ON4CRD

Volumul 05

Calculul filtrelor



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Mențiuni legale

Volumul 05 · Calculul filtrelor

Editor de site : Radio Club Durnal ON4CRD

Manager de publicație : Comitetul Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Mențiuni legale

Proprietatea intelectuală

Textele, imaginile, documentele, siglele și materialele publicate pe site rămân proprietatea autorilor respectivi sau a clubului. Orice reproducere sau reutilizare trebuie să respecte sursa, drepturile aplicabile și orice permisiunea autorului.

Răspunderea

Clubul lucrează pentru a publica informații utile și verificate, dar nu garantează absența erorilor, omisiunilor sau întreruperilor. Informațiile tehnice sau de reglementare trebuie verificate cu sursele oficiale atunci când susțin o decizie.

Ilustrații create cu ajutorul inteligenței artificiale.

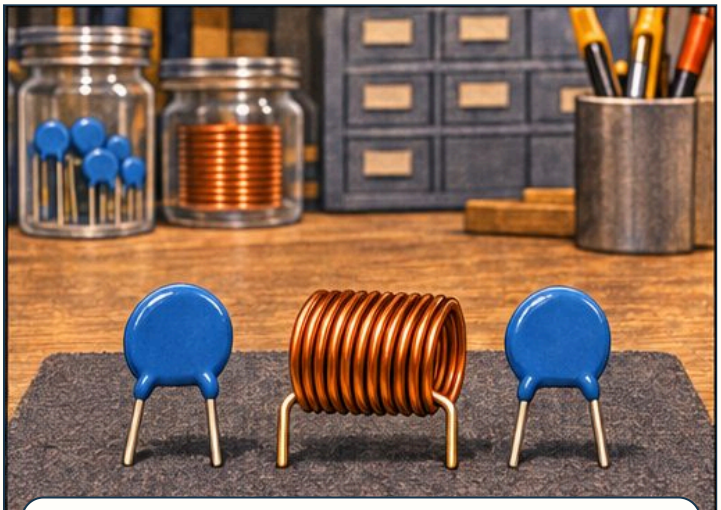
O nouă misiune



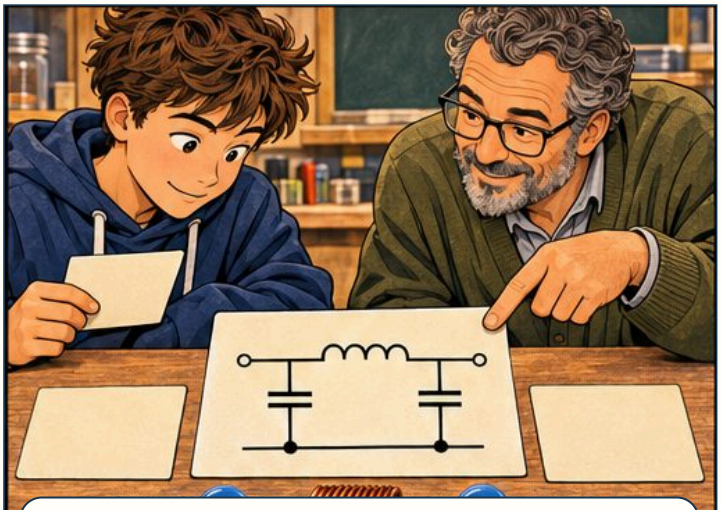
După atelierul de electricitate, Lucas își regăsește caietul la club.



Henri pregătește o demonstrație despre calitatea semnalelor.



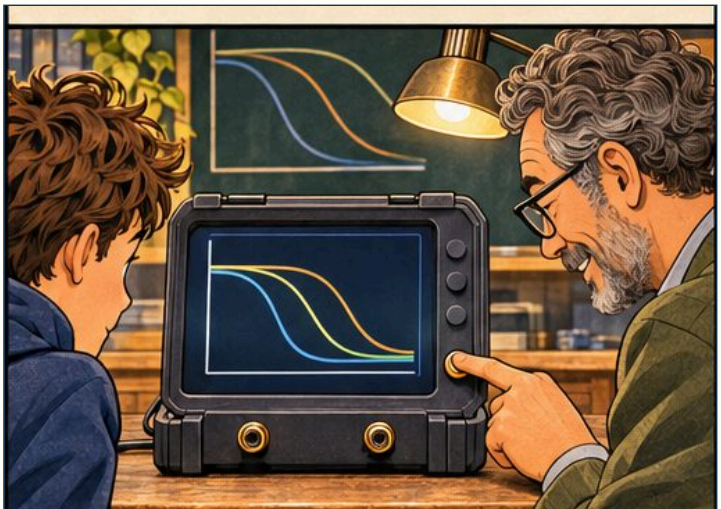
Pe masă așteaptă două condensatoare și o bobină.



Provocarea: să înțeleagă, să calculeze și să măsoare un filtru trece-jos.

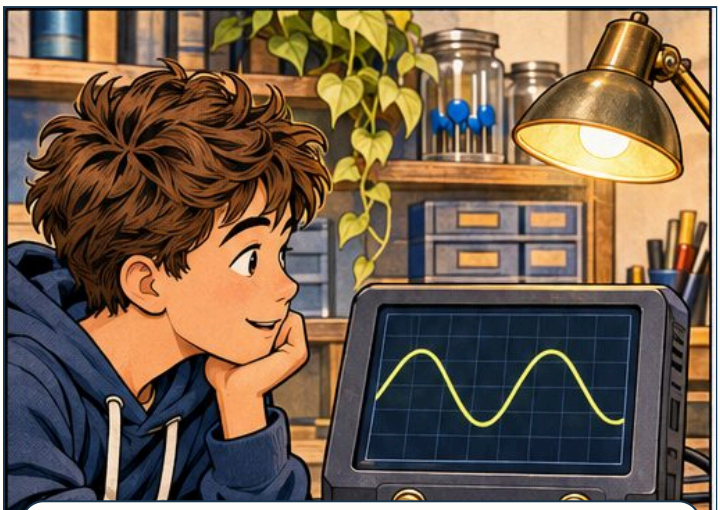


Tânărul vrea să afle cum pot schimba totul trei componente.

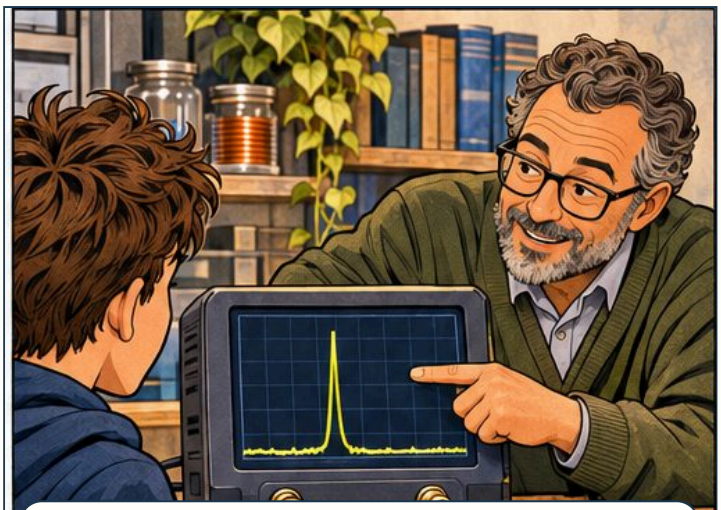


Încep prin a cerceta conținutul unui semnal.

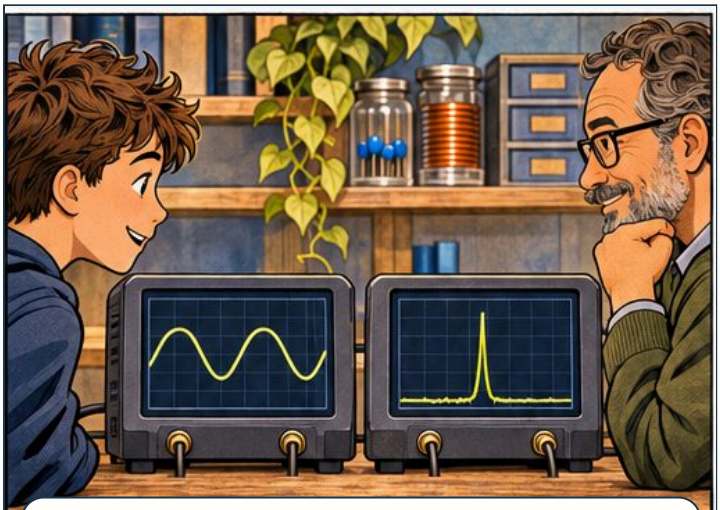
Semnalul și portretul său



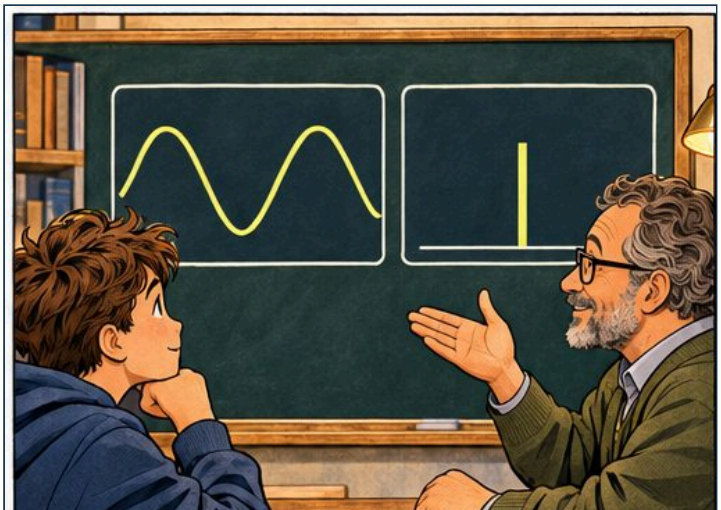
O curbă în timp arată cum evoluează semnalul.



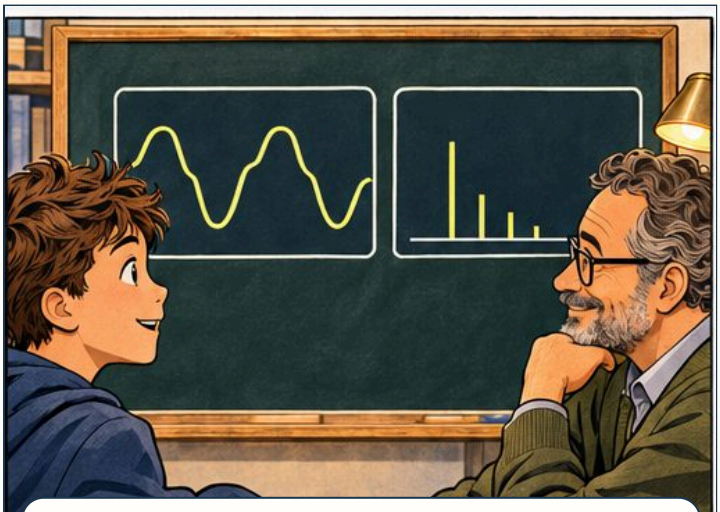
Un spectru prezintă componentele sale în funcție de frecvență.



Cele două imagini descriu diferit același semnal.



O sinusoidă ideală are o singură frecvență.

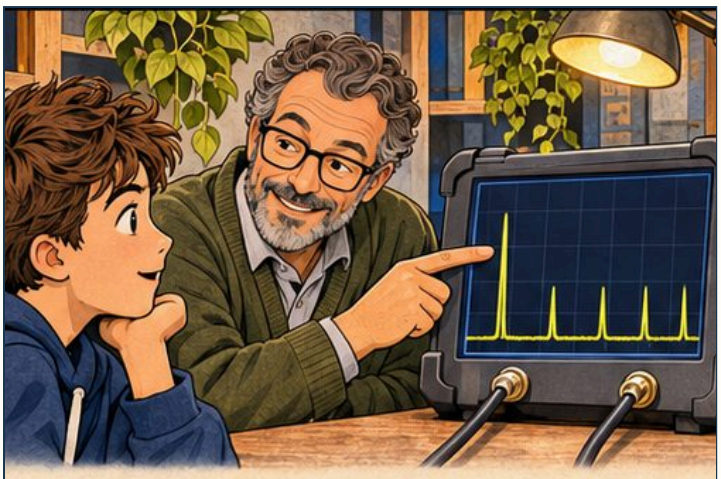


O formă deformată poate conține mai multe componente.



Tânărul descoperă un portret pe care nu știa să-l citească.

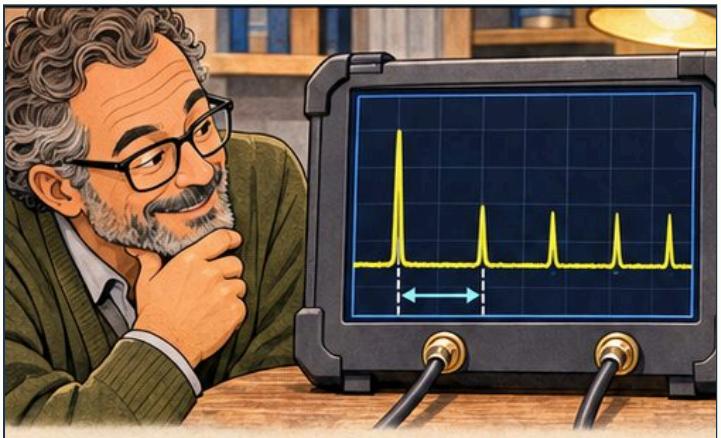
Se dezvăluie armonicile



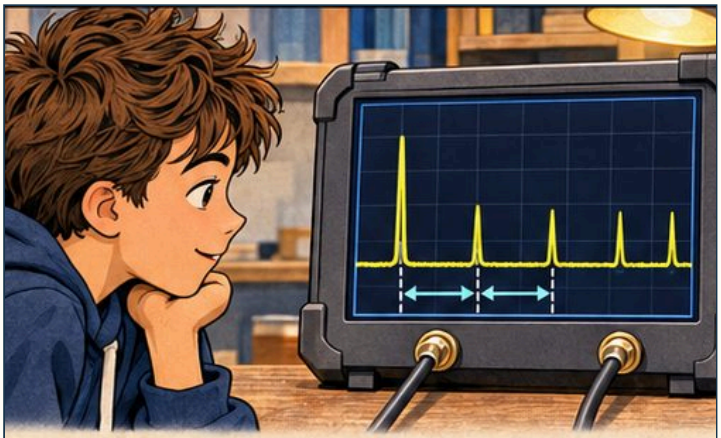
Frecvența fundamentală oferă primul reper al semnalului periodic.



Armonicile sunt multipli întregi ai acestei frecvențe.



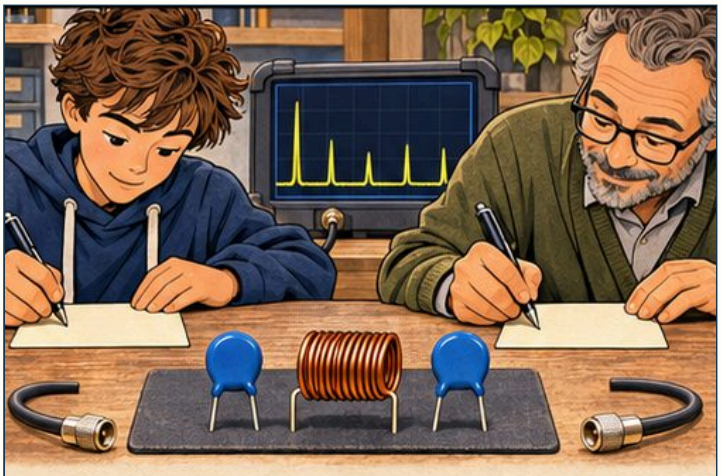
A doua armonică are frecvența dublă față de fundamentală.



A treia are frecvența triplă.

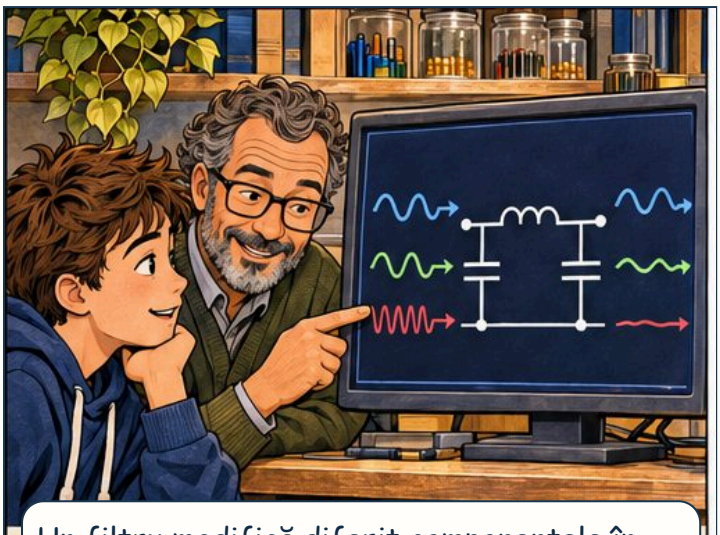


Totuși, nu toate componentele nedorite sunt armonici.

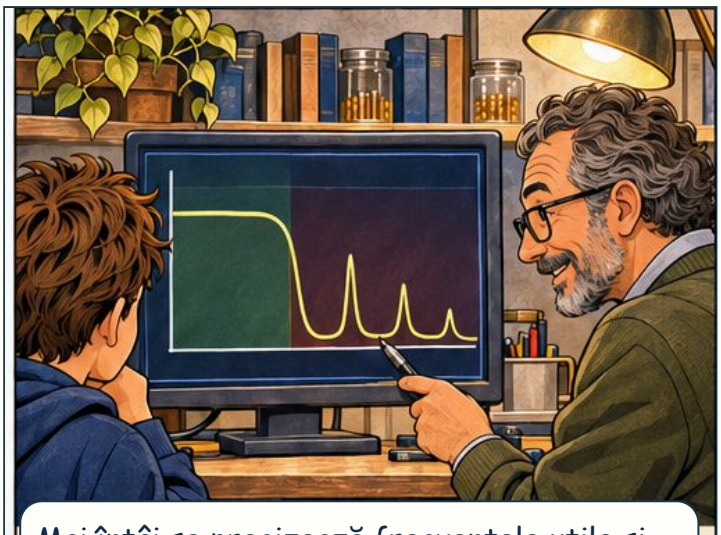


Filtrul va trebui să răspundă unei cerințe precis definite.

Alegerea a ceea ce păstrăm



Un filtru modifică diferit componentele în funcție de frecvență.



Mai întâi se precizează frecvențele utile și cele deranjante.



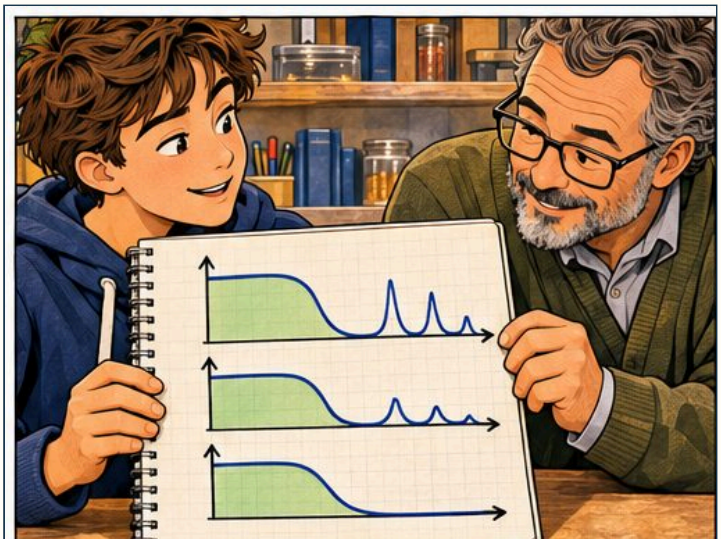
Se stabilesc și atenuările dorite.



Fără aceste obiective, calculul componentelor ar avea puțin sens.

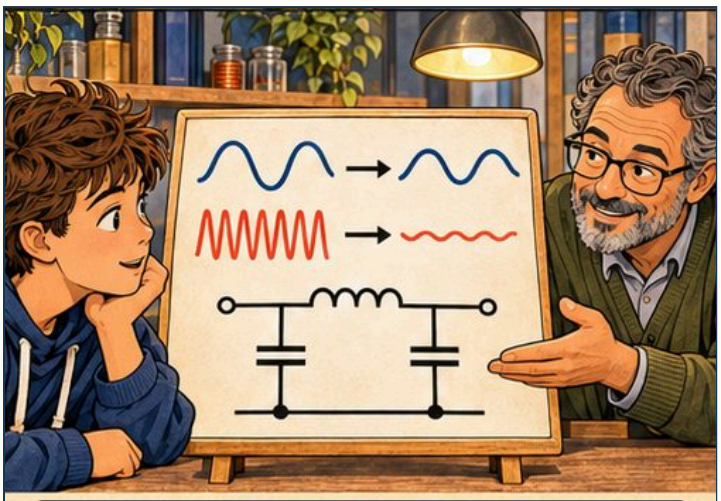


Tânărul încercuiește zona utilă într-un spectru de exemplu.



Caietul său devine un caiet de sarcini.

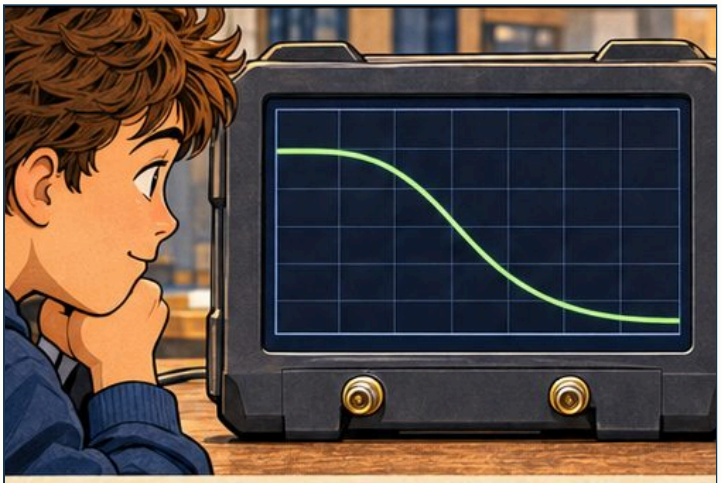
Alegerea filtrului trece-jos



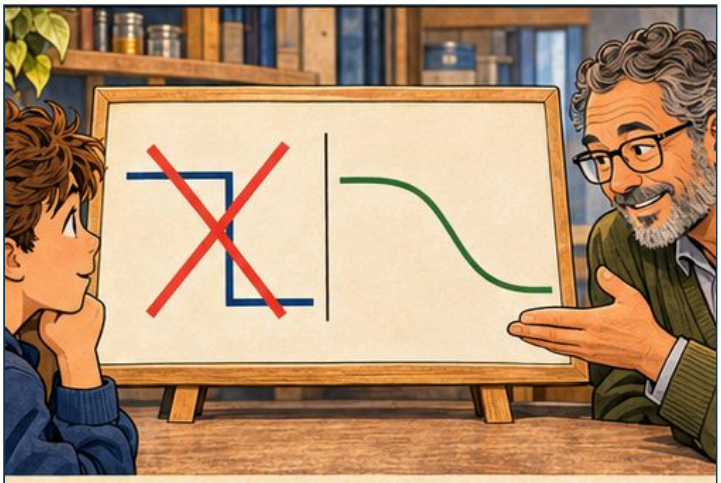
Un filtru trece-jos transmite mai bine frecvențele joase decât pe cele înalte.



Banda sa de trecere se află în zona frecvențelor joase.



Mai sus, atenuarea crește treptat.



Tranziția reală nu este niciodată un zid vertical perfect.



Acest tip se potrivește demonstrației de astăzi.



Tânărul desenează o pantă în locul unei bariere.

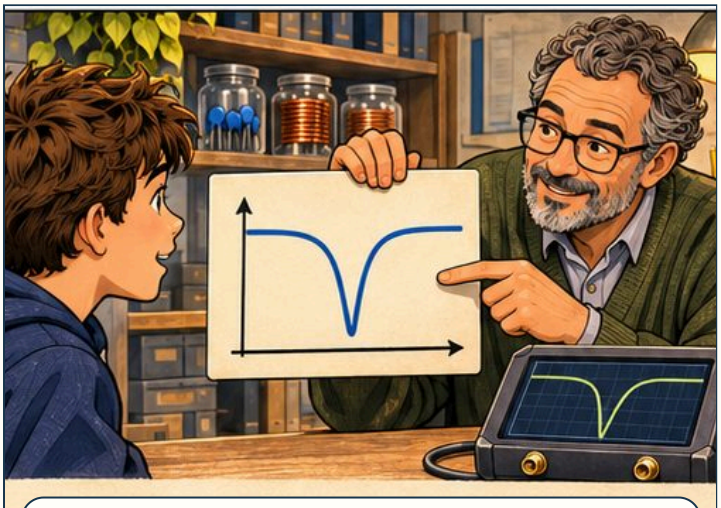
Alte căi posibile



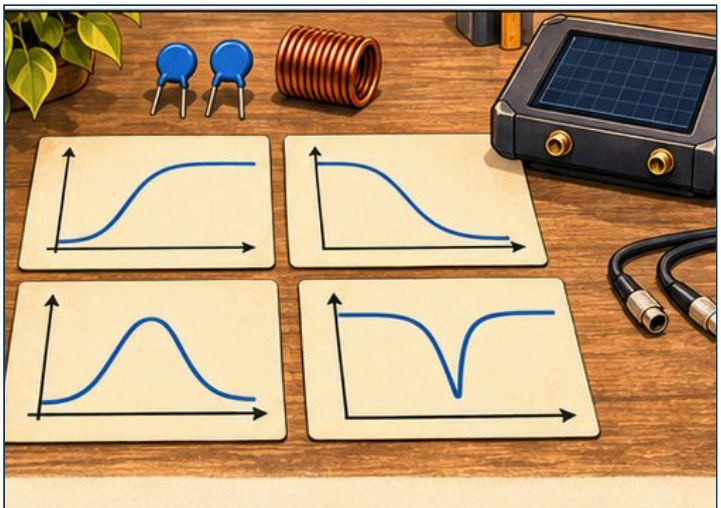
Un filtru trece-sus atenuează frecvențele joase și le păstrează pe cele înalte.



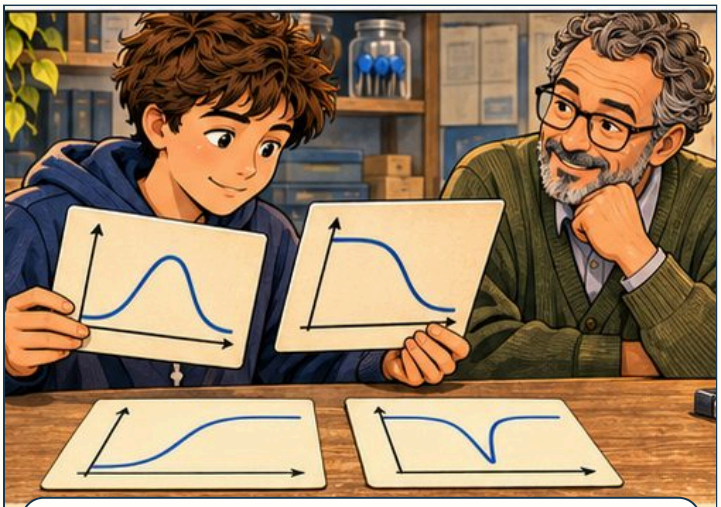
Un filtru trece-bandă favorizează o zonă între două limite.



