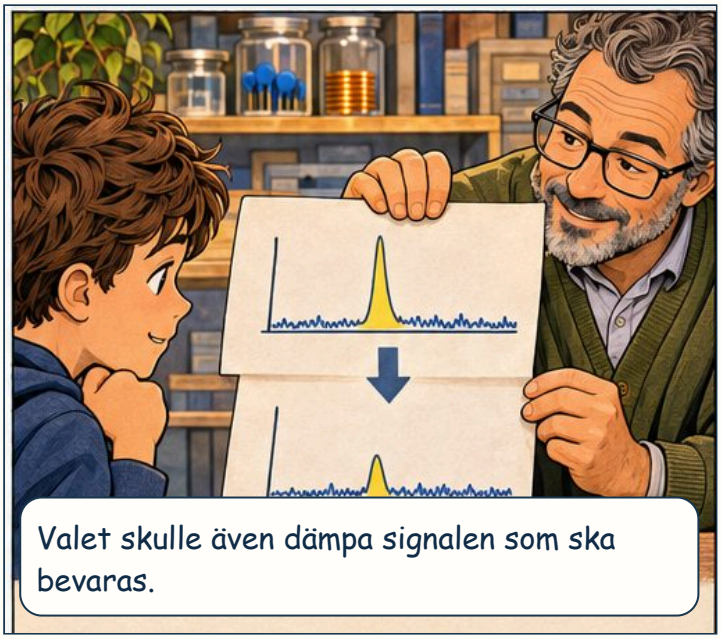
Handledaren presenterar till sist en fälla i en stationsritning.



Ritningen förenar 14,2 MHz med deras gräns på 10 MHz.



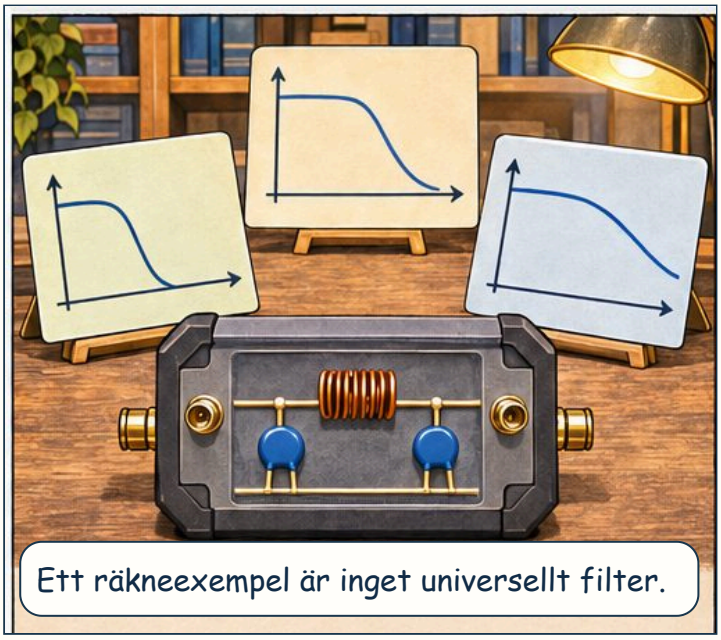
Den unge ser att 14,2 MHz ligger över denna gräns.



Valet skulle även dämpa signalen som ska bevaras.

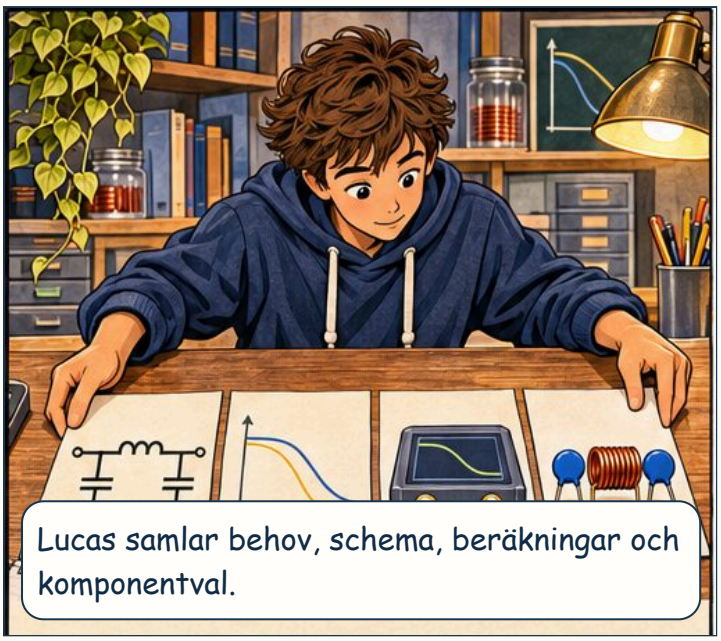


Kravspecifikationen måste ses över före användning.