Un filtru oprește-bandă atenuează, dimpotrivă, o zonă aleasă.



Aceste familii răspund unor nevoi diferite.

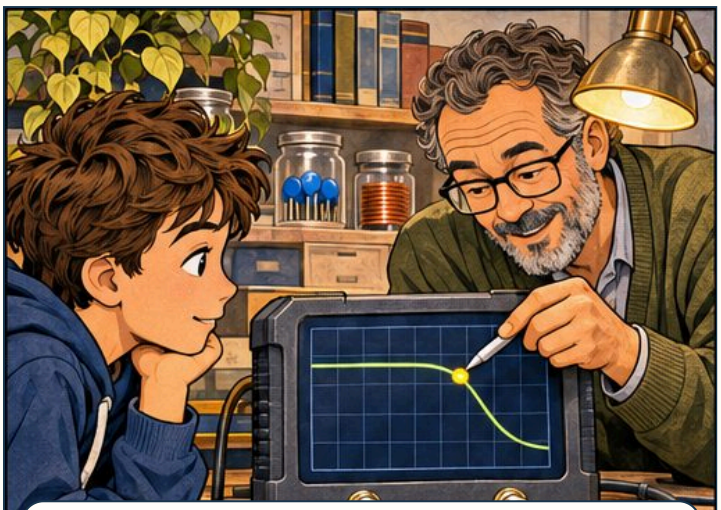


Numele descrie un răspuns, nu o calitate universală.



Tânărul pune deoparte trei cartonașe pentru un viitor atelier.

Un prag care încă lasă să treacă



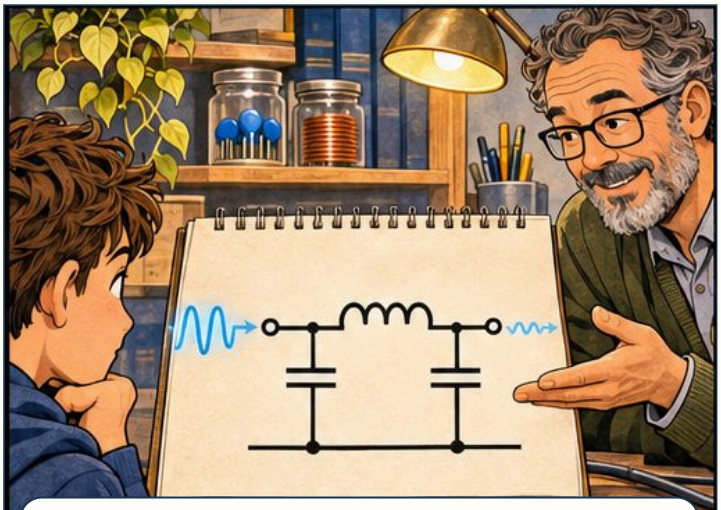
Frecvența de tăiere marchează aici un nivel de referință.



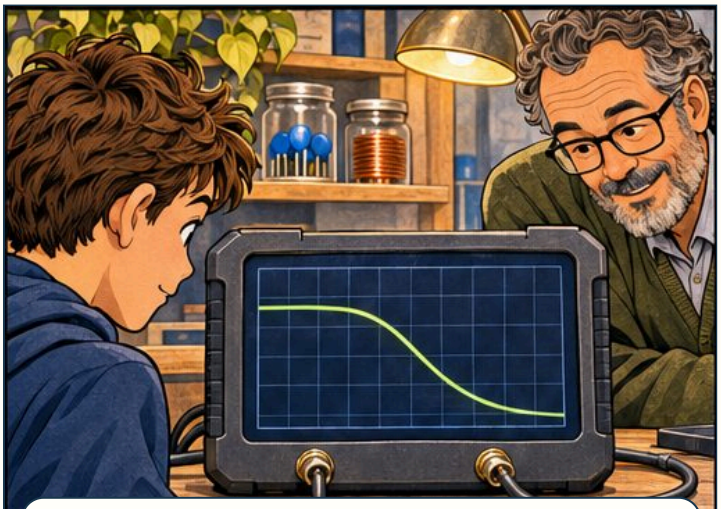
Nu înseamnă dispariția bruscă a semnalului.



Pentru filtrul lor Butterworth ideal, va corespunde la aproximativ −3 dB.



Așadar, filtrul încă transmite energie la această frecvență.



Dincolo de ea, atenuarea va continua să crească.

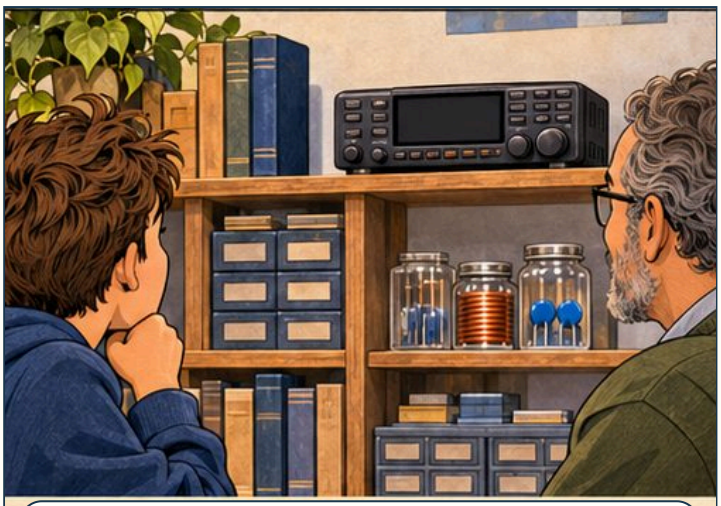


Această precizare evită o primă idee greșită.

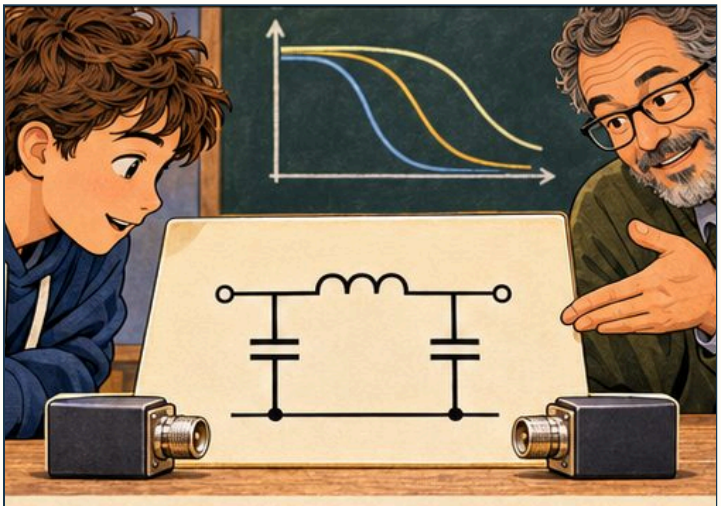
Un exemplu de laborator



Aleg o frecvență de tăiere teoretică de 10 MHz.



Această valoare servește învățării, fără a defini o frecvență de emisie.



Sursa și sarcina de referință vor avea 50 Ω.



Montajul va fi studiat pe banc, cu un semnal slab.



Nu vor conecta nicio antenă și niciun emițător.

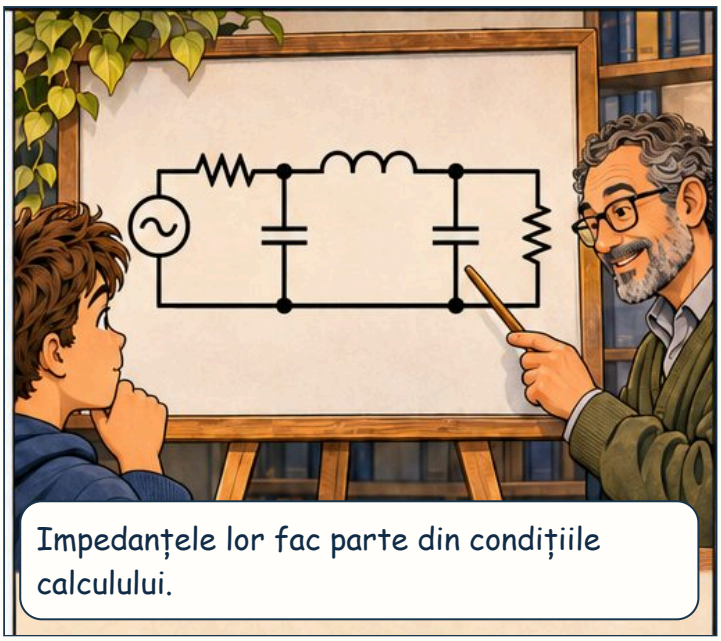


Obiectivul este un răspuns măsurabil, nu un contact radio.

De ce precizăm 50 de ohmi?



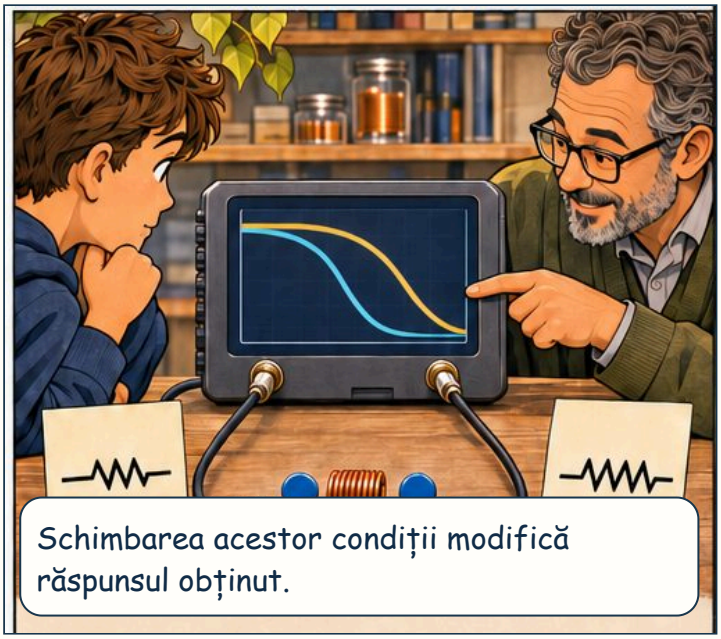
Un filtru lucrează între o sursă și o sarcină.



Impedanțele lor fac parte din condițiile calculului.



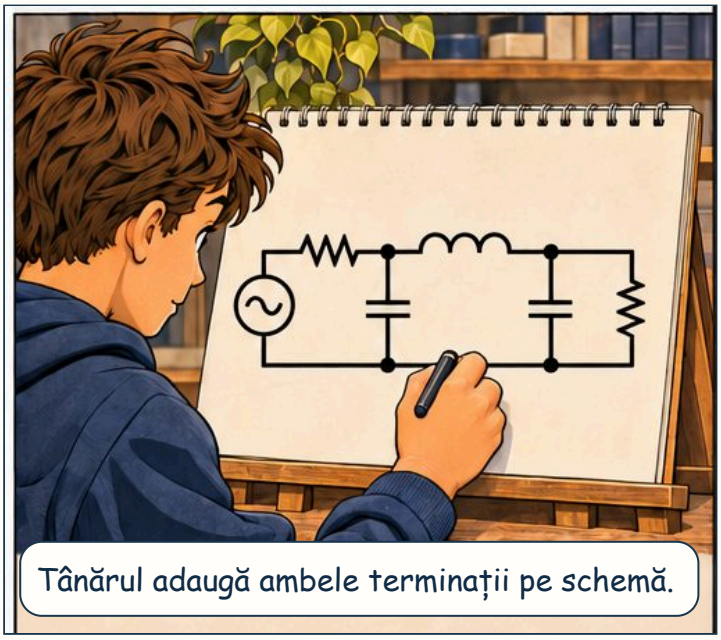
Aici, fiecare are ideal 50 Ω, de natură rezistivă.



Schimbarea acestor condiții modifică răspunsul obținut.

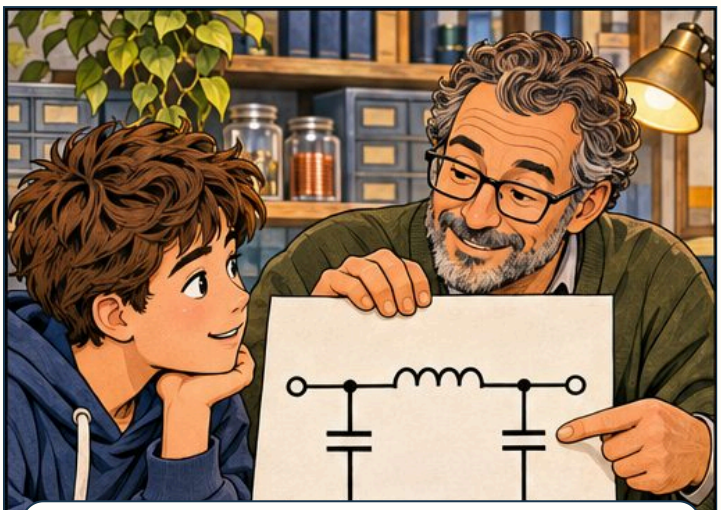


Nu este deci suficient să copiezi trei valori.



Tânărul adaugă ambele terminații pe schemă.

Modelul și montajul



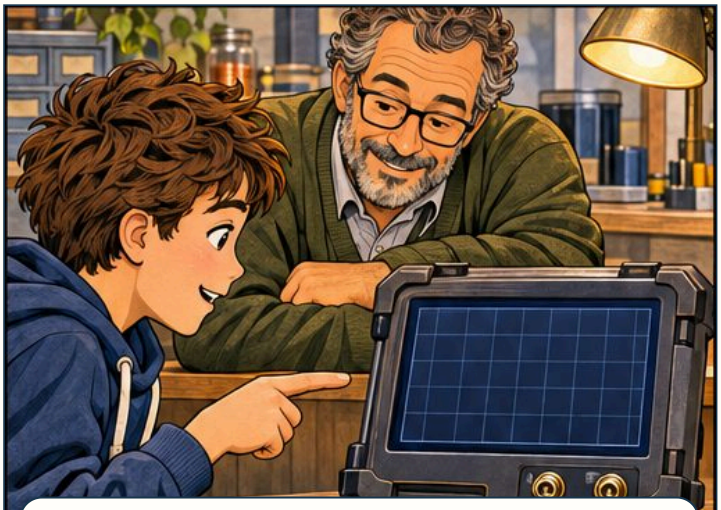
Calculul începe cu componente ideale, fără pierderi.



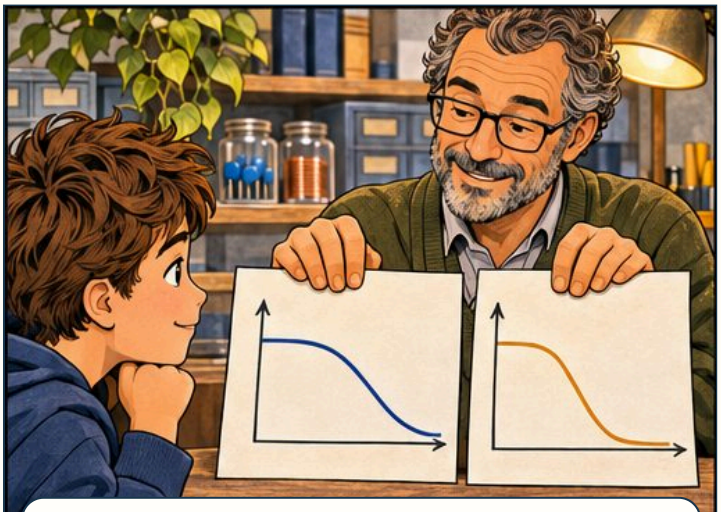
Montajul real va avea rezistențe și efecte parazite.



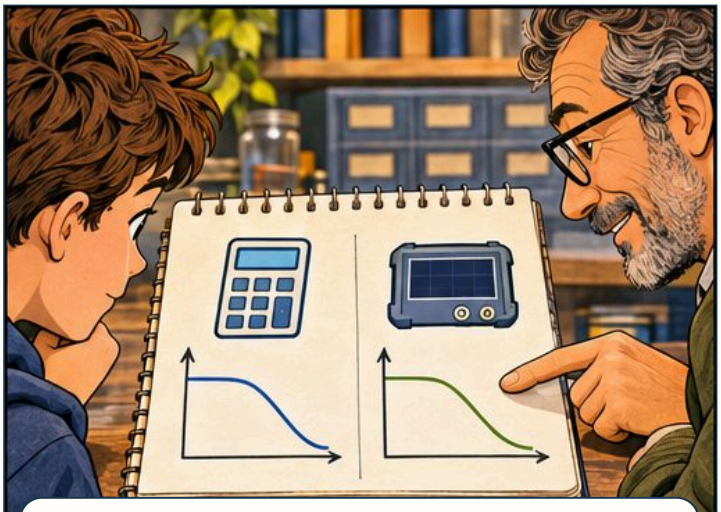
Modelul permite anticiparea unui prim răspuns.



Măsurătorile vor permite apoi examinarea diferențelor.

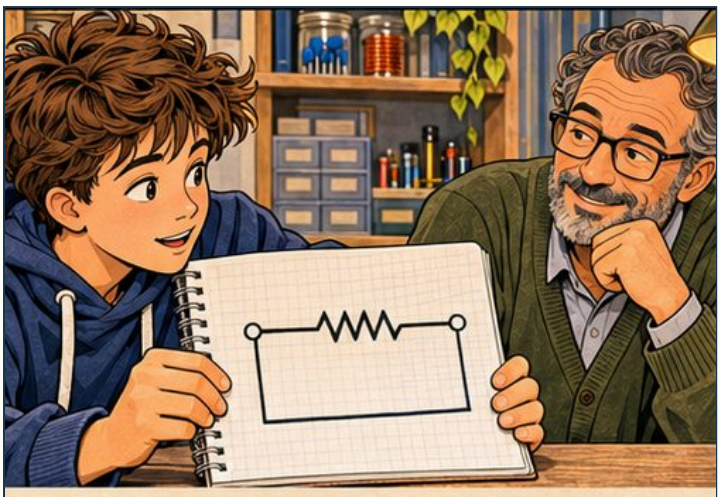


Confundarea previziunii cu rezultatul ar împiedica înțelegerea abaterilor.

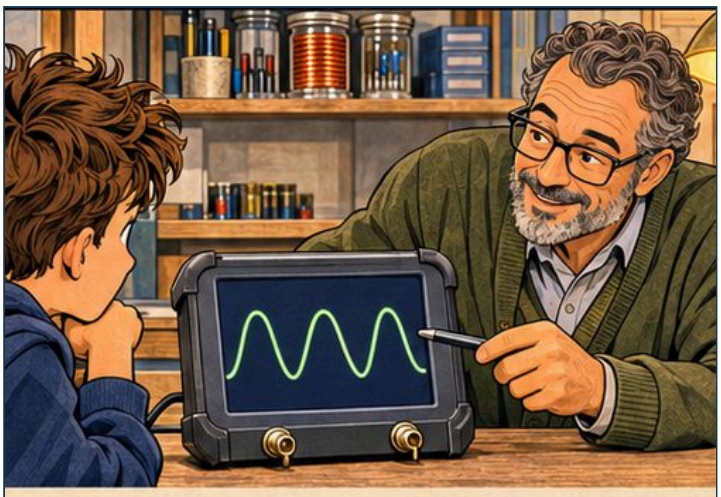


Caietul rezervă un loc separat pentru fiecare.

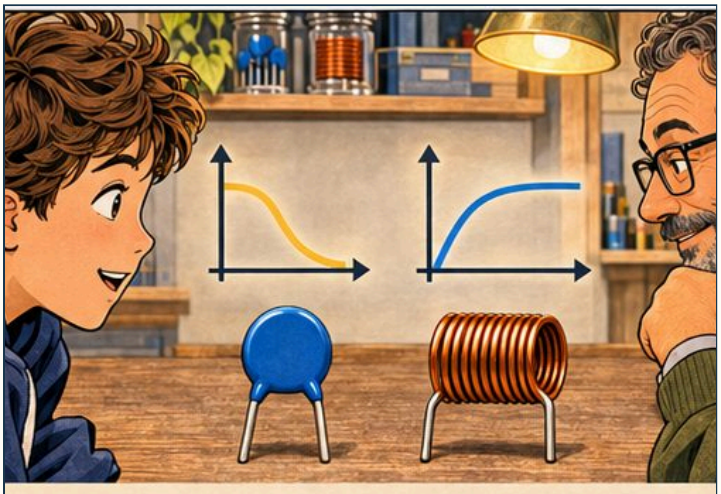
Rezistența nu mai este suficientă



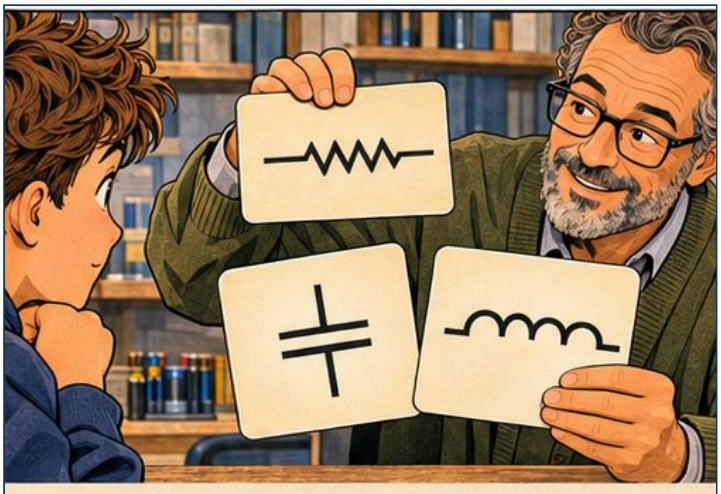
Volumul anterior lega tensiunea, curentul și rezistența în curent continuu.



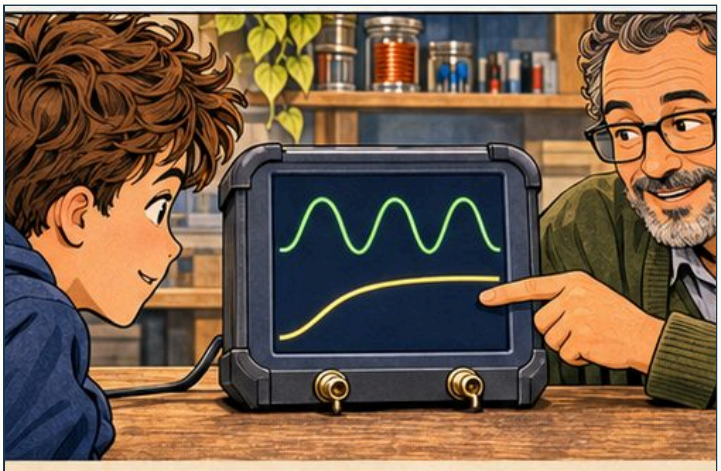
Aici semnalul variază rapid, iar frecvența contează.



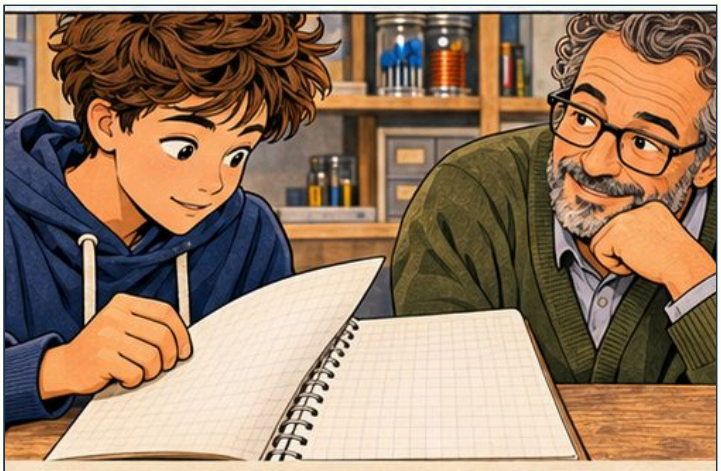
Condensatoarele și bobinele prezintă o opoziție dependentă de frecvență.



Această reactanță nu se confundă cu o simplă rezistență.



Impedanța descrie mai larg comportamentul electric în curent alternativ.

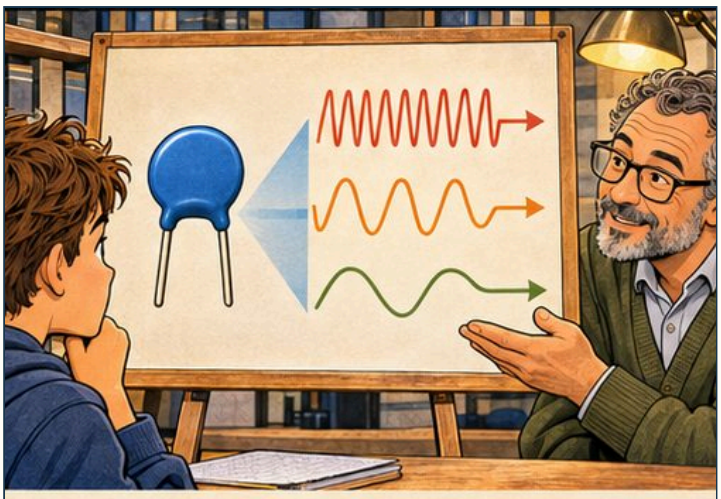


Tânărul înțelege de ce este necesar un model nou.

Rolul condensatorului



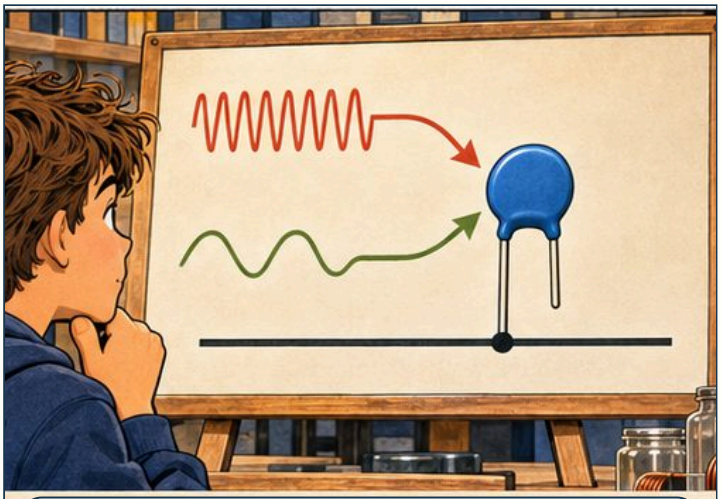
Capacitatea se notează C și se exprimă în farazi, F.



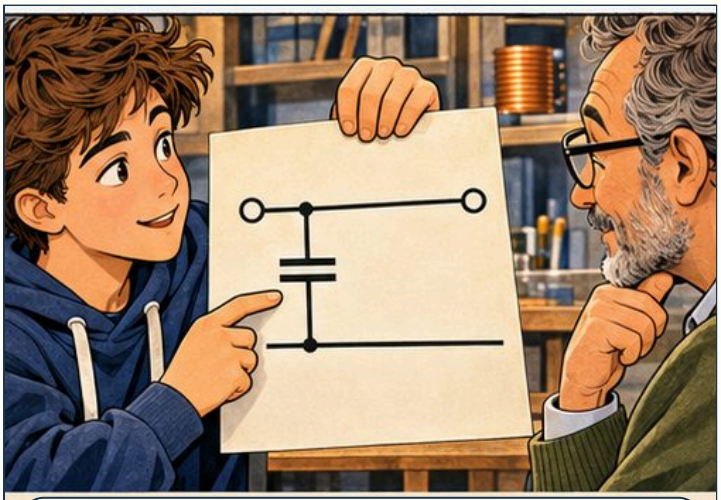
La un condensator ideal, reactanța scade când frecvența crește.



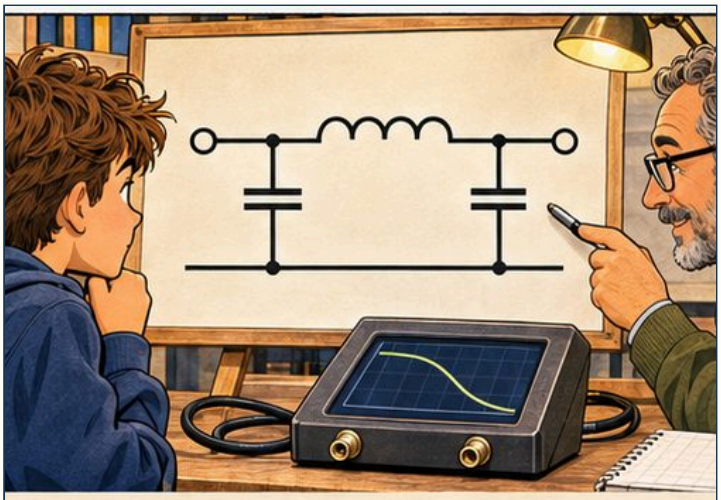
Valoarea ei absolută este Xc = 1/(2πfC).



La aceeași capacitate, frecvențele înalte întâlnesc mai puțină reactanță.



În filtrul lor, condensatoarele vor fi legate la masă.

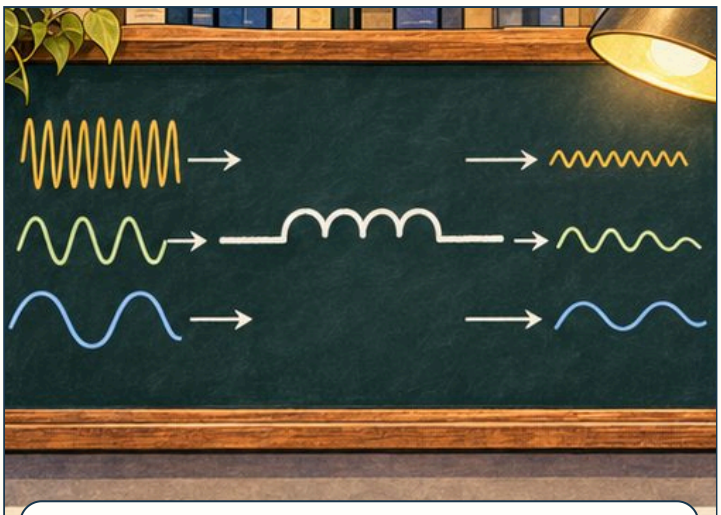


Rolul lor depinde și de restul circuitului.

Rolul bobinei



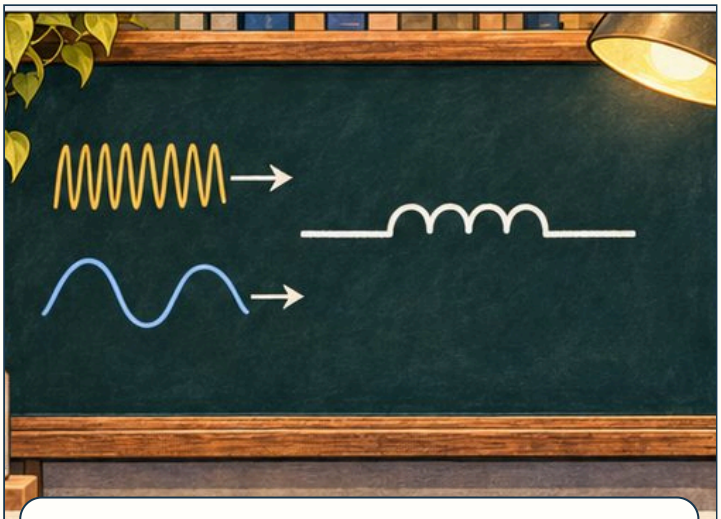
Inductanța se notează L și se exprimă în henry, H.



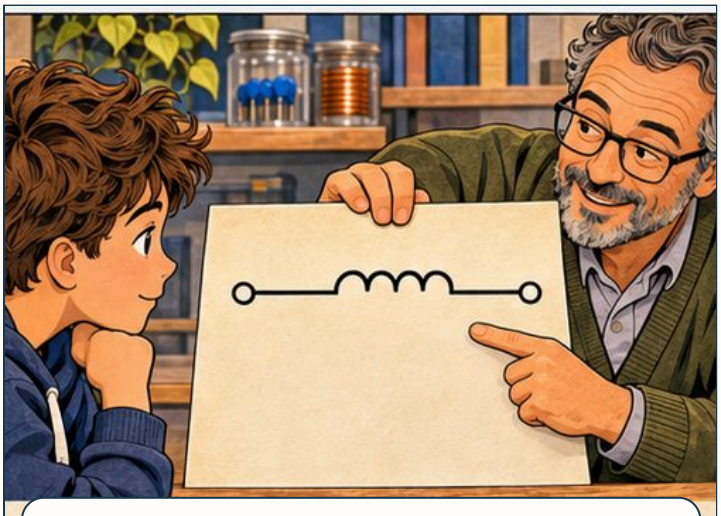
La o bobină ideală, reactanța crește cu frecvența.



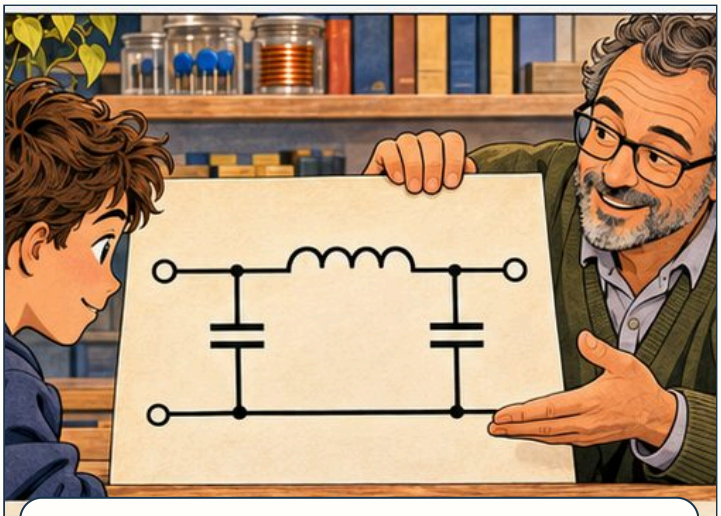
Valoarea ei absolută este XL = 2πfL.



La aceeași inductanță, frecvențele înalte întâlnesc mai multă reactanță.

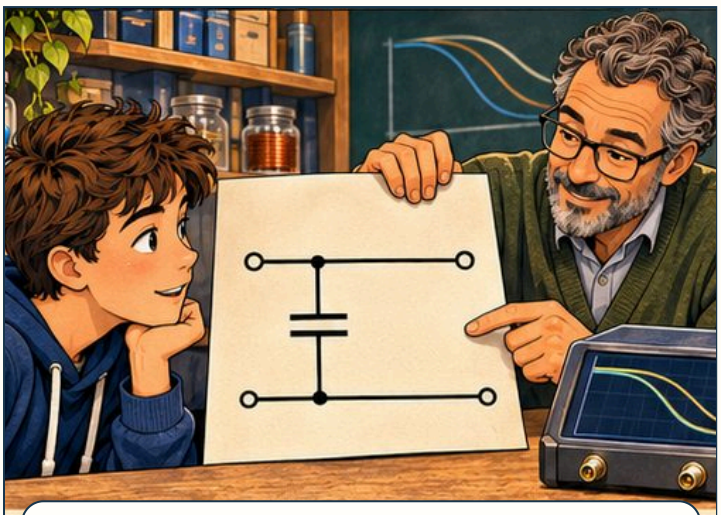


În filtrul lor, bobina va fi pe traseul semnalului.

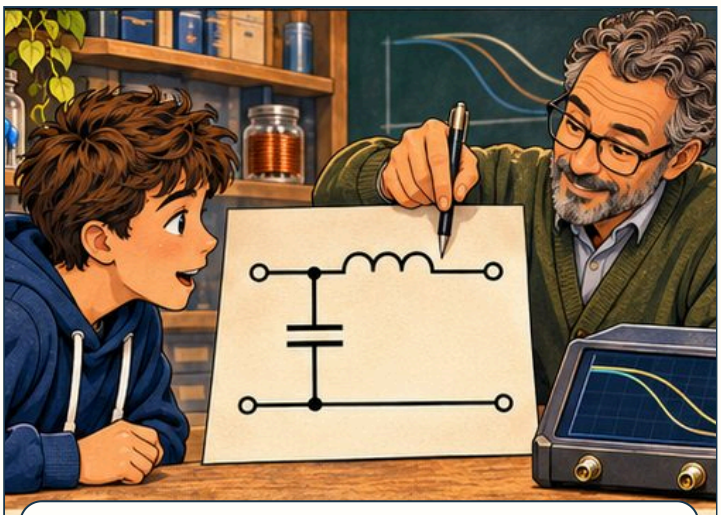


Cele două tipuri de componente vor acționa împreună.

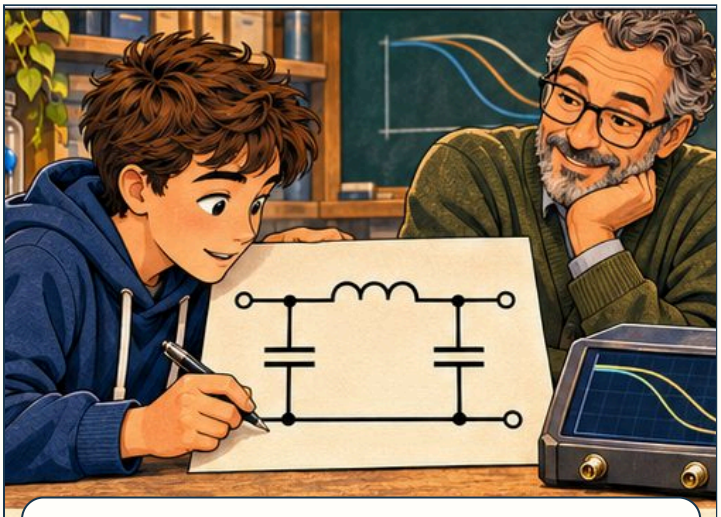
Schema capătă forma π



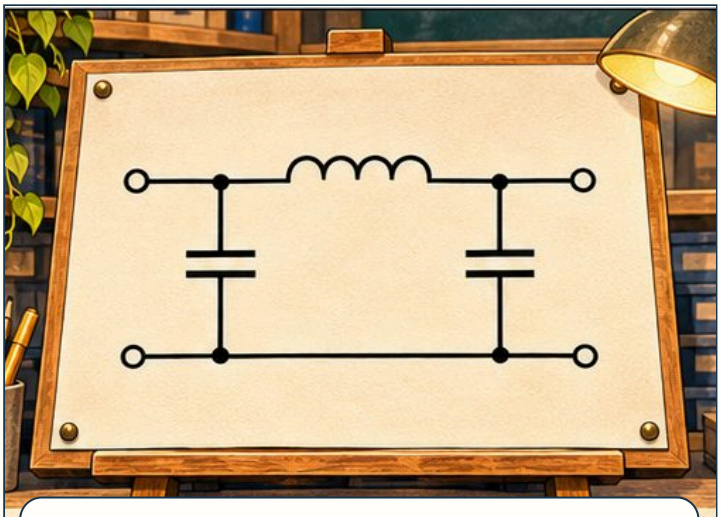
Intrarea ajunge la primul condensator legat la masă.



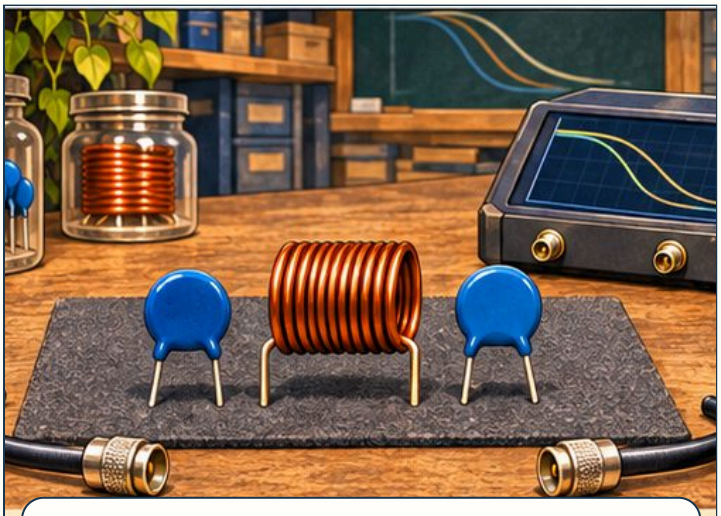
O bobină leagă apoi intrarea de ieșire, în serie.



Un al doilea condensator leagă ieșirea la aceeași masă.



Două ramuri coboară de o parte și de alta a bobinei.



Această dispunere amintește de litera grecească π.

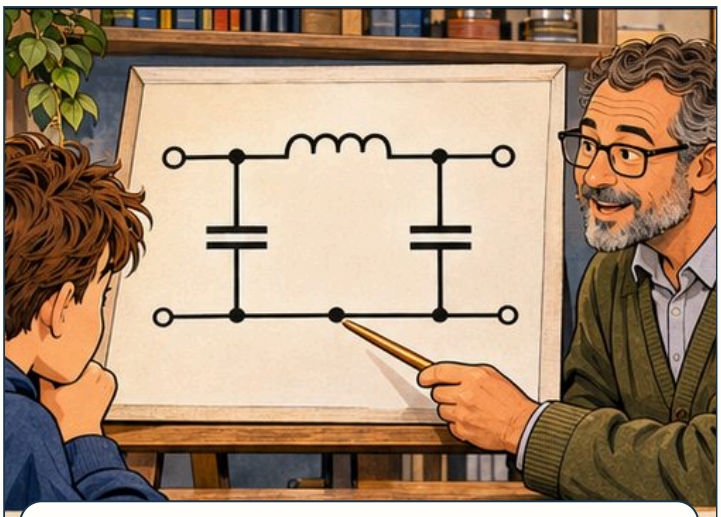


Tânărul urmărește cu creionul fiecare conexiune.

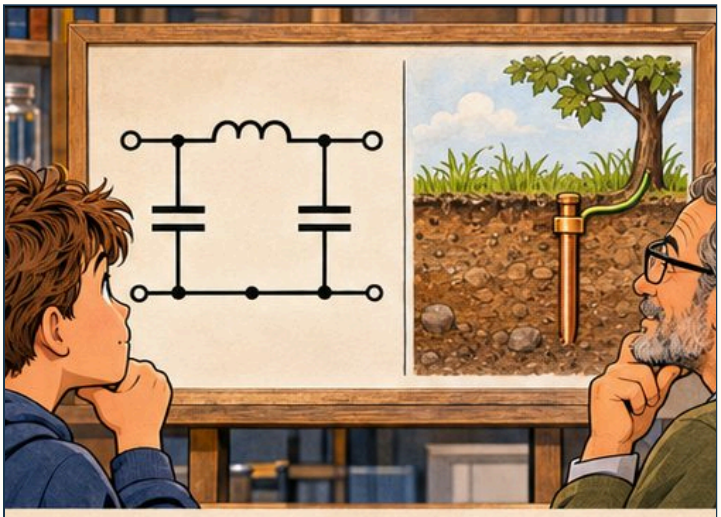
Masa schemei



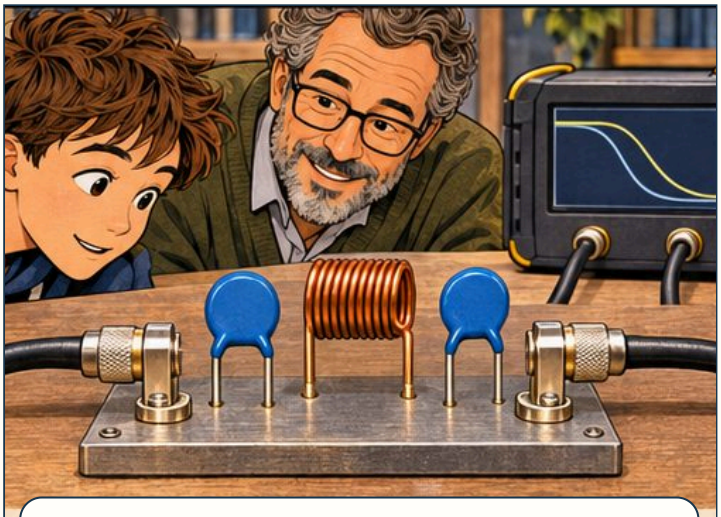
Cele două condensatoare au o referință electrică comună.



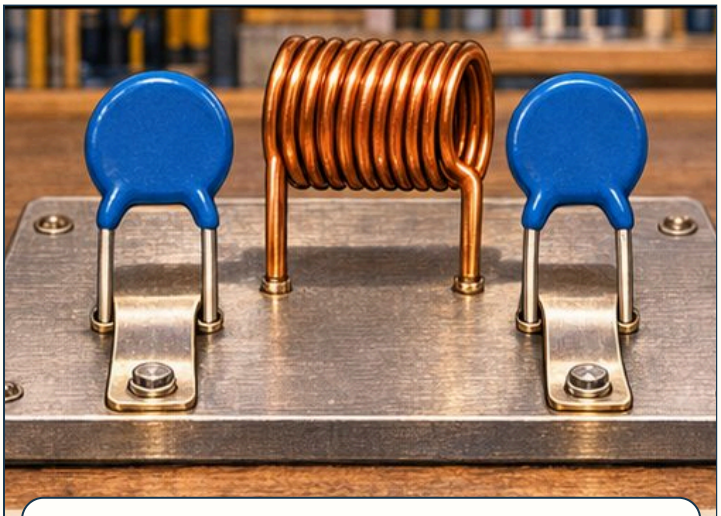
Simbolul de masă reprezintă aici această referință a montajului.



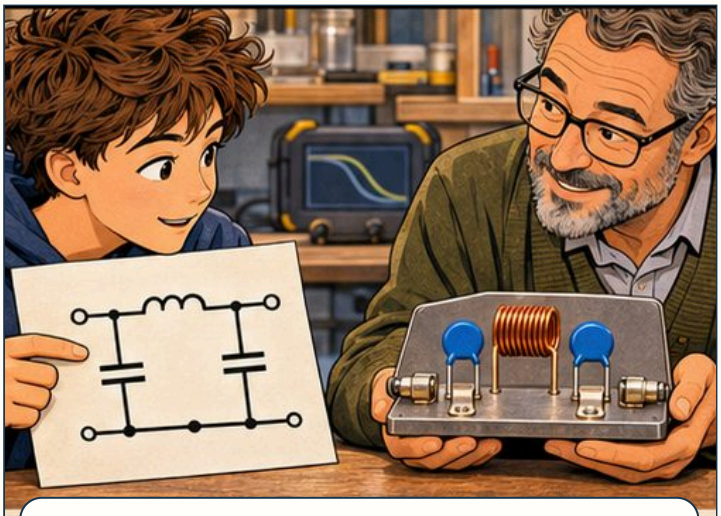
Nu înseamnă automat o conexiune la pământ.



Ecranele coaxiale ajung la această masă conform montajului prevăzut.



O legătură scurtă limitează unele efecte parazite.

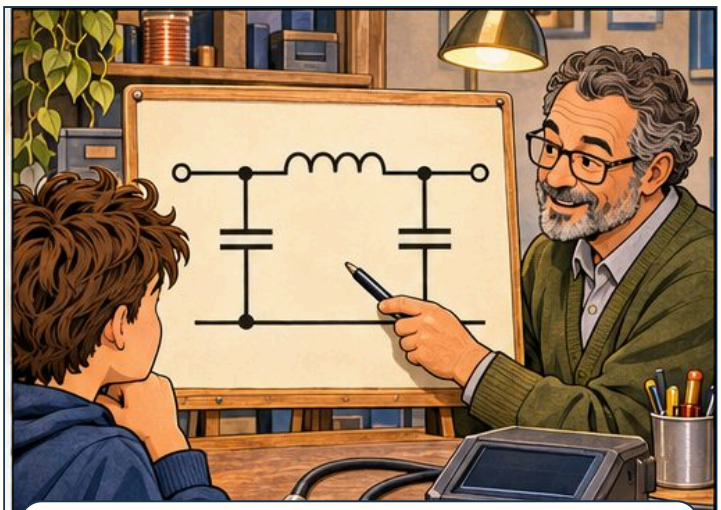


Tânărul deosebește simbolul de realizarea sa concretă.

Trei elemente și un ordin



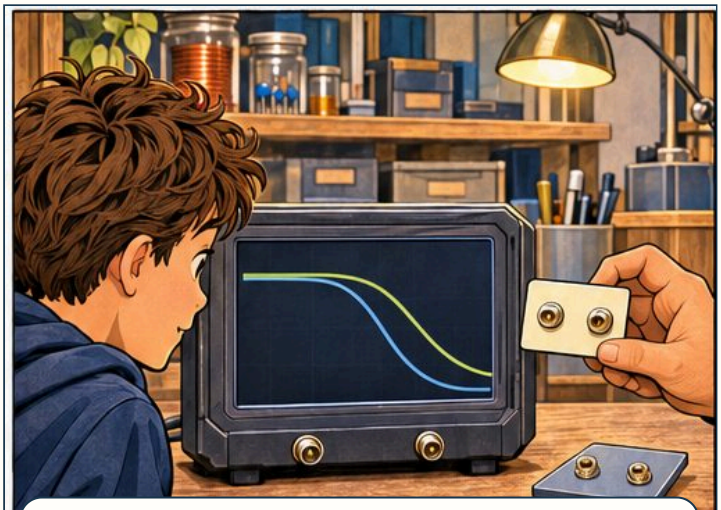
Această rețea ideală are trei elemente reactive: C, L și C.



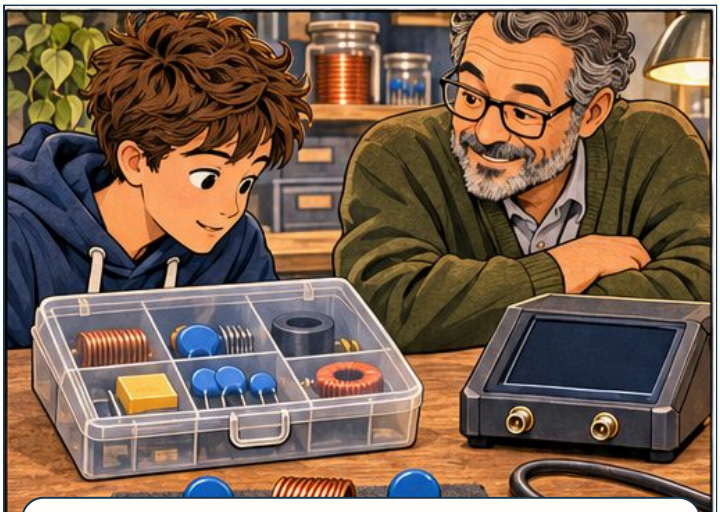
Ele realizează aici un filtru trece-jos de ordinul trei.



Ordinul caracterizează printre altele panta îndepărtată a modelului.



Totuși, o impedanță nepotrivită ar schimba răspunsul.



Adăugarea componentelor la întâmplare nu creează filtrul dorit.

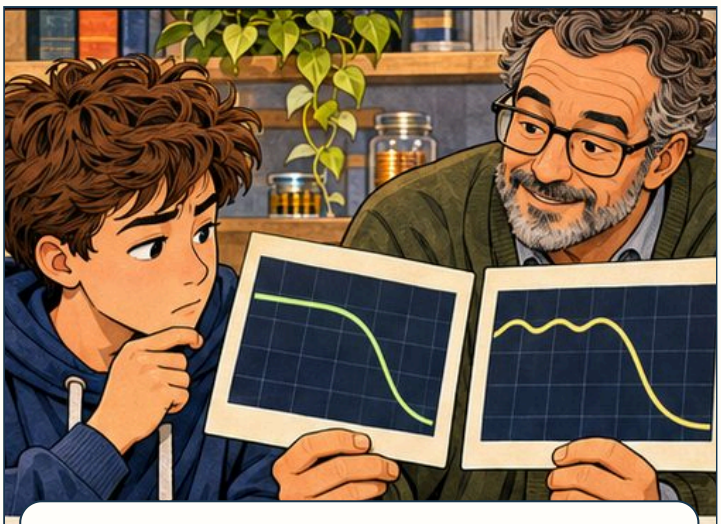


Forma schemei trebuie să însoțească calculul.

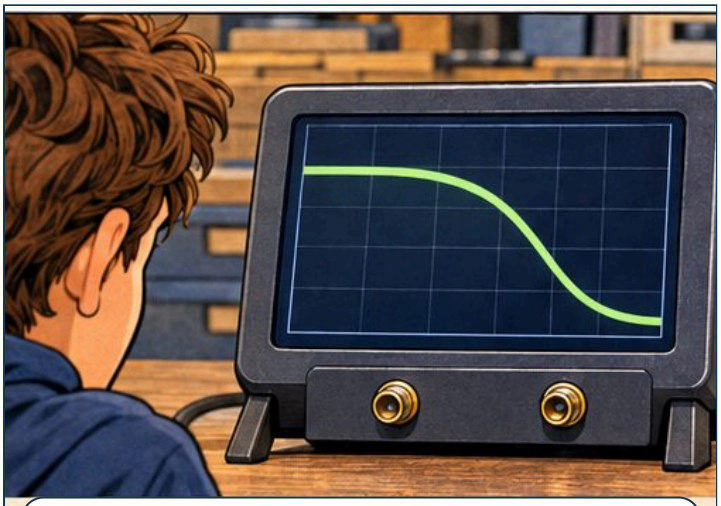
De ce Butterworth?



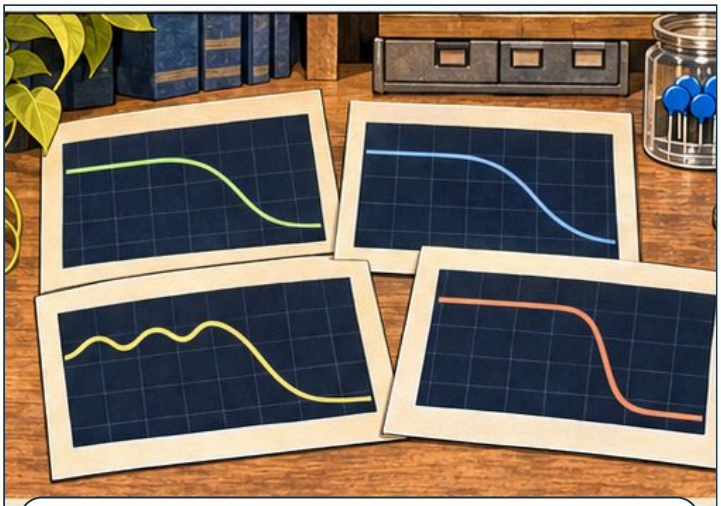
Răspunsul Butterworth este maxim plat în banda de trecere.