Ett räkneexempel är inget universellt filter.

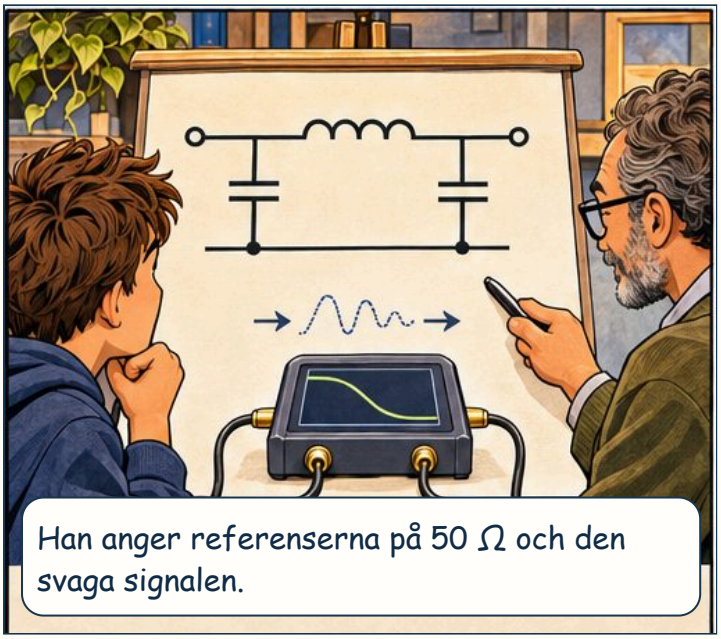
Förbereda en förklaring för andra



Lucas samlar behov, schema, beräkningar och komponentval.



Han skiljer förutsägelser från faktiskt observerade resultat.



Han anger referenserna på 50 Ω och den svaga signalen.



Han bevarar kurvor, kalibrering och experimentets begränsningar.



Henri spelar besökare och ställer en sista fråga.



Nu kan den unge förklara varför varje villkor spelar roll.

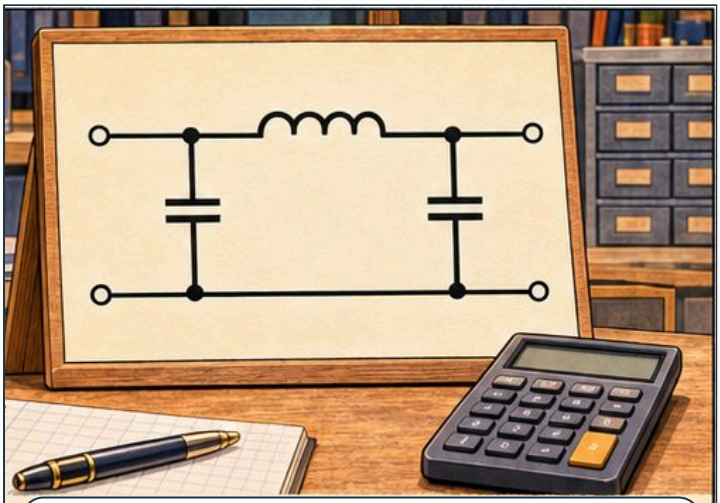
Förstå, beräkna, mäta



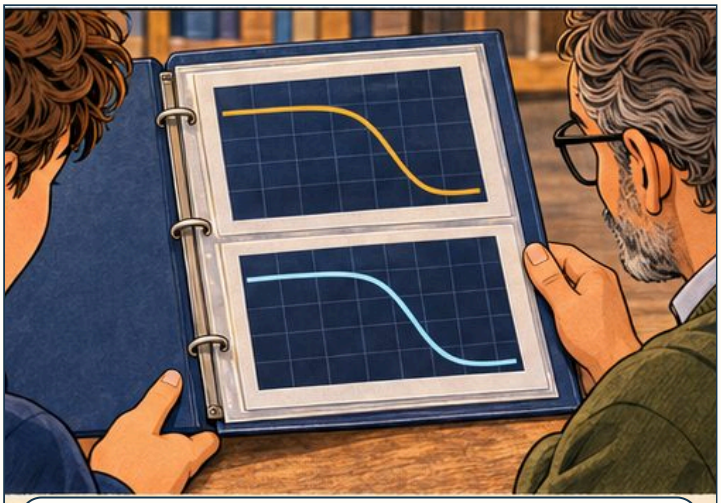
De tre komponenterna återvänder till undervisningslådan.



Den unge kan nu koppla ett behov till ett filters svar.



Han kan beräkna detta Butterworthfilter i π och kontrollera enheterna.



Han kan också mäta, jämföra och undersöka avvikelser.



Anteckningsboken bevarar en metod med antaganden och begränsningar.



I klubben börjar nästa upptäckt redan med en fråga.