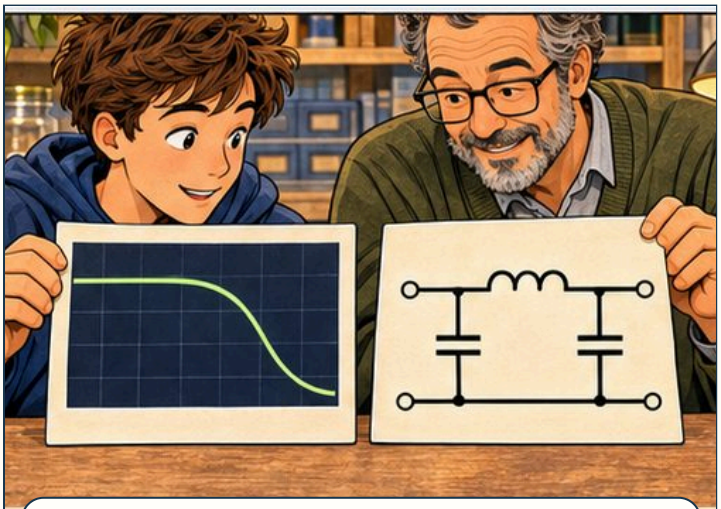
Modelul său ideal nu prezintă ondulații în această bandă.



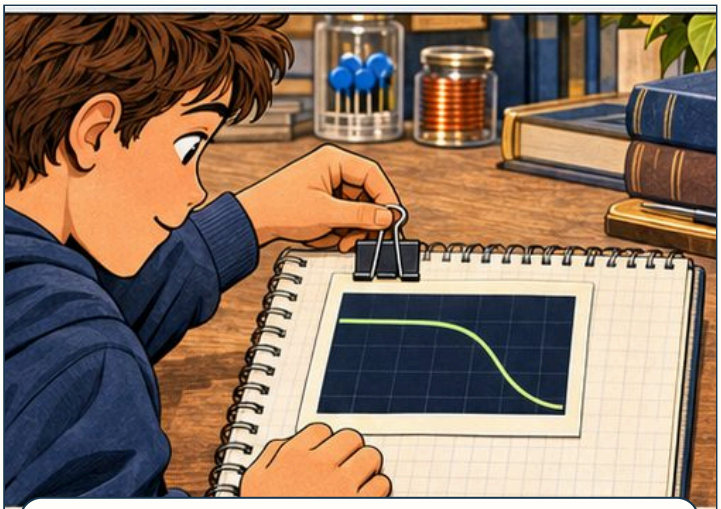
Tranziția rămâne progresivă, cu o curbură caracteristică.



Alte răspunsuri acceptă compromisuri diferite.

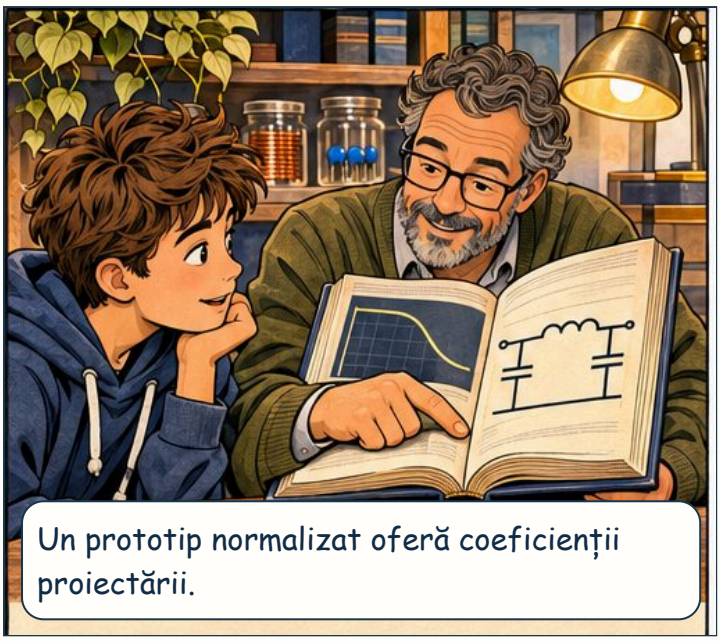


Aleg această familie pentru un prim proiect ușor de înțeles.

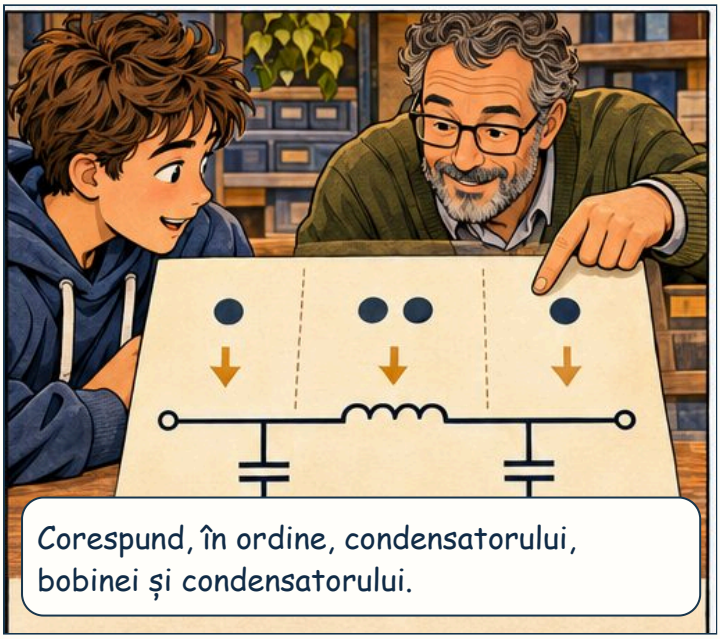


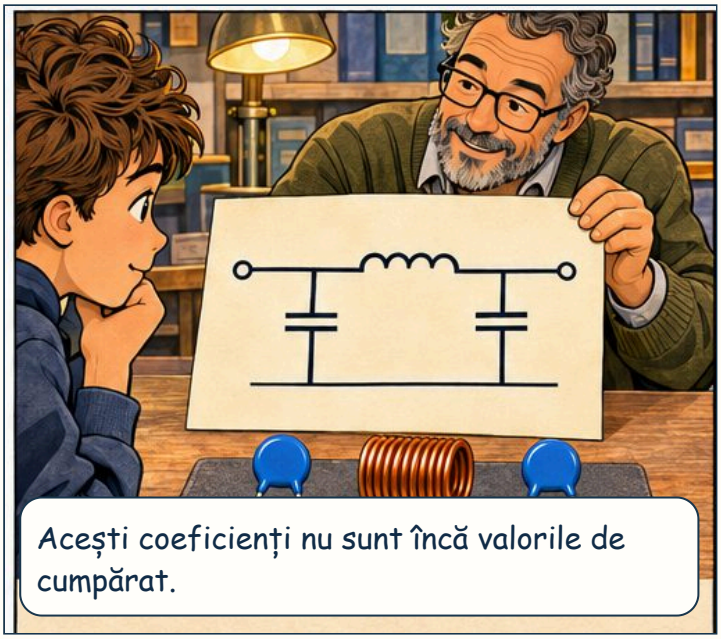
Numele precizează deci mai mult decât simplul termen trece-jos.

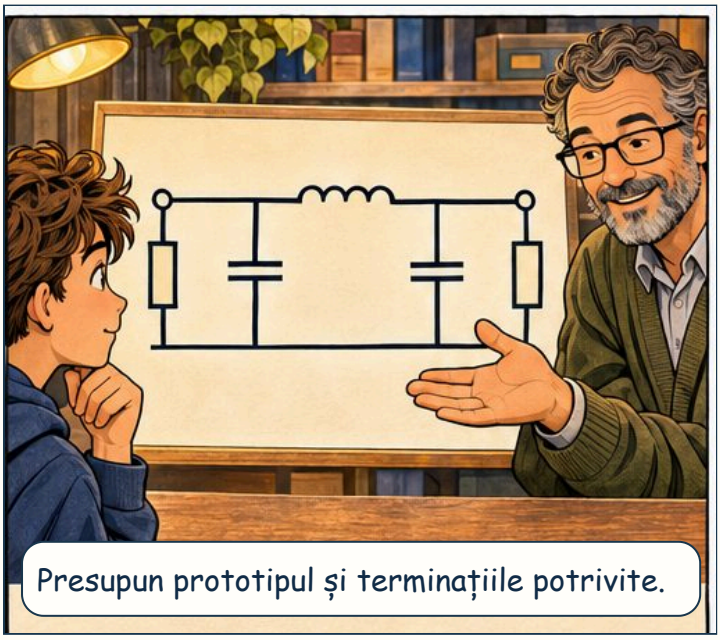
Un prototip pentru început

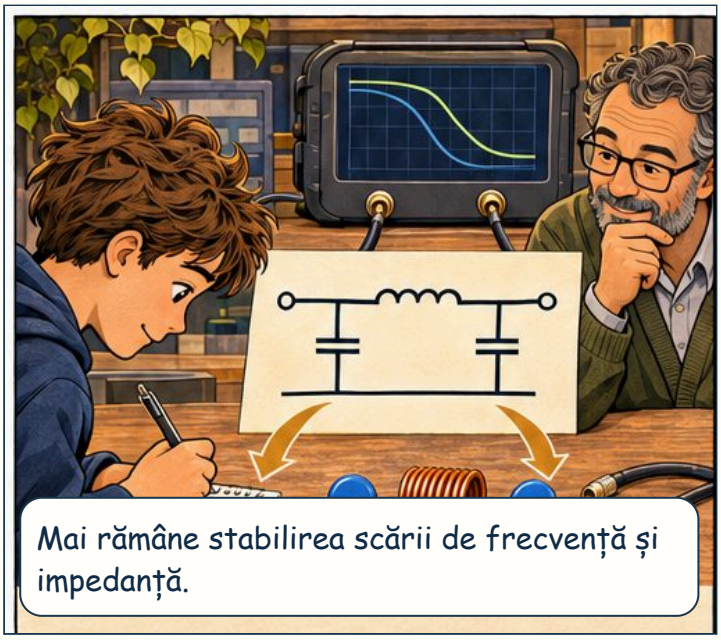








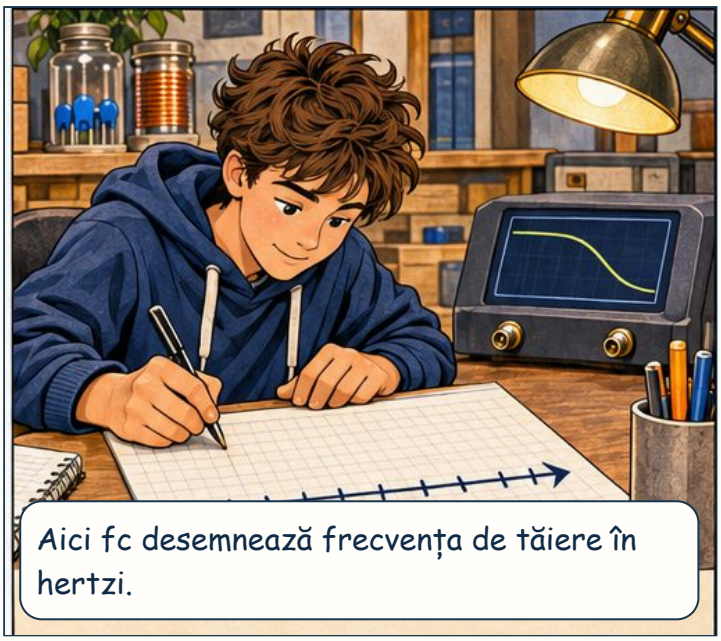




Schimbarea scării



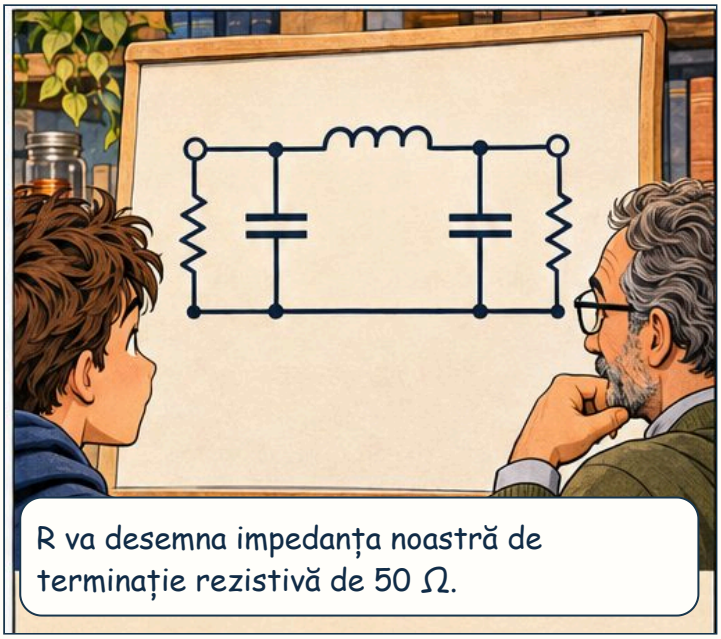
Pulsația de tăiere este ωc = 2πfc.



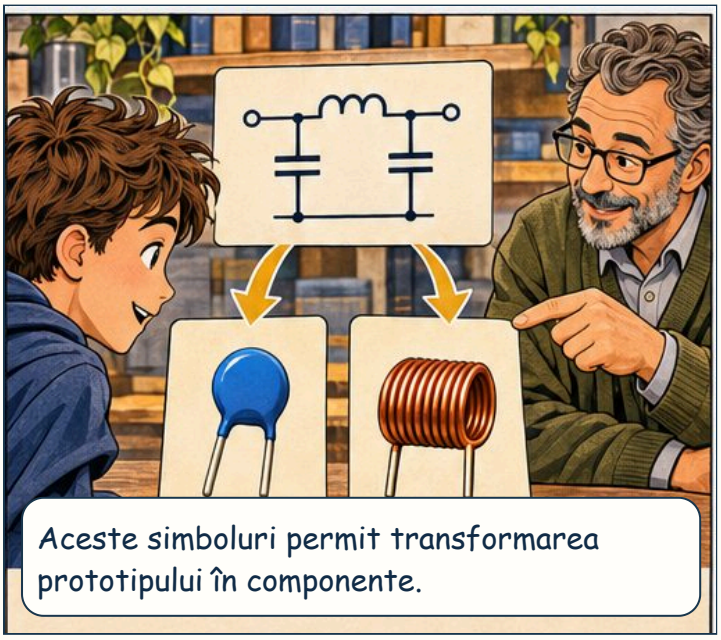
Aici fc desemnează frecvența de tăiere în hertzi.



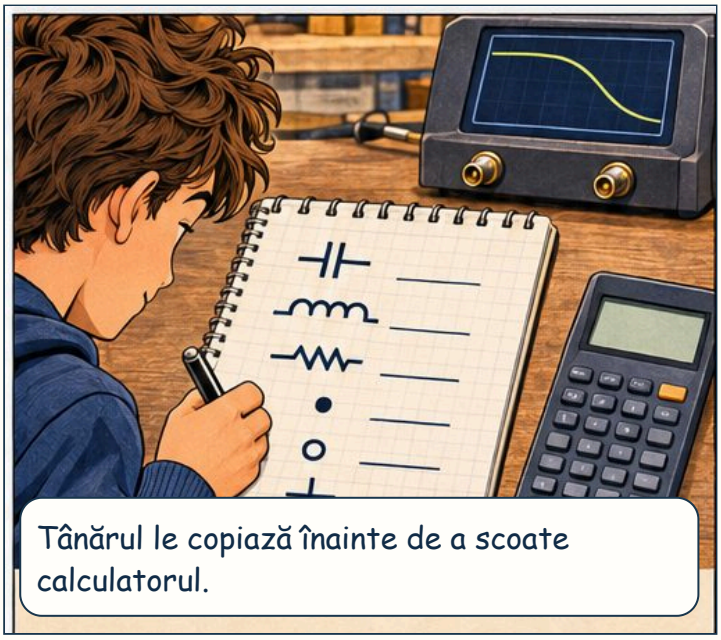
Pulsația ωc se exprimă în radiani pe secundă.



R va desemna impedanța noastră de terminație rezistivă de 50 Ω.



Aceste simboluri permit transformarea prototipului în componente.

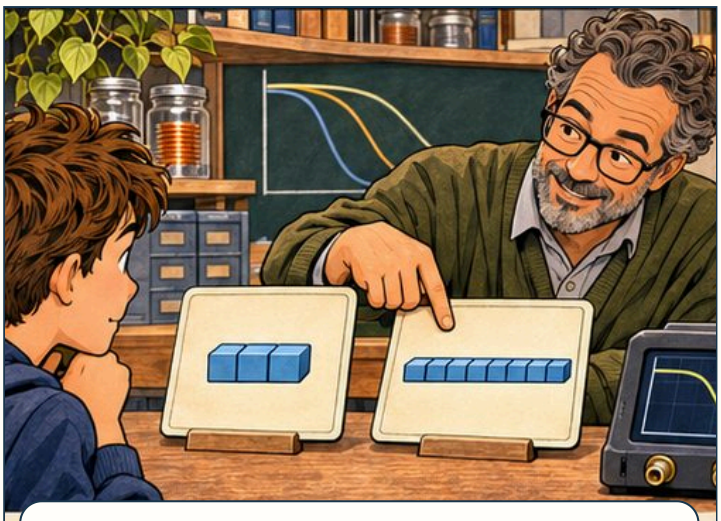


Tânărul le copiază înainte de a scoate calculatorul.

Unitățile înaintea numerelor



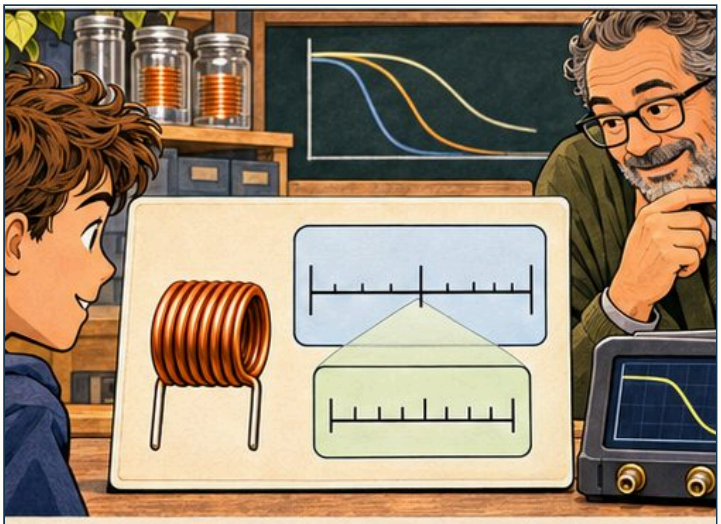
Un megahertz înseamnă un milion de hertzi.



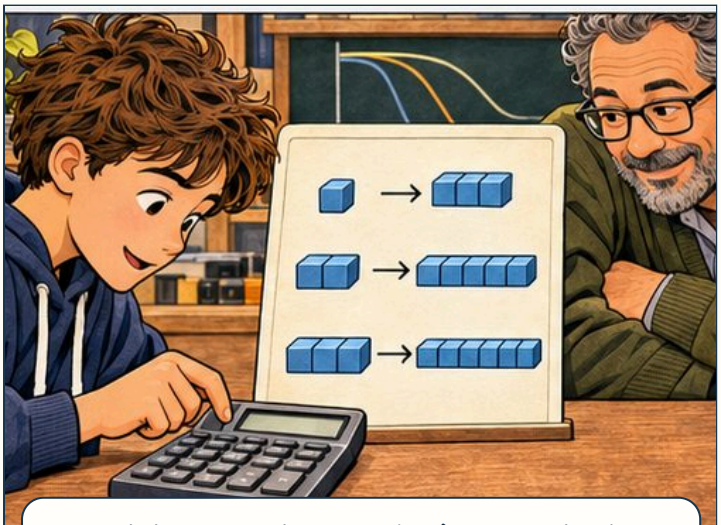
Frecvența lor de tăiere de 10 MHz este deci 10 000 000 Hz.



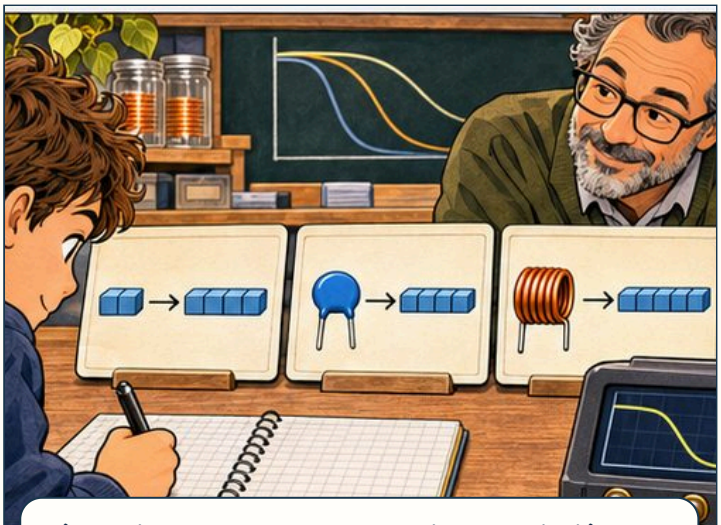
Un picofarad este 10^{-12} F.



Un microhenry este 10^{-6} H.

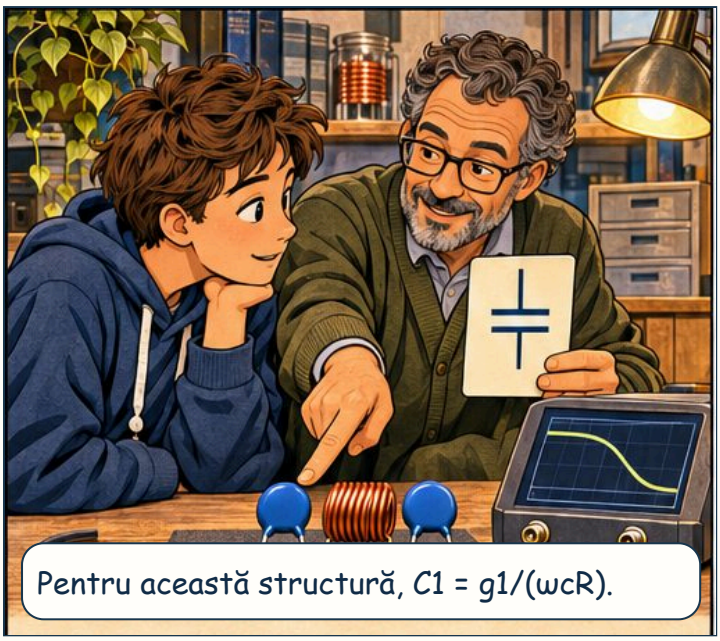


Formulele vor utiliza mai întâi unitățile de bază.

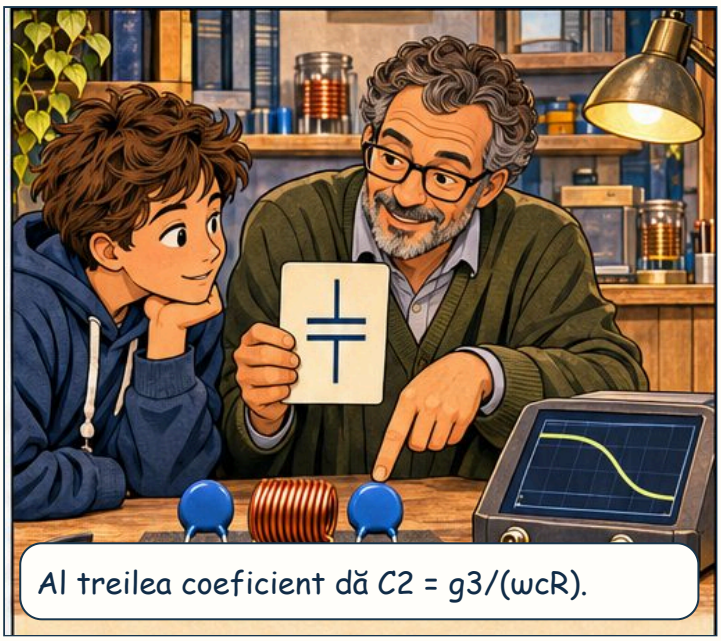


Tânărul păstrează conversiile vizibile lângă calcule.

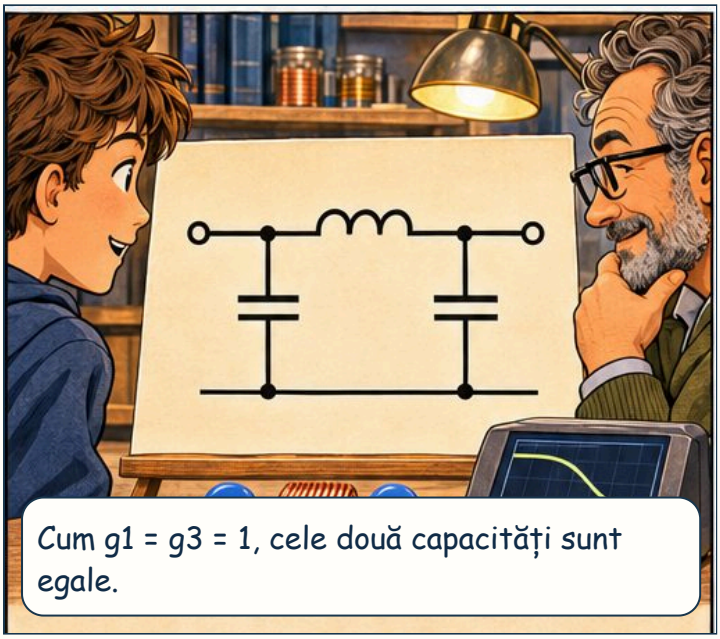
Formula condensatoarelor



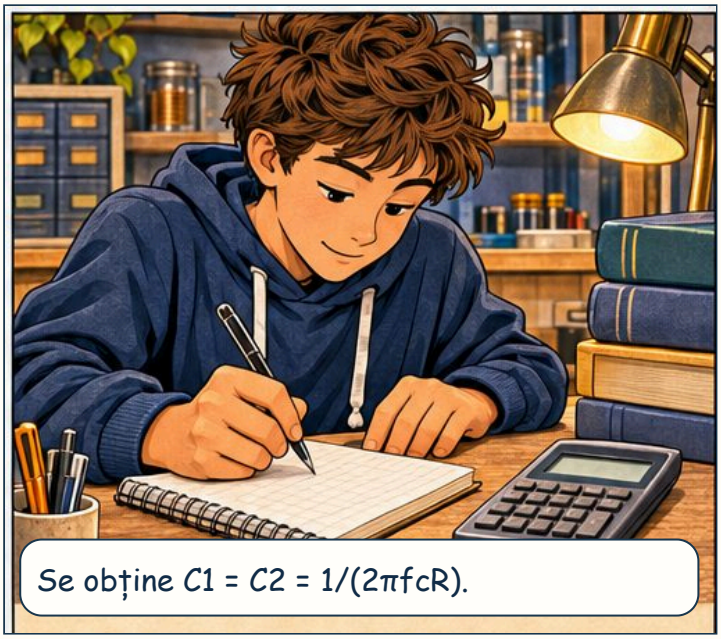
Pentru această structură, C1 = g1/(ωcR).



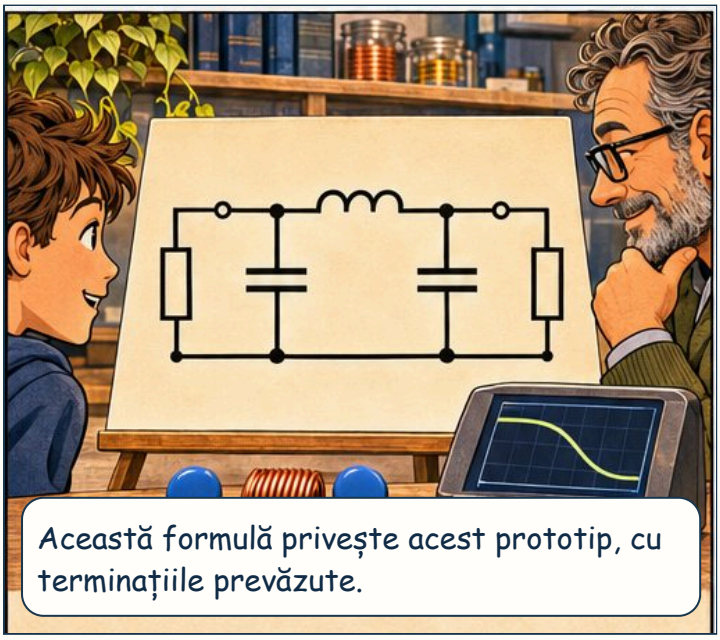
Al treilea coeficient dă C2 = g3/(ωcR).



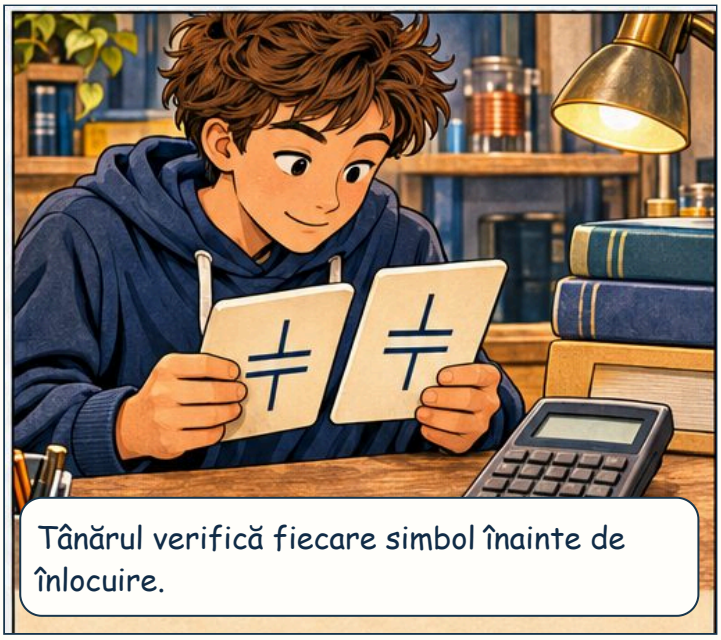
Cum g1 = g3 = 1, cele două capacități sunt egale.



Se obține C1 = C2 = 1/(2πfcR).



Această formulă privește acest prototip, cu terminațiile prevăzute.

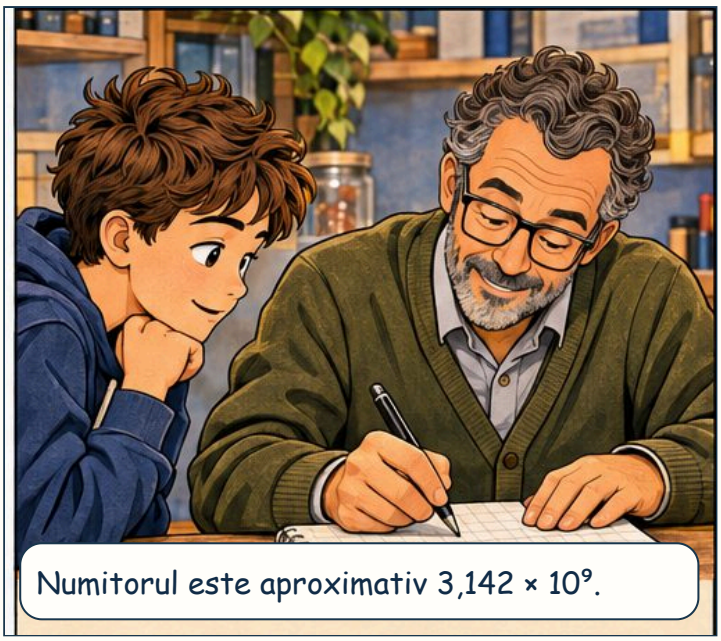


Tânărul verifică fiecare simbol înainte de înlocuire.

Calculul capacităților



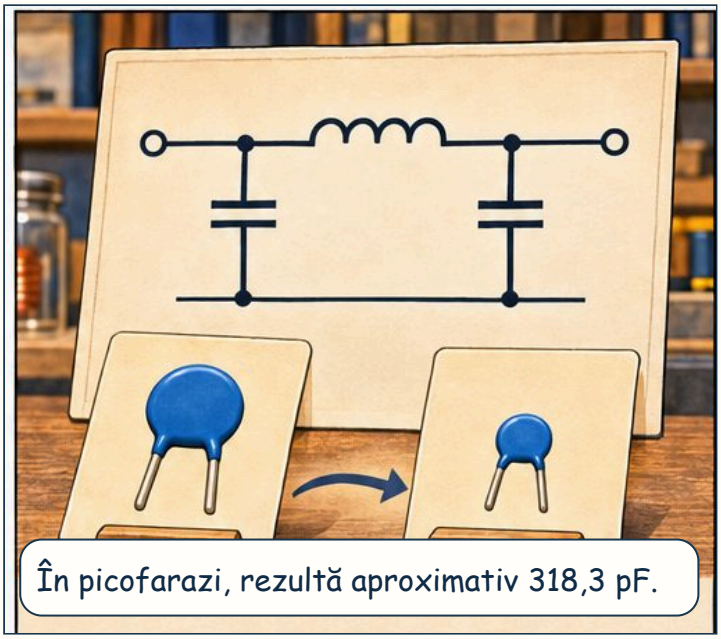
Înlocuiesc fc cu 10 000 000 Hz și R cu 50 Ω.



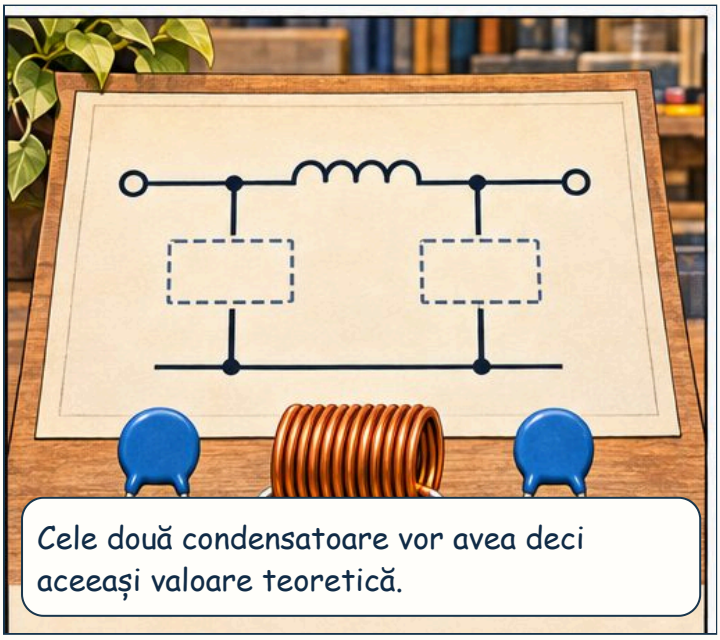
Numitorul este aproximativ $3{,}142 \times 10^{9}$.



Fiecare capacitate ideală este aproximativ $3{,}183 \times 10^{-10}$ F.



În picofarazi, rezultă aproximativ 318,3 pF.

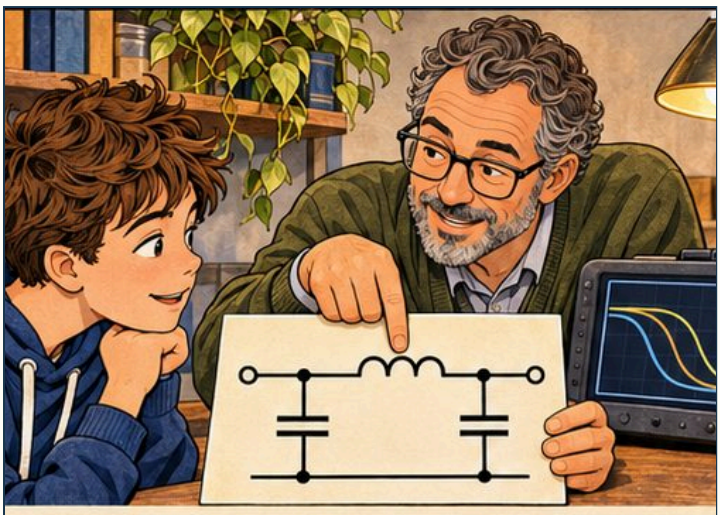


Cele două condensatoare vor avea deci aceeași valoare teoretică.



Lucas scrie rezultatul împreună cu unitatea sa.

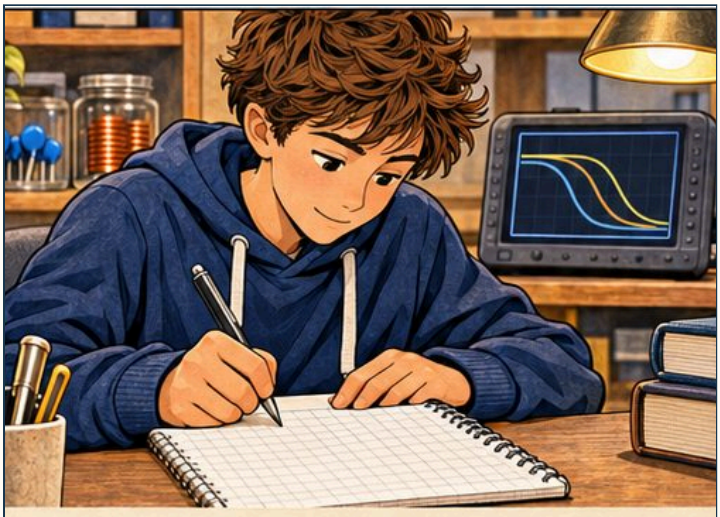
Formula bobinei



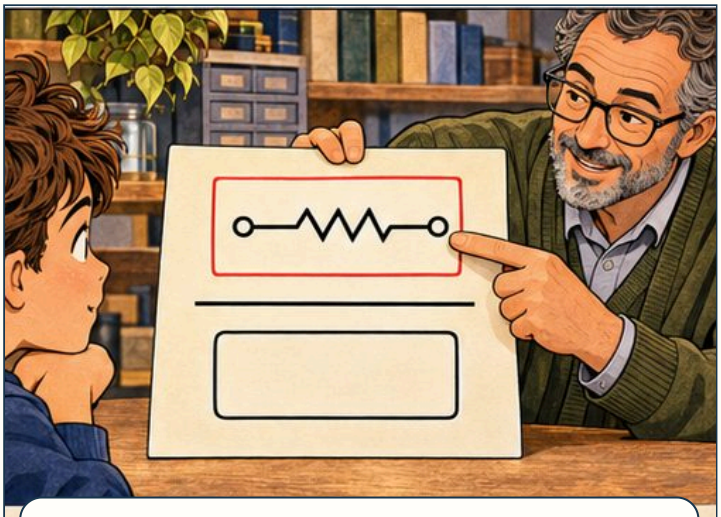
Pentru bobina serie, L = g2R/wc.



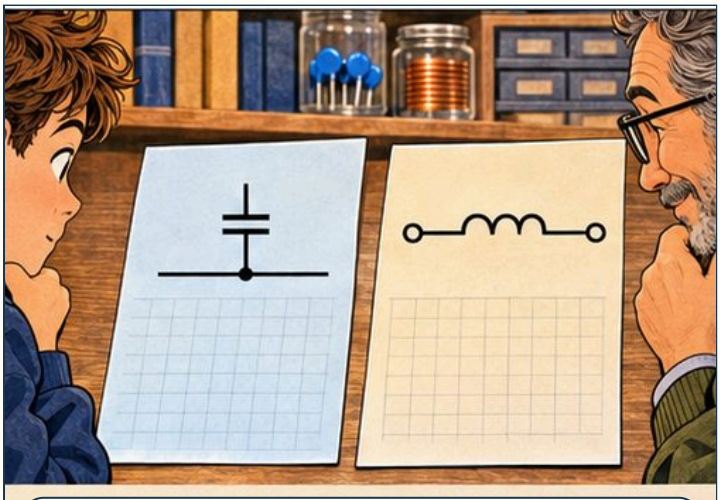
Coeficientul central este aici g2 = 2.



Se obține deci L = 2R/(2πfc).



Rezistența de terminație se află de această dată la numărător.



Tânărul compară formula cu cea a condensatoarelor.

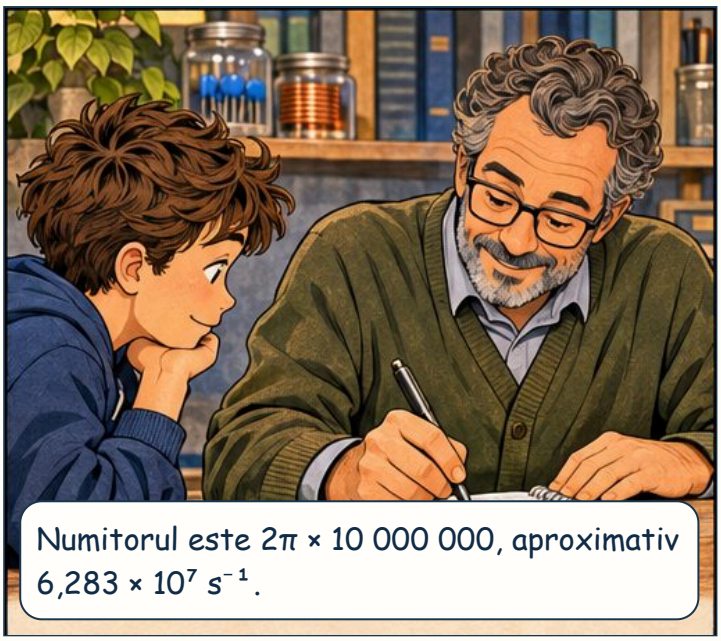


O asemănare vizuală nu scutește de recitire.

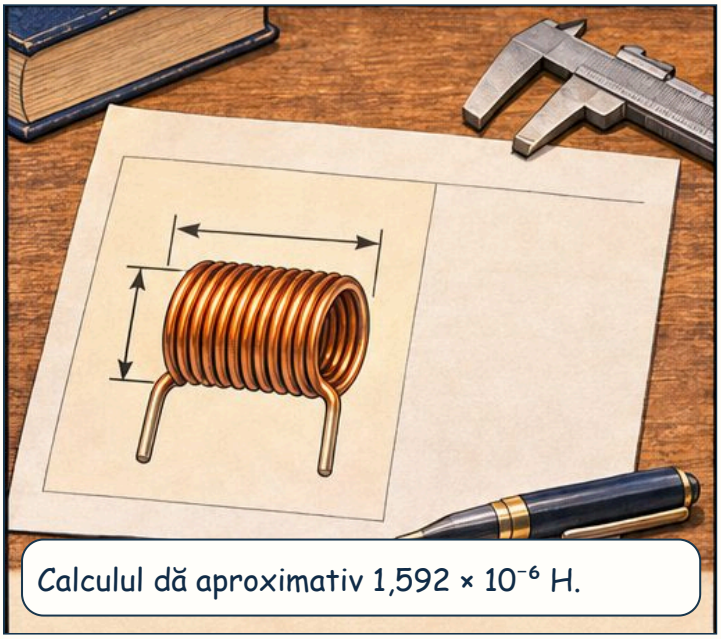
Calculul inductanței



Numărătorul este 2 × 50, adică 100 Ω.



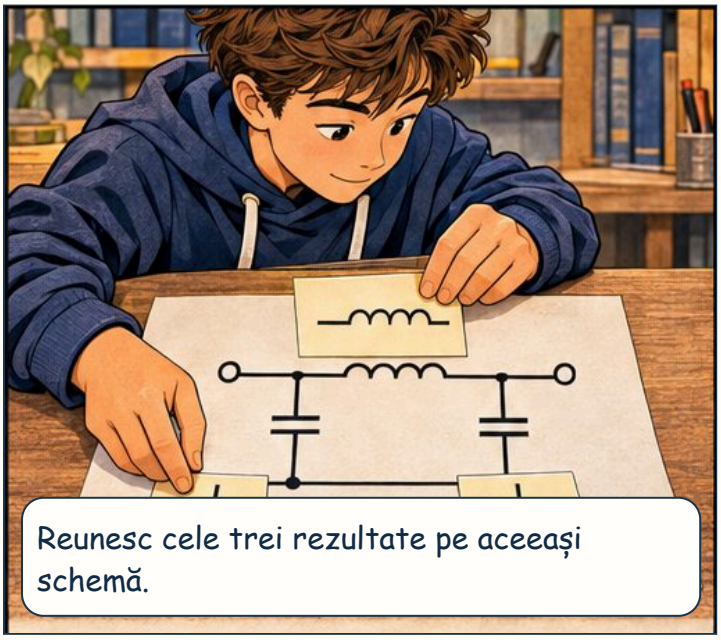
Numitorul este 2π × 10 000 000, aproximativ $6{,}283 \times 10^{7}\ s^{-1}$.



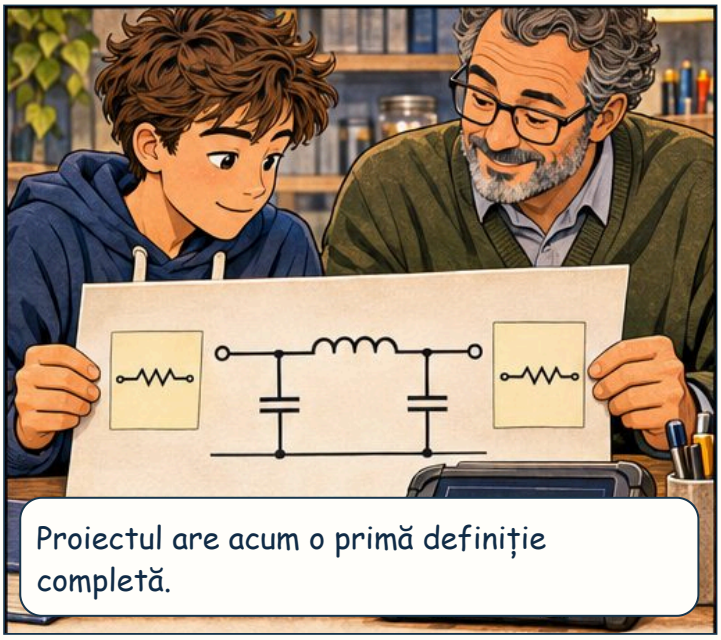
Calculul dă aproximativ $1{,}592 \times 10^{-6}$ H.



Bobina ideală va avea deci o inductanță de aproximativ 1,59 μH.



Reunesc cele trei rezultate pe aceeași schemă.



Proiectul are acum o primă definiție completă.

Eroarea de un milion



Tânărul încearcă apoi să reintroducă repede calculul.



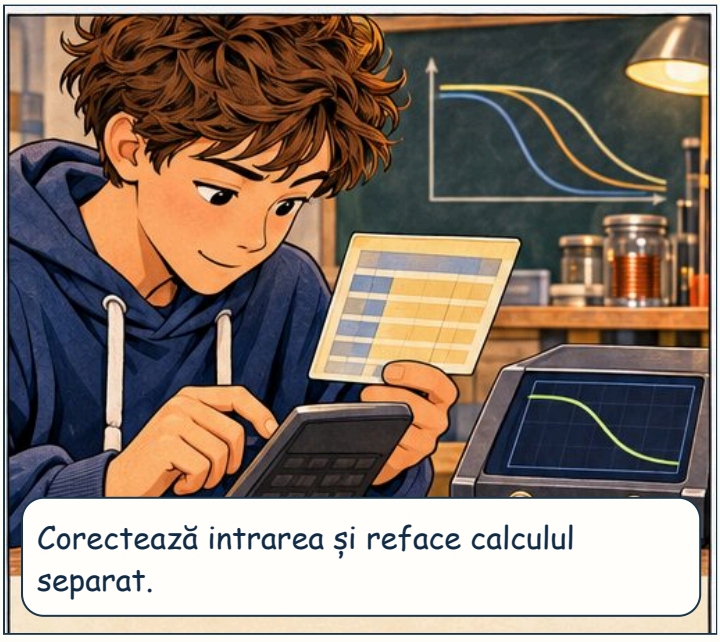
Tastează 10 în loc de 10 000 000.



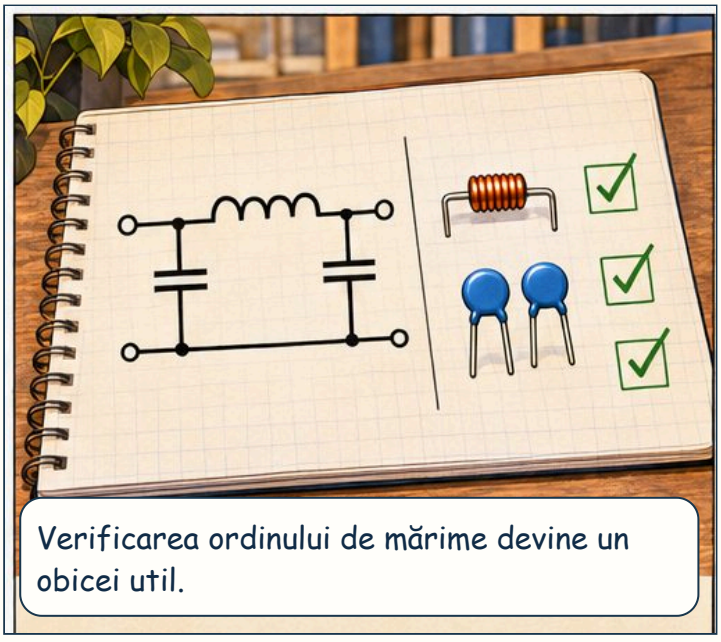
Rezultatul devine de un milion de ori prea mare.



Comparația cu componentele așteptate dezvăluie imediat problema.



Corectează intrarea și reface calculul separat.



Verificarea ordinului de mărime devine un obicei util.

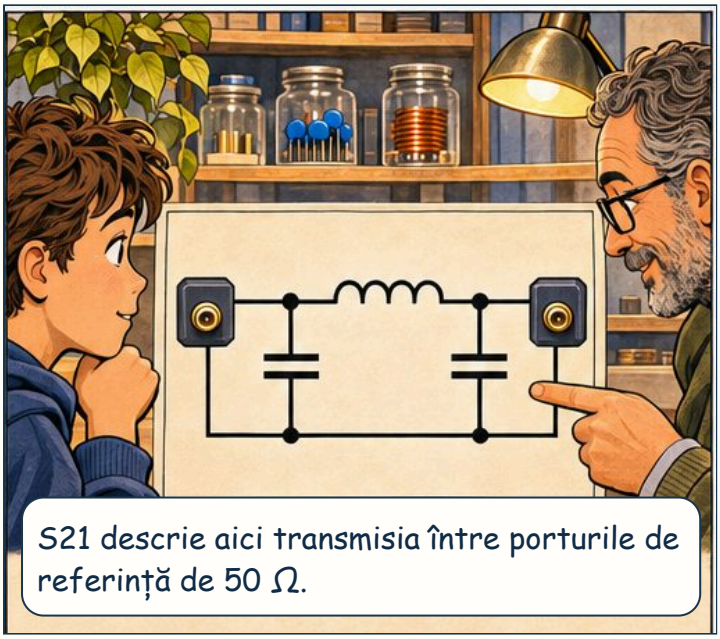
Anticiparea unei curbe întregi



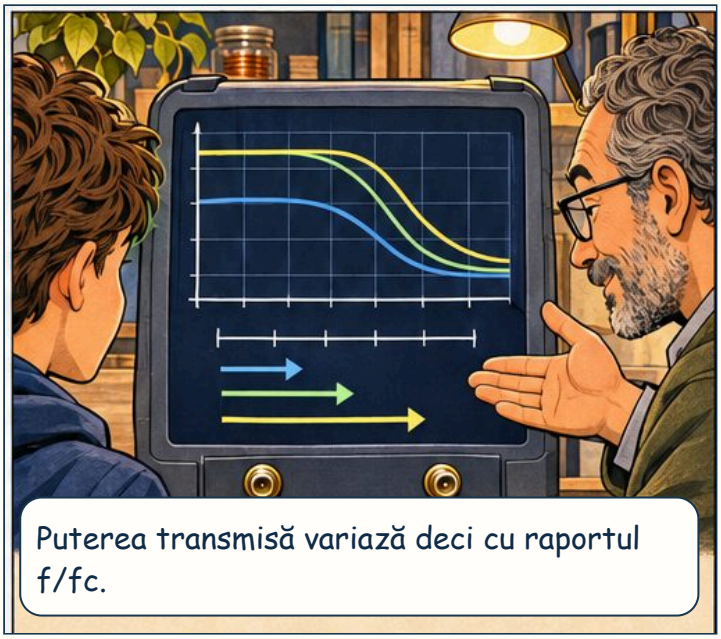
Trei valori nu descriu încă întregul răspuns.



În modelul ideal, pătratul modulului S21 este $1/[1 + (f/fc)^6]$.



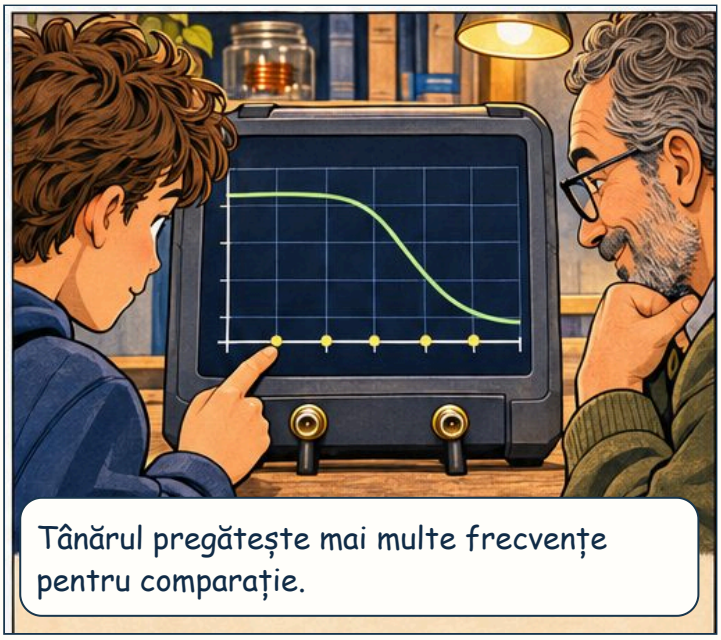
S21 descrie aici transmisia între porturile de referință de 50 Ω.



Puterea transmisă variază deci cu raportul f/fc.



Curba teoretică servește drept reper înaintea măsurătorii.



Tânărul pregătește mai multe frecvențe pentru comparație.

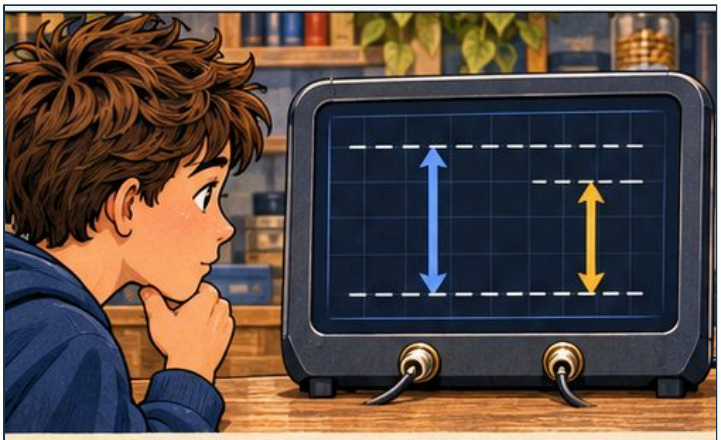
Ce înseamnă minus trei decibeli?



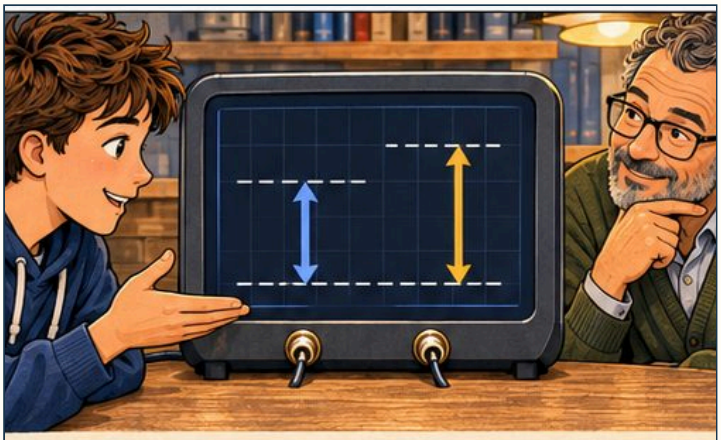
La f = fc, raportul ideal al puterii transmise este 1/2.



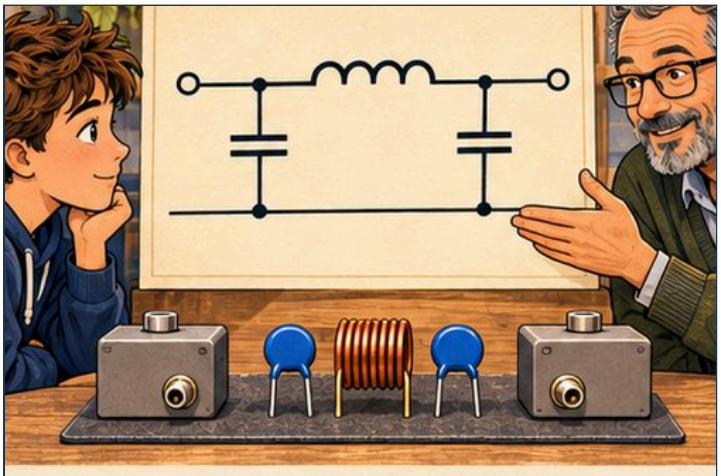
În decibeli, 10 log10(1/2) dă aproximativ −3,01 dB.



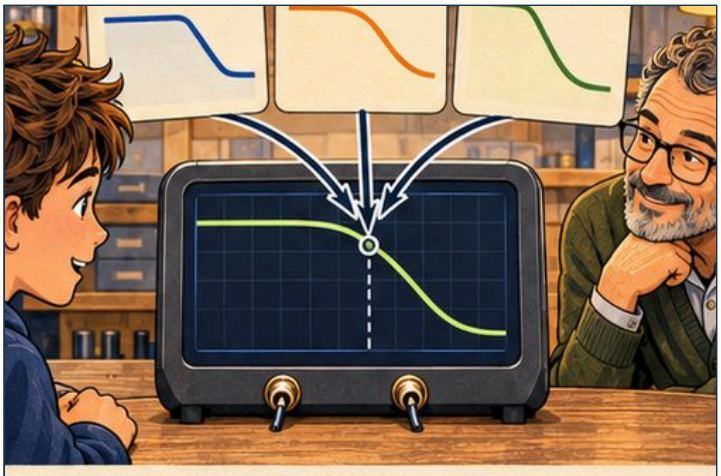
Modulul S21 este atunci aproximativ 0,707.



Această amplitudine nu este deci jumătate.



Calculul utilizează referințele potrivite de 50 Ω.

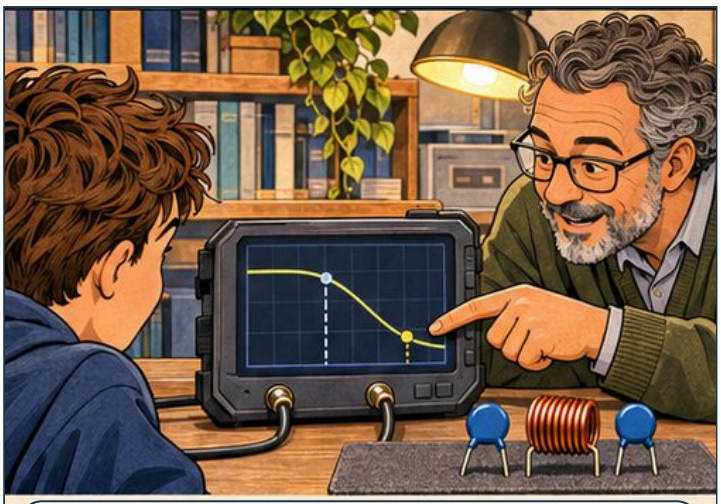


Tânărul leagă trei scrieri ale aceluiași punct al curbei.

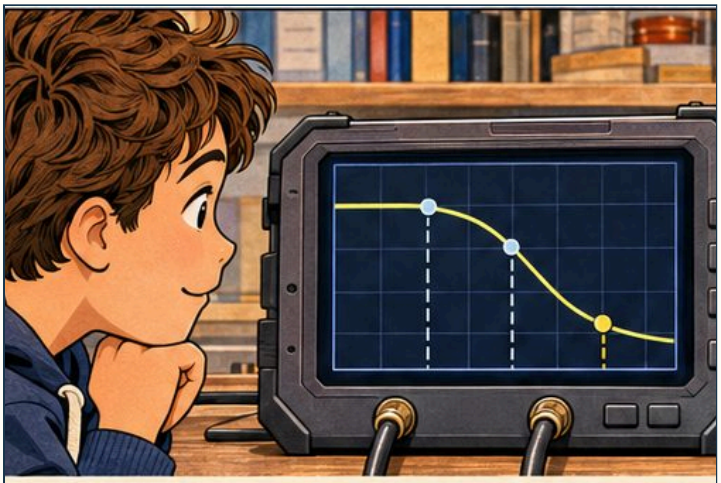
Dincolo de tăiere



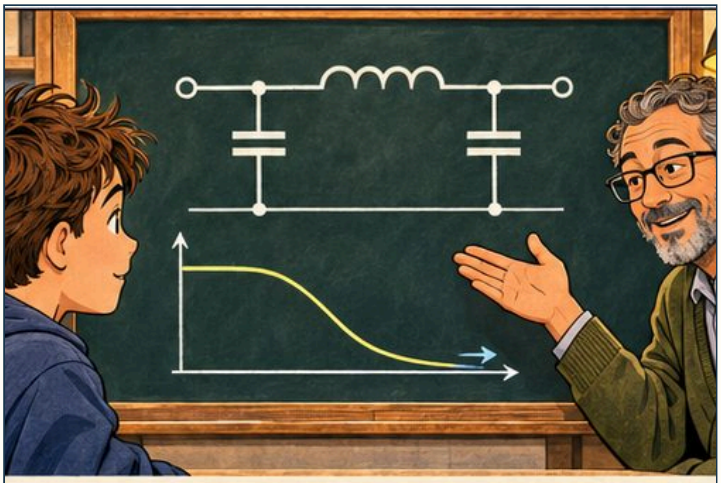
La 20 MHz, f/fc este 2.



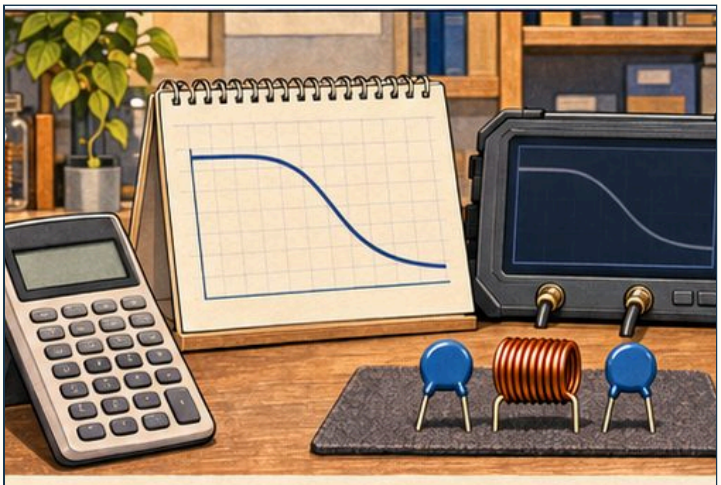
Transmisia ideală devine aproximativ −18,13 dB.



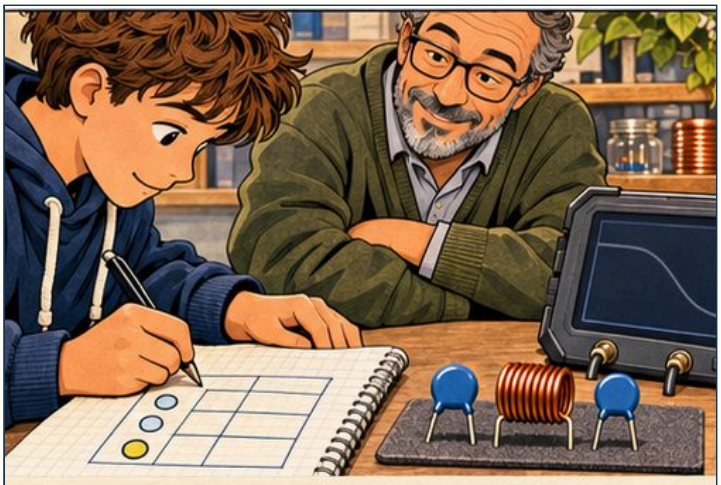
La 30 MHz, f/fc este 3: aproximativ −28,63 dB.



Atenuarea crește, dar rămâne finită.

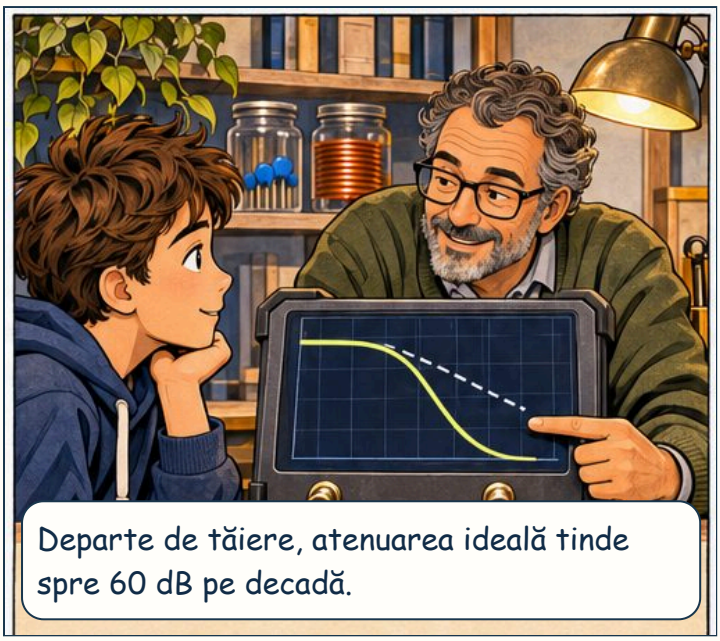


Aceste numere sunt calculate, nu măsurate pe montajul lor.

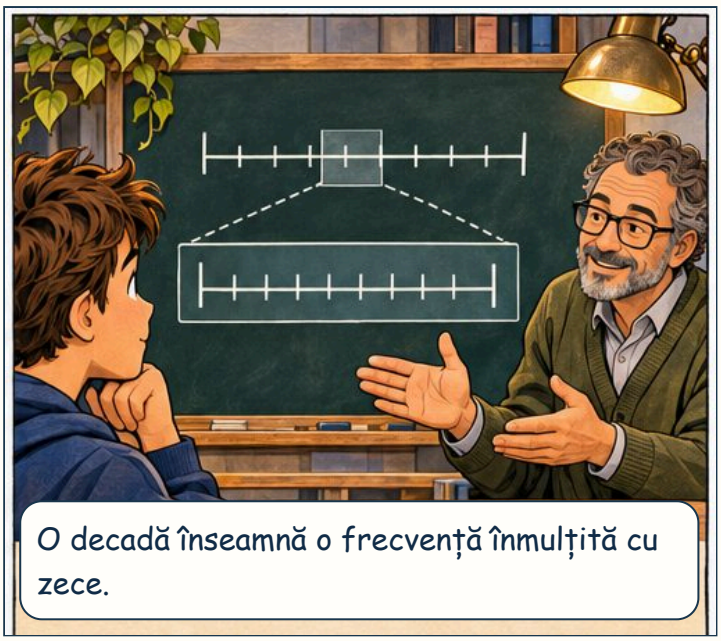


Tânărul le trece în coloana previziunilor.

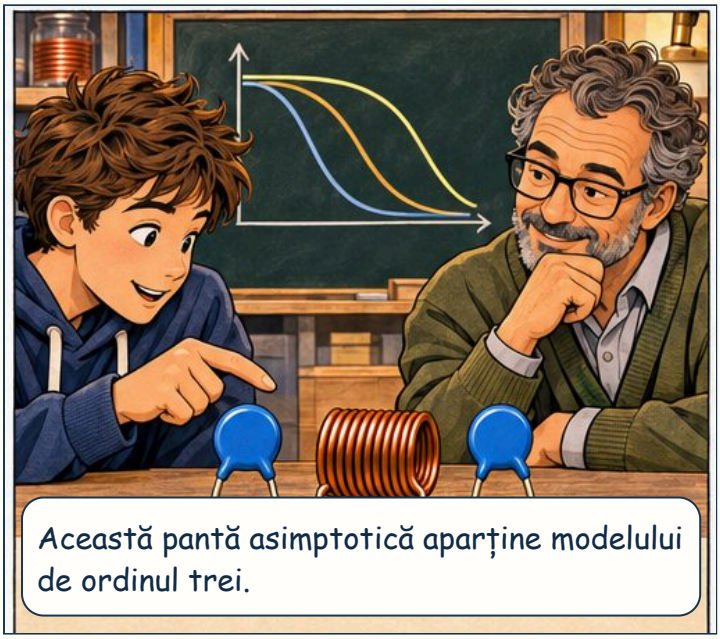
Panta nu este o promisiune



Departe de tăiere, atenuarea ideală tinde spre 60 dB pe decadă.



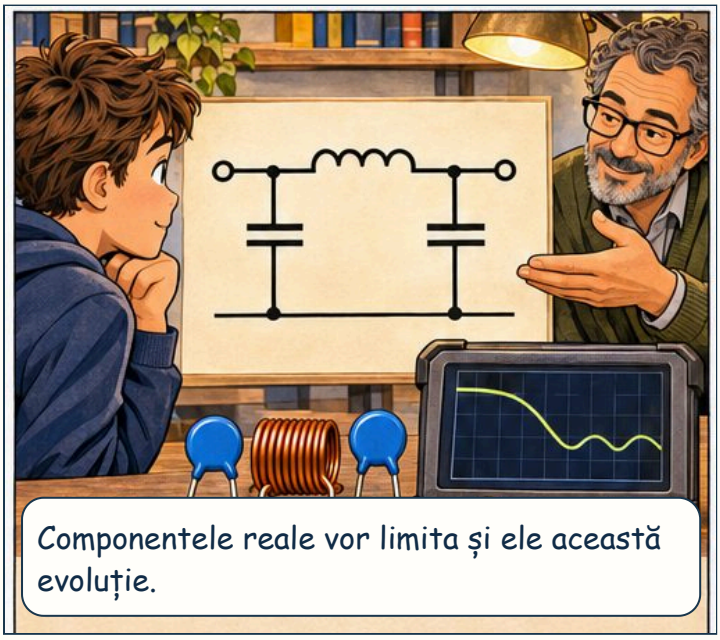
O decadă înseamnă o frecvență înmulțită cu zece.



Această pantă asimptotică aparține modelului de ordinul trei.



Lângă tăiere, curba nu este o dreaptă.

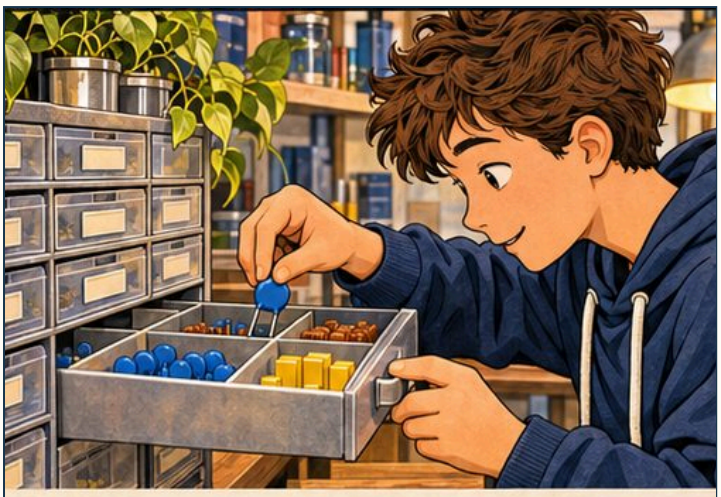


Componentele reale vor limita și ele această evoluție.

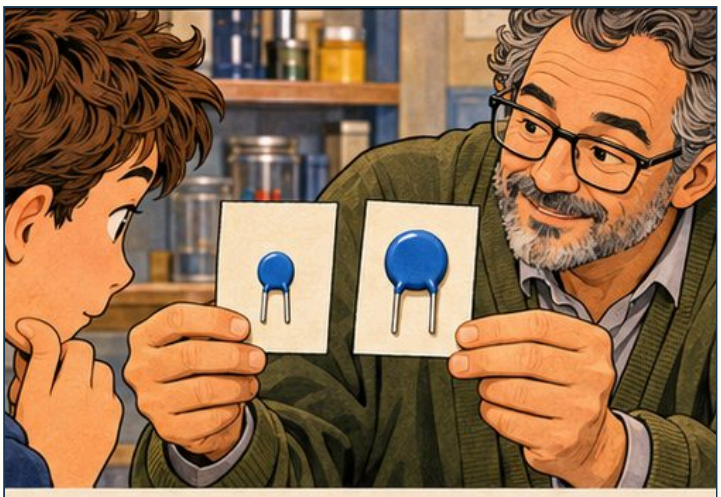


Tânărul nu extinde regula dincolo de condițiile sale.

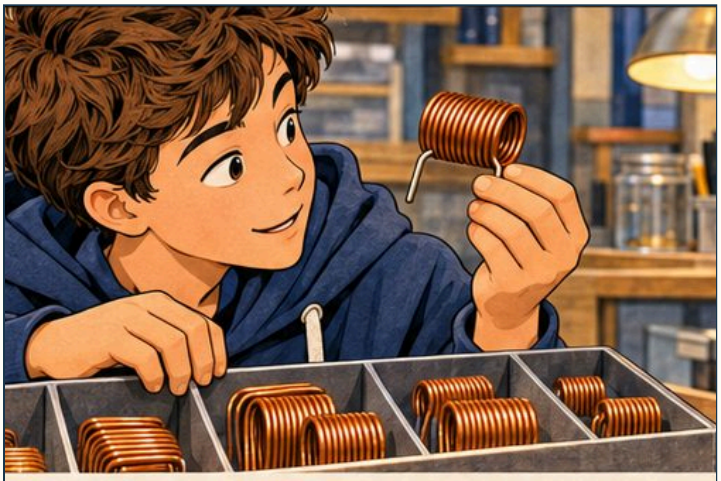
Valorile disponibile



Sertarul nu conține neapărat condensatoare de 318,3 pF.



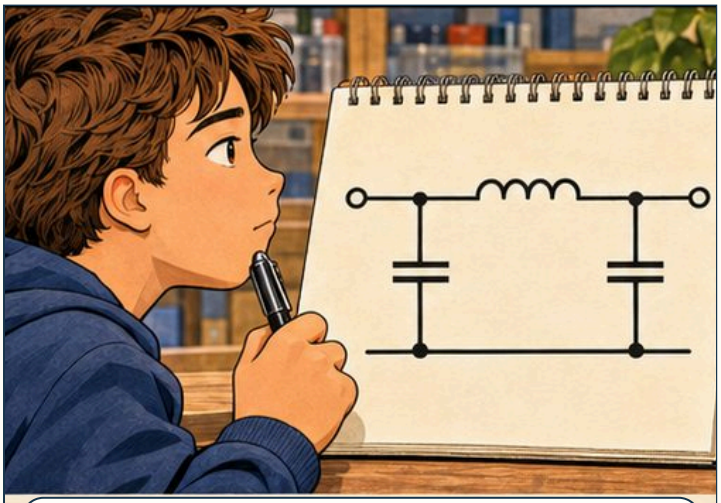
Valoarea uzuală de 330 pF nu este identică.



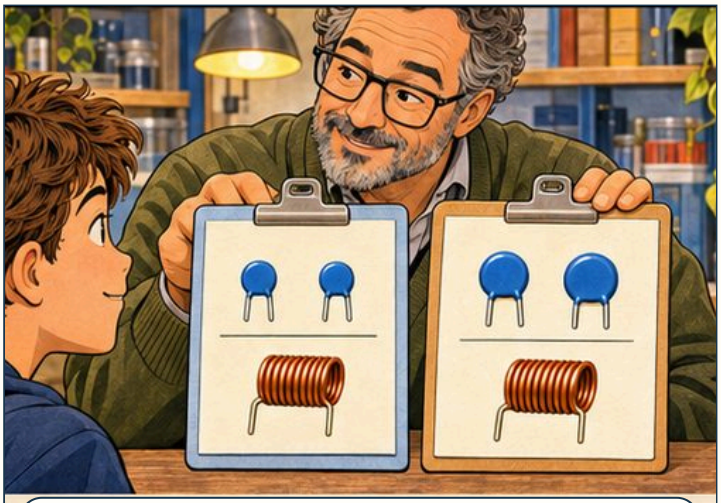
O bobină de 1,6 µH se apropie de valoarea calculată.



Alegerea lor impune recalcularea sau simularea răspunsului.

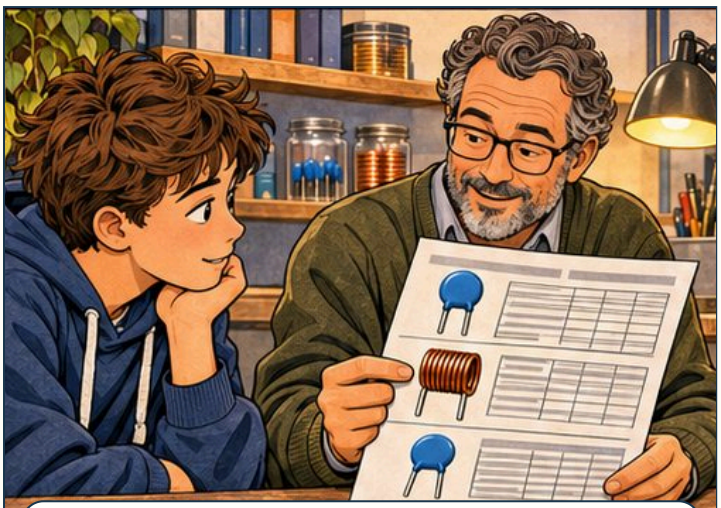


Montajul nu poate fi numit automat exact 10 MHz.



Tânărul păstrează separat valorile ideale și cele alese.

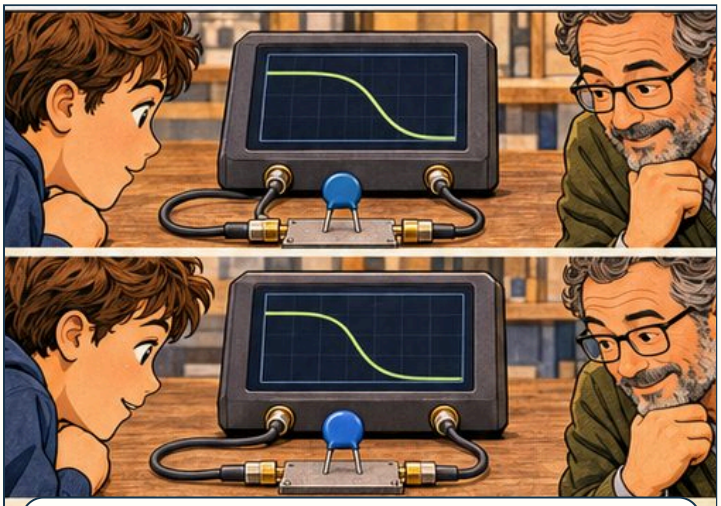
Fiecare piesă are toleranța sa



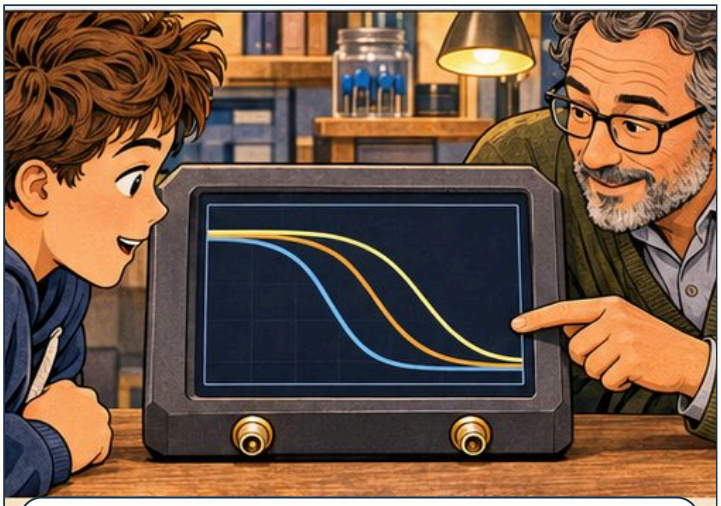
O valoare nominală nu este o valoare exactă garantată.



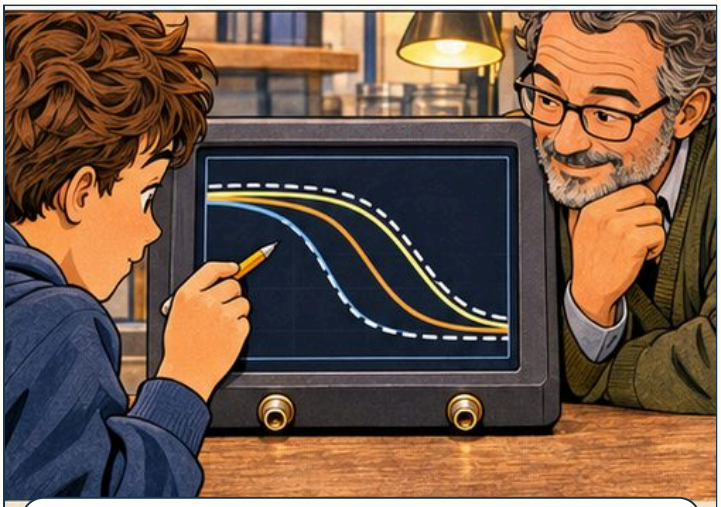
Toleranțele condensatoarelor și bobinei contează.



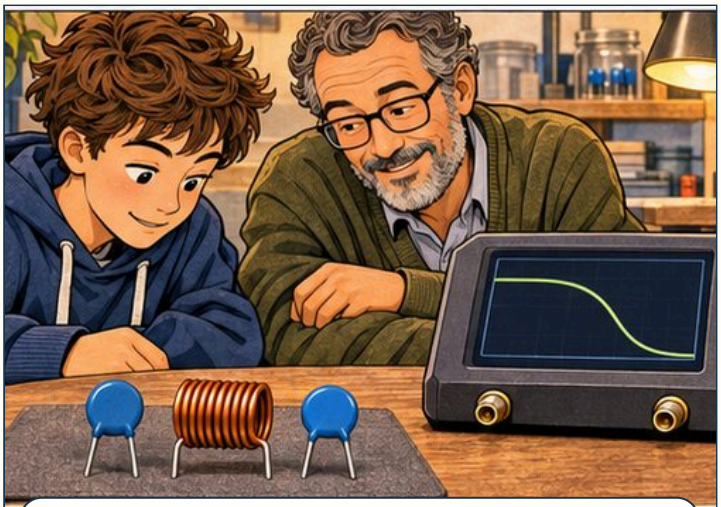
Două componente cu aceeași inscripție pot diferi ușor.



O simulare poate explora mai multe combinații de valori.



Ajută la anticiparea unei game de răspunsuri posibile.



Măsurarea va examina apoi piesele efectiv utilizate.

Componentele ascunse



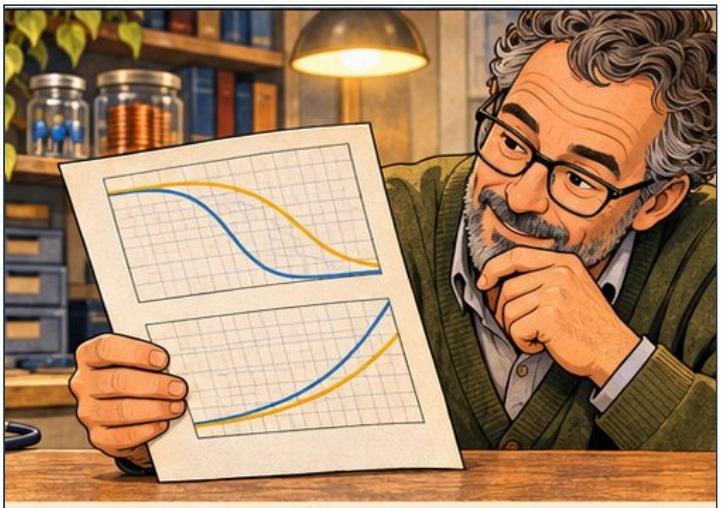
O bobină reală are și rezistență și capacitate parazită.



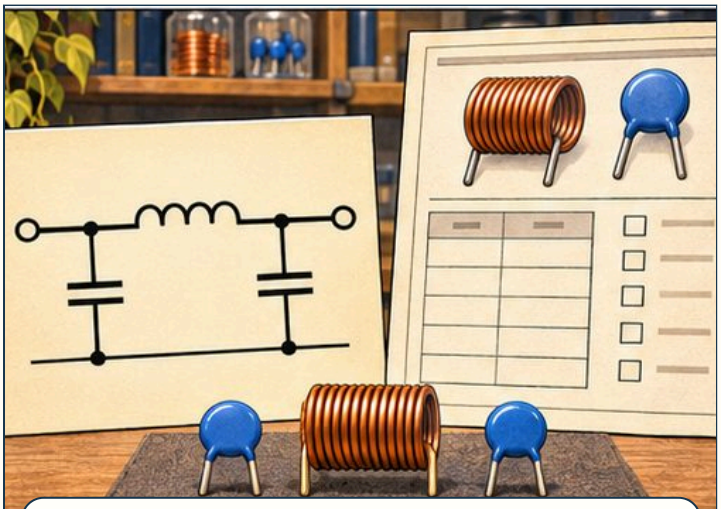
Un condensator are, printre altele, pierderi și inductanță parazită.



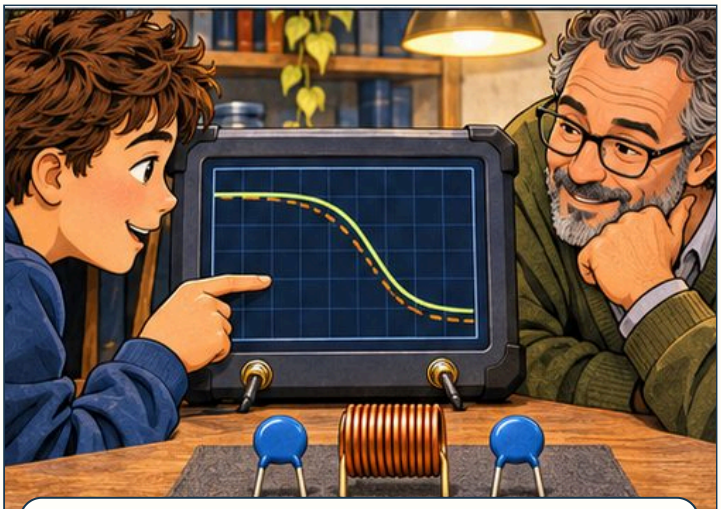
Comportamentul lor se schimbă în apropierea anumitor rezonanțe.



Fișele tehnice indică limite de examinat.



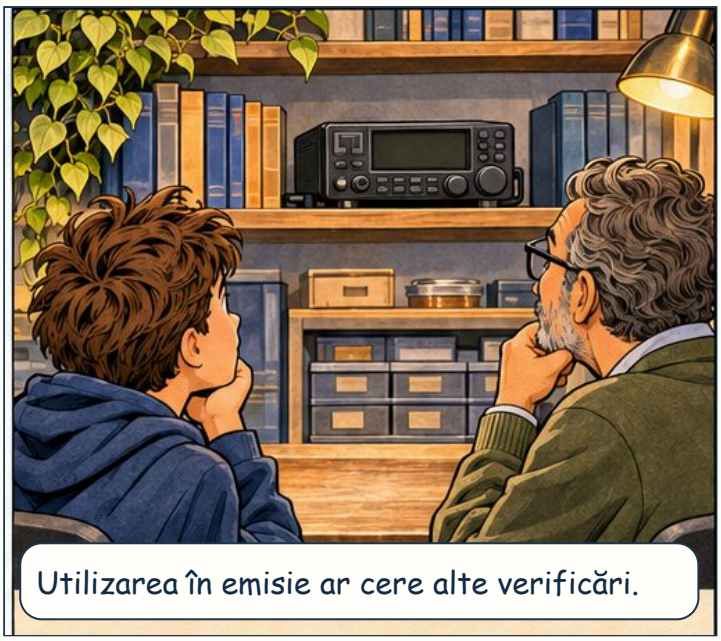
Valoarea în picofarazi sau microhenry nu este deci suficientă.

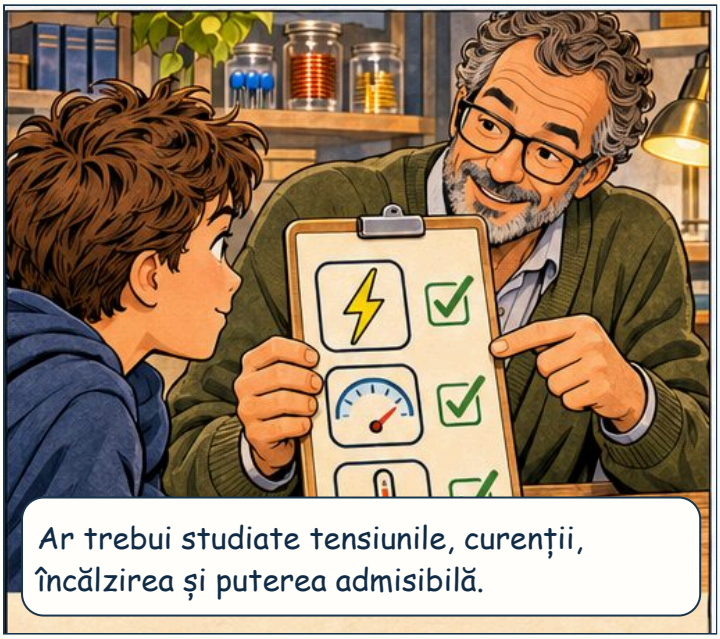


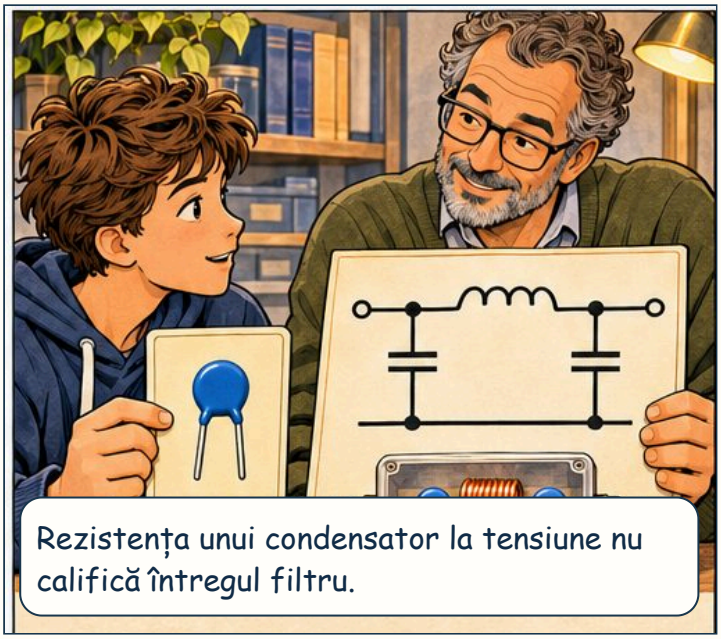
Tânărul învață să citească dincolo de primul rând.

Un banc nu califică un emițător

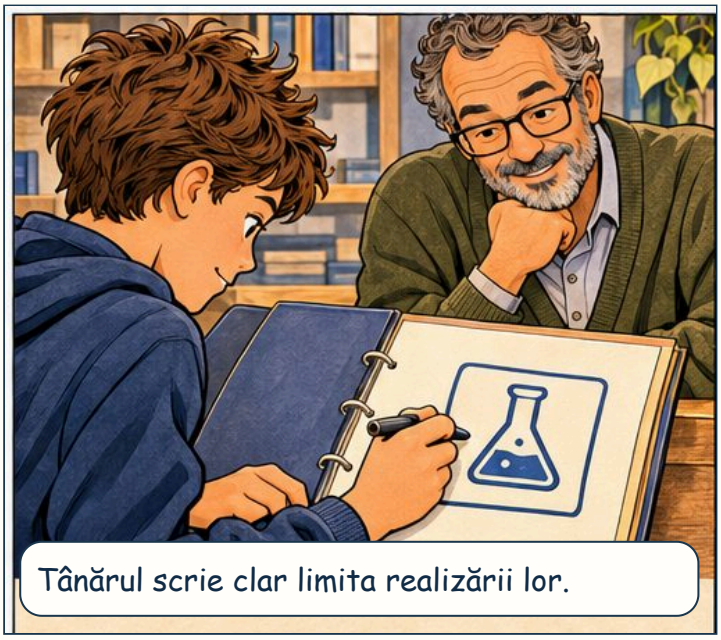




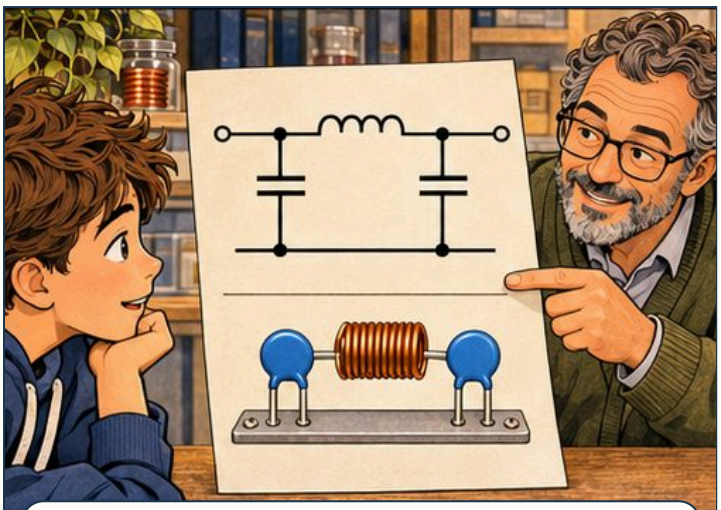




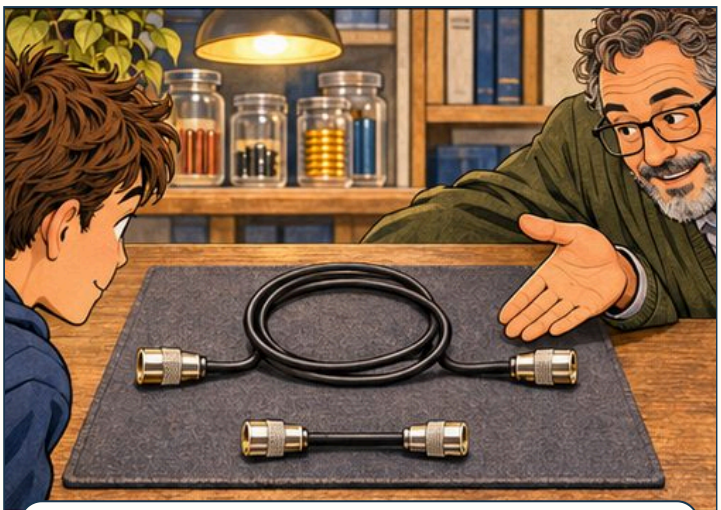




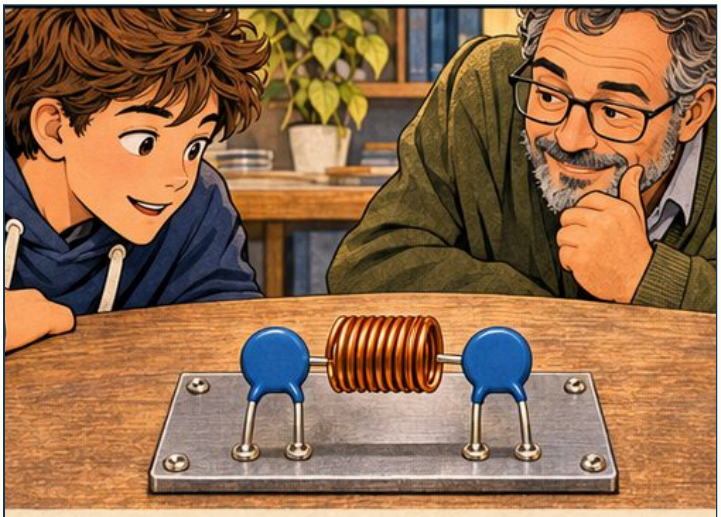
Desenarea amplasării



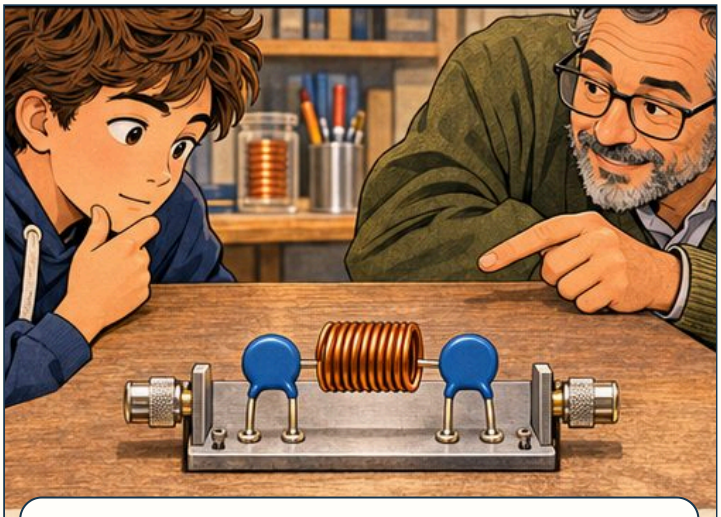
Schema arată conexiunile, dar nu întreaga lor geometrie.



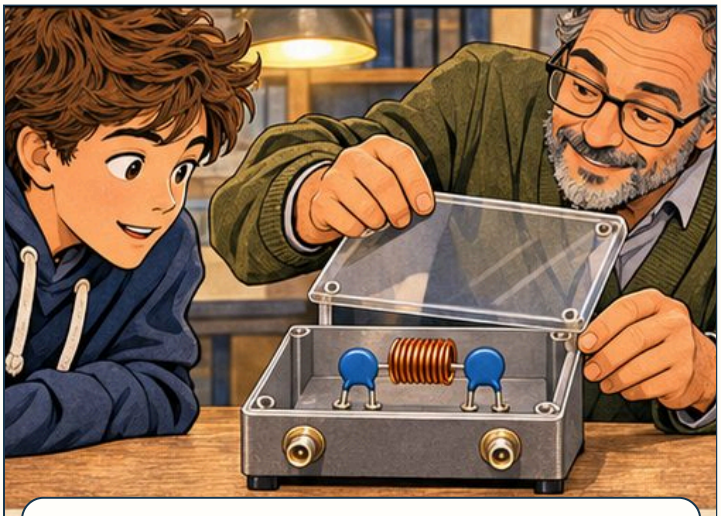
La aceste frecvențe, lungimea legăturilor și amplasarea pot conta.



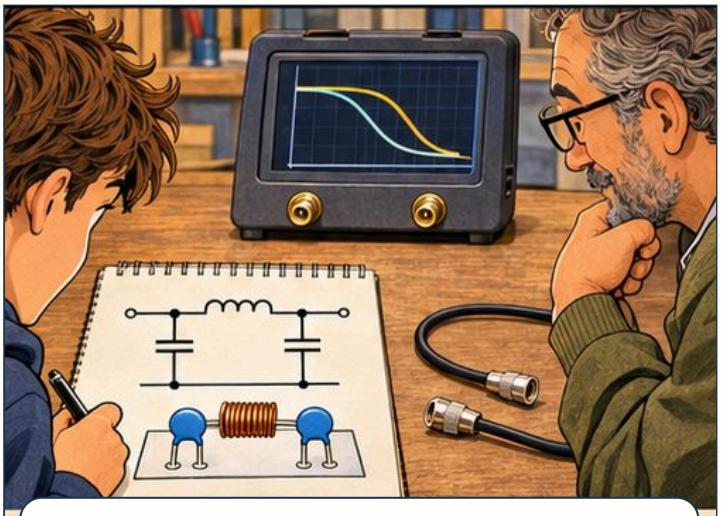
Prevăd o masă comună și conexiuni scurte.



Separă și traseele care s-ar putea cupla direct.



Henri pregătește un demonstrator potrivit măsurării.

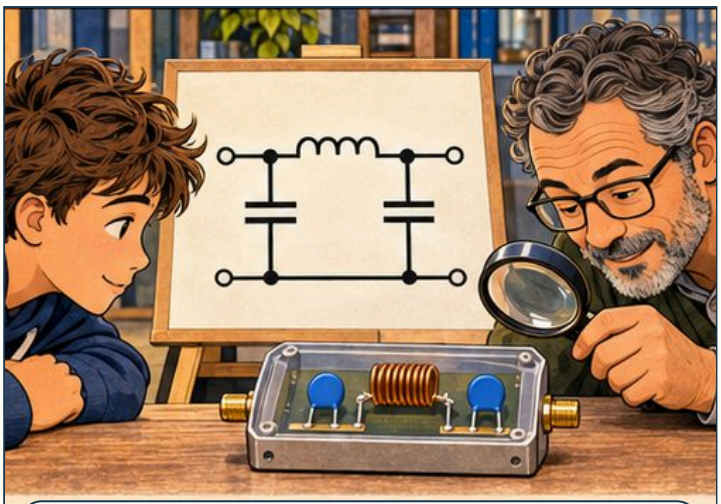


Lucas compară amplasarea cu schema, conexiune cu conexiune.

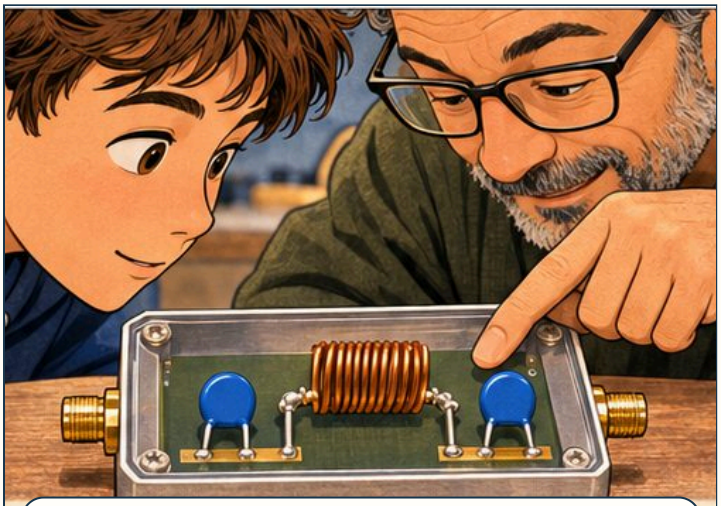
Verificarea înaintea conectării



Sursa de măsurare rămâne oprită în timpul pregătirii.



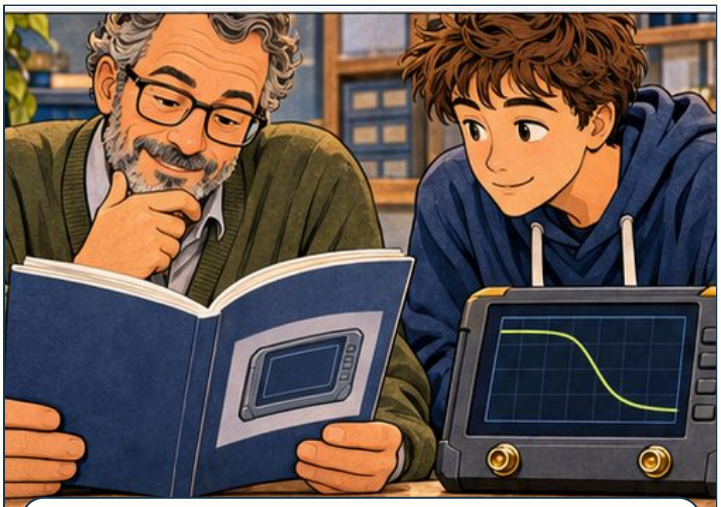
Verifică legăturile, componentele și masa comună.



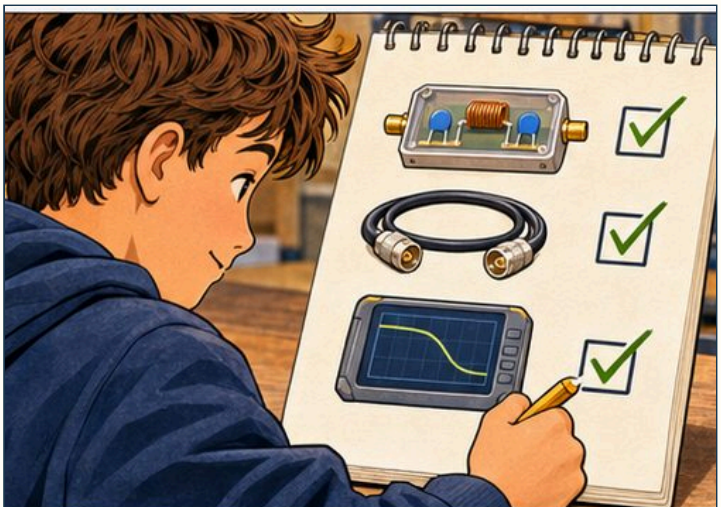
Caută scurtcircuite, greșeli de conectare sau piese deteriorate.



Sunt inspectați și conectorii și cablurile.



Mentorul verifică limitele de intrare ale aparatului.

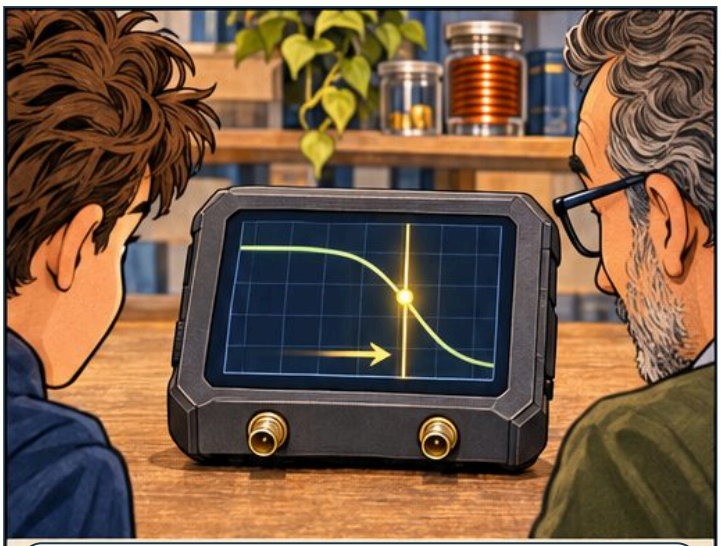


Tânărul încheie lista înaintea primei baleieri.

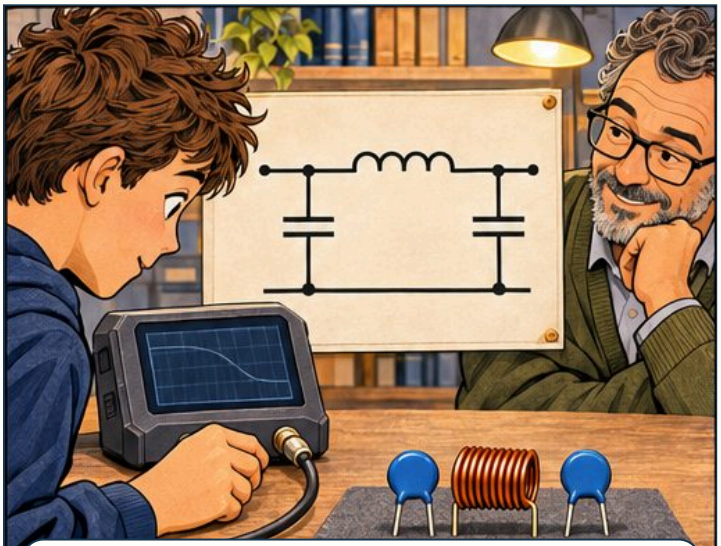
Analizorul pune întrebări



Analizorul de rețea trimite un semnal slab cunoscut.



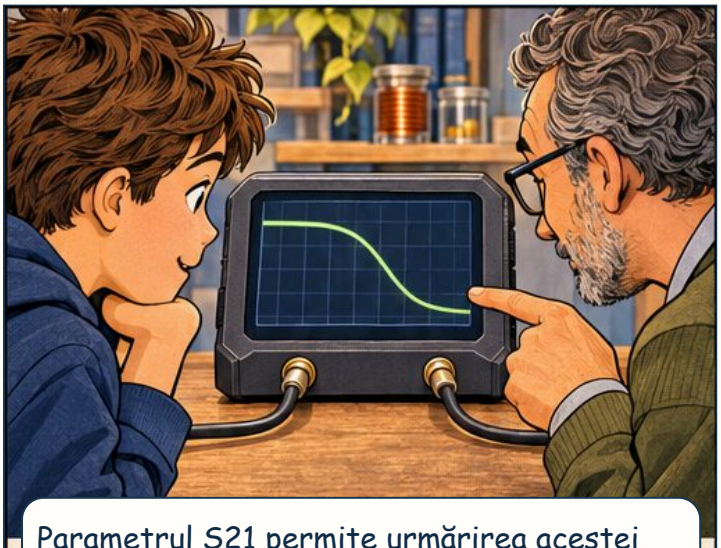
Baleiază o gamă de frecvențe aleasă.



Portul 1 alimentează intrarea filtrului.



Portul 2 observă transmisia la ieșire.



Parametrul S21 permite urmărirea acestei transmisii.



Porturile furnizează referințele prevăzute de 50 Ω.

Calibrarea la locul potrivit



Cablurile și adaptoarele participă la măsurare.



Urmează deci procedura de calibrare prevăzută de aparat.



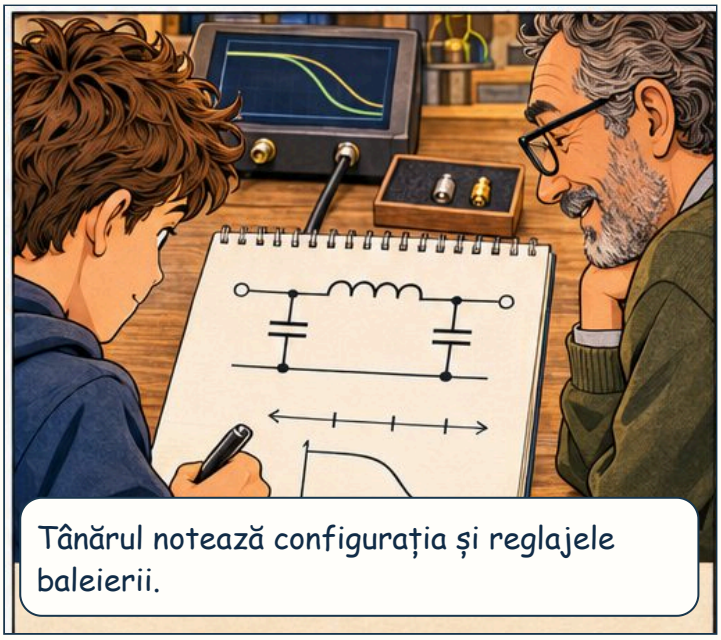
Etaloanele potrivite sunt conectate conform manualului.



Planele de referință sunt plasate la capetele cablurilor.



După calibrare, aceste conexiuni sunt păstrate pe cât posibil.



Tânărul notează configurația și reglajele baleierii.

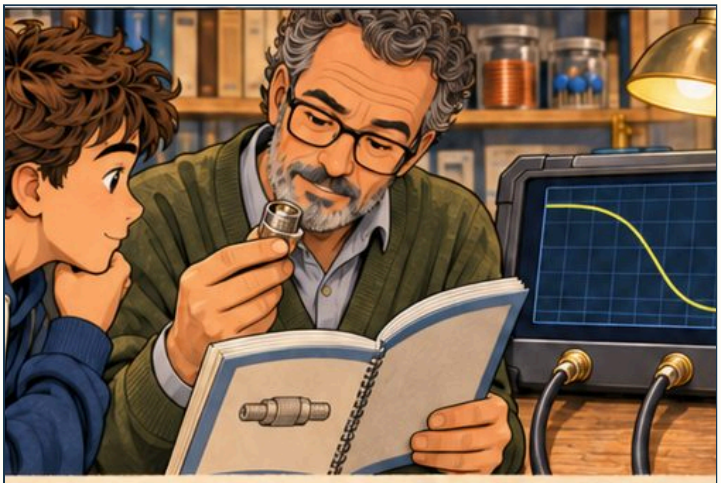
Controlul traseului direct



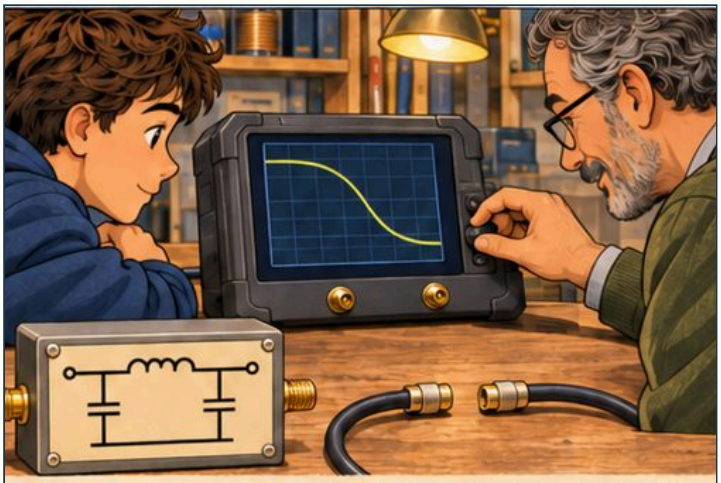
Înaintea filtrului, o legătură directă verifică referința.



Transmisia așteptată trebuie să corespundă acestei legături.



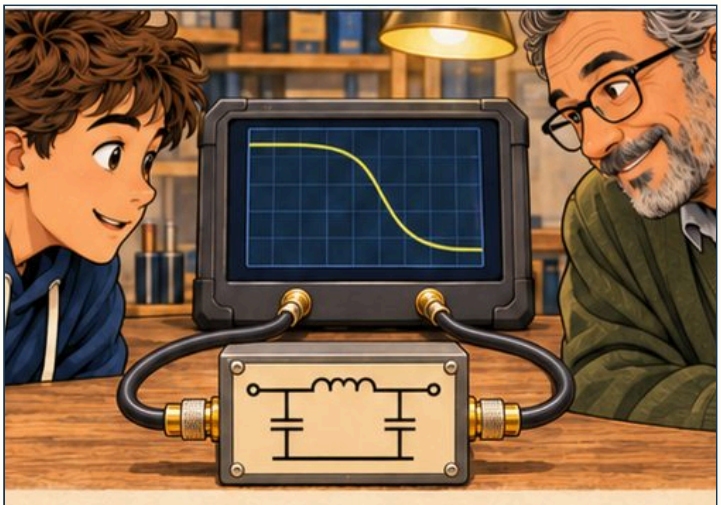
O anomalie cere examinarea cablurilor, calibrării și reglajelor.



Nu modifici filtrul pentru a ascunde un defect al bancului.



După verificare, sursa este oprită pentru conectare.

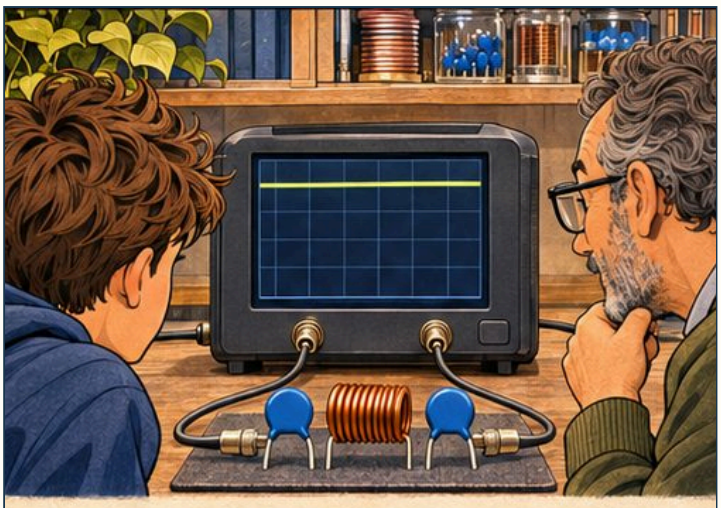


Filtrul își ia apoi locul între cele două cabluri.

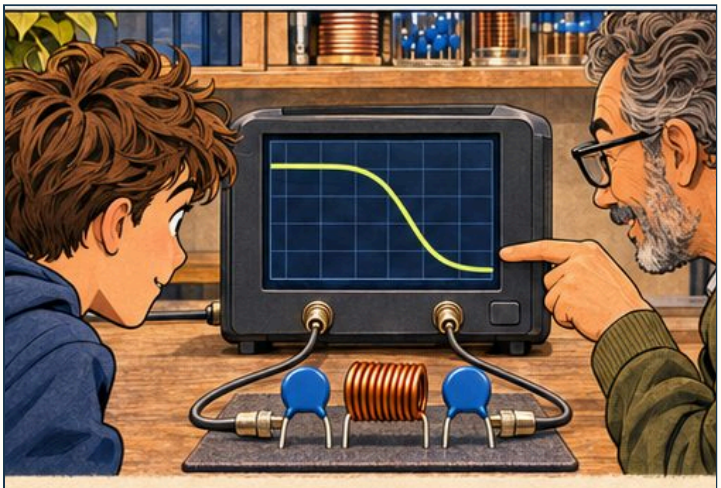
Prima baleiere



Lansează o baleiere care acoperă banda utilă și tranziția.



Trasa rămâne mai sus la frecvențele joase.



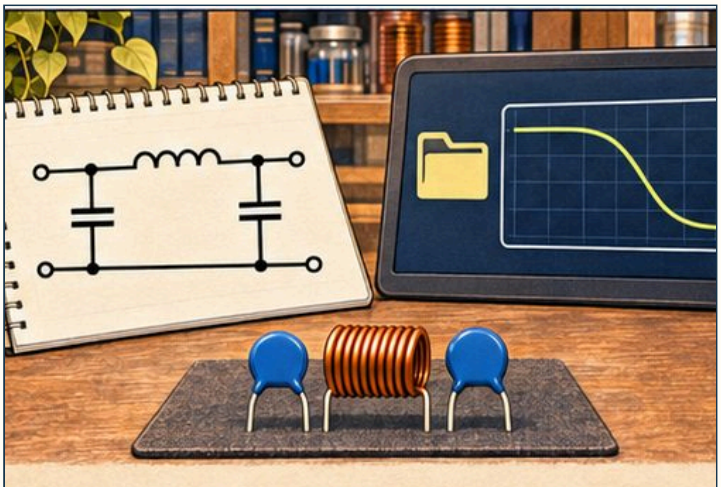
Apoi coboară când frecvența crește.



Tânărul regăsește forma prevăzută, fără a presupune o egalitate perfectă.

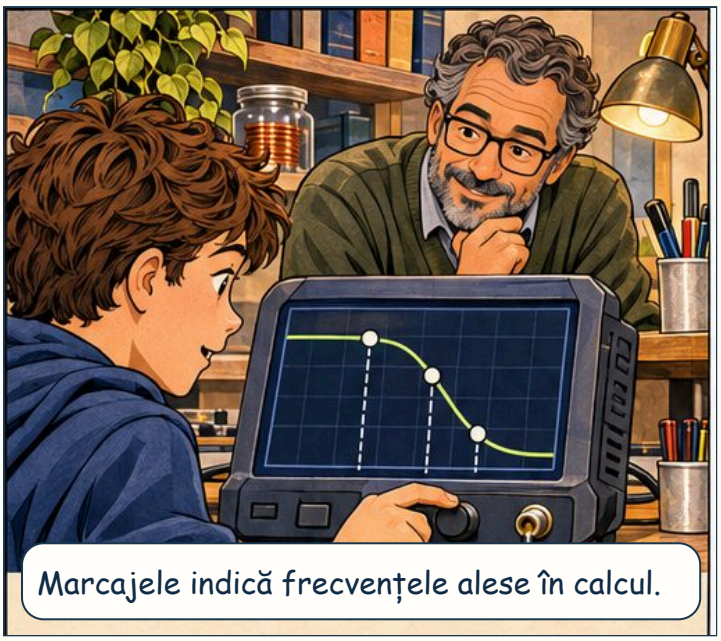


Salvează trasa și condițiile de măsurare.



Un rezultat păstrat va permite comparații după fiecare modificare.

Citirea unor puncte precise



Marcajele indică frecvențele alese în calcul.



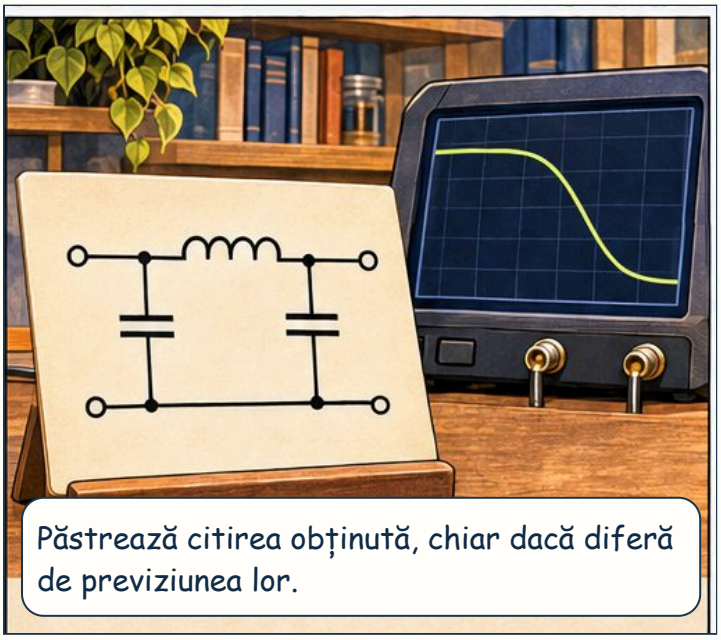
Citesc transmisia în jurul tăierii așteptate.



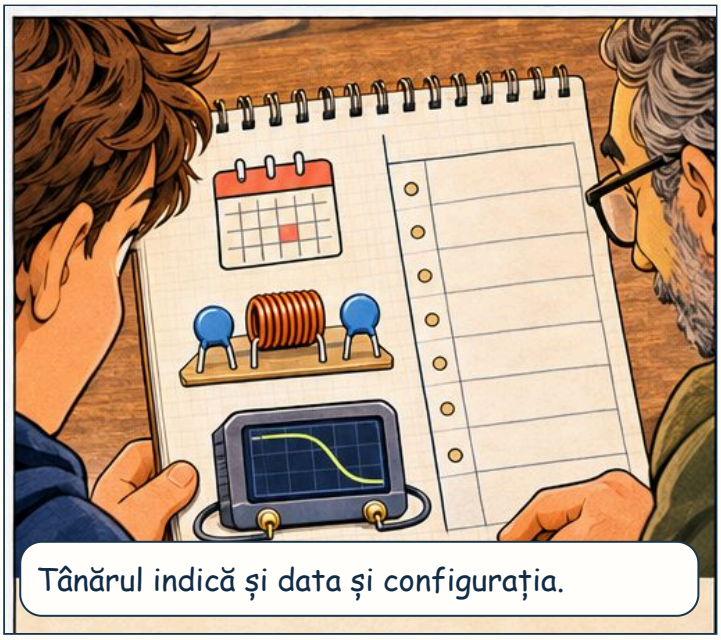
Examinează și punctele cu frecvențe mai înalte.



Valorile citite efectiv ajung în coloana măsurătorilor.



Păstrează citirea obținută, chiar dacă diferă de previziunea lor.

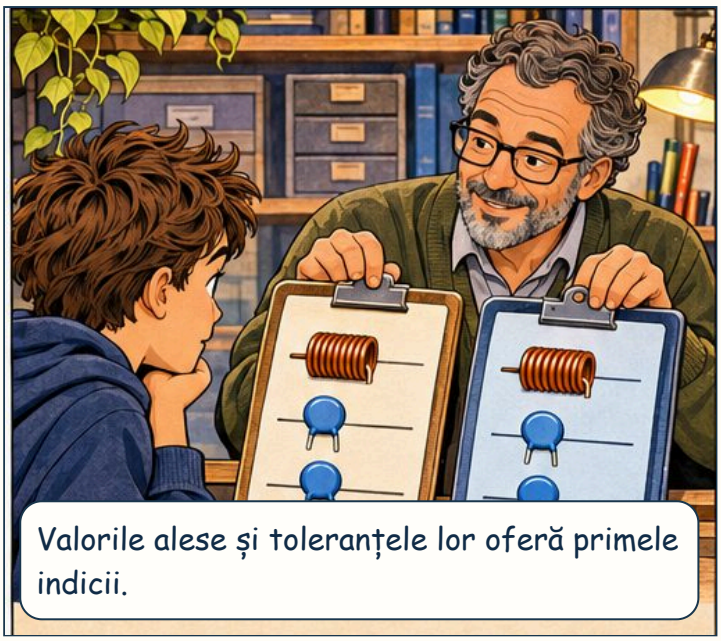


Tânărul indică și data și configurația.

Înțelegerea unei abateri



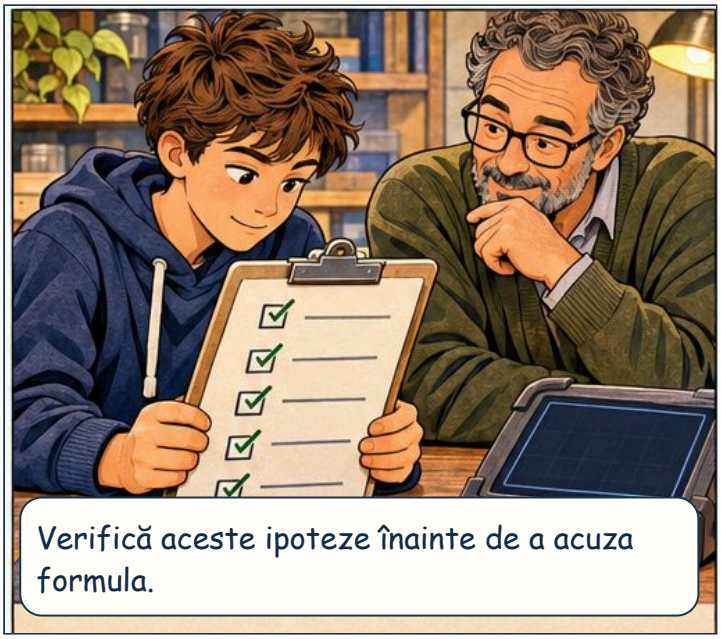
Tăierea observată poate diferi de cea calculată.



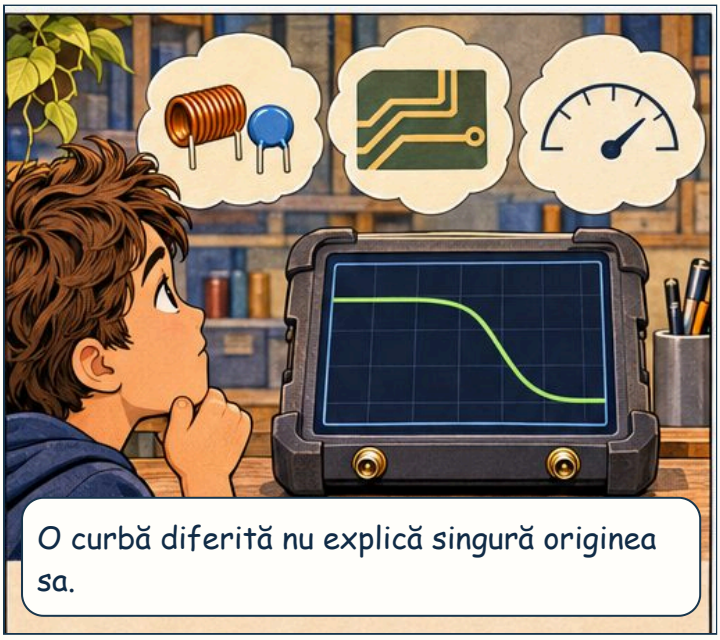
Valorile alese și toleranțele lor oferă primele indicii.



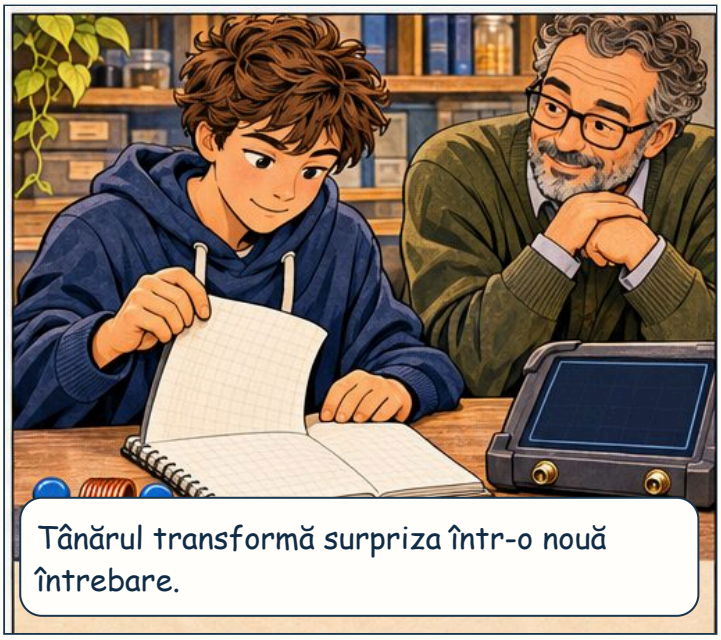
Pierderile, amplasarea și calibrarea merită și ele examinate.



Verifică aceste ipoteze înainte de a acuza formula.

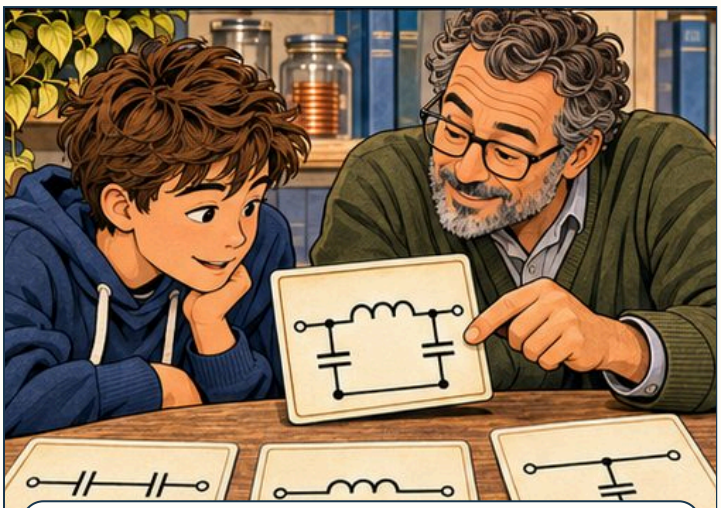


O curbă diferită nu explică singură originea sa.

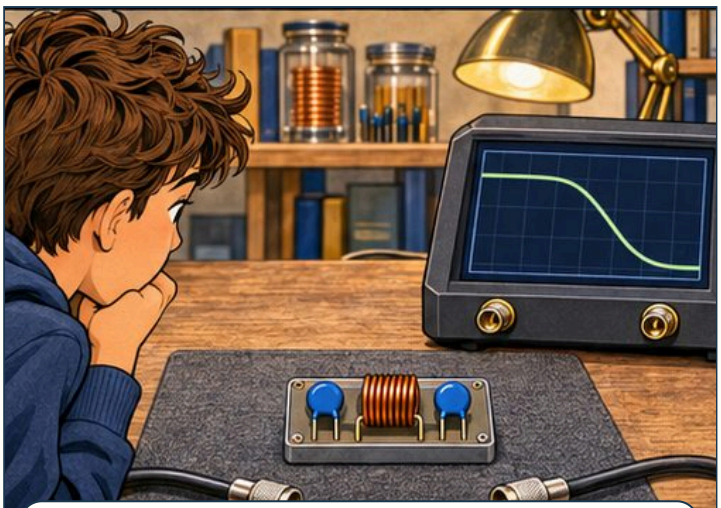


Tânărul transformă surpriza într-o nouă întrebare.

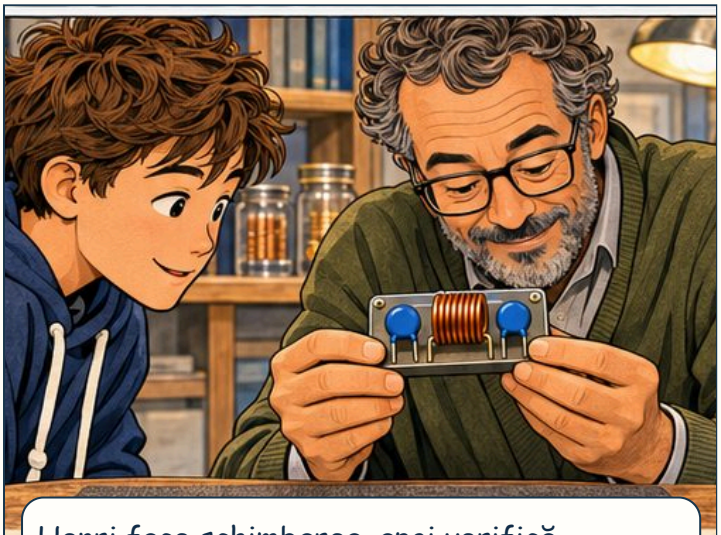
O singură modificare odată



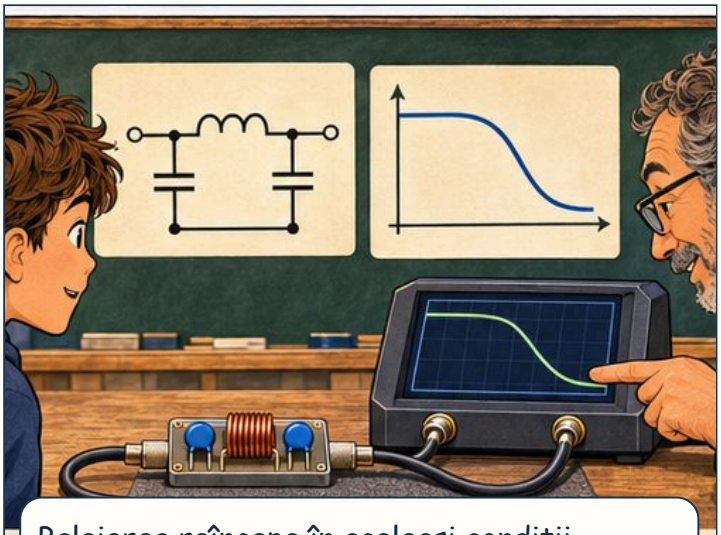
Aleg o singură ipoteză și pregătesc o modificare justificată.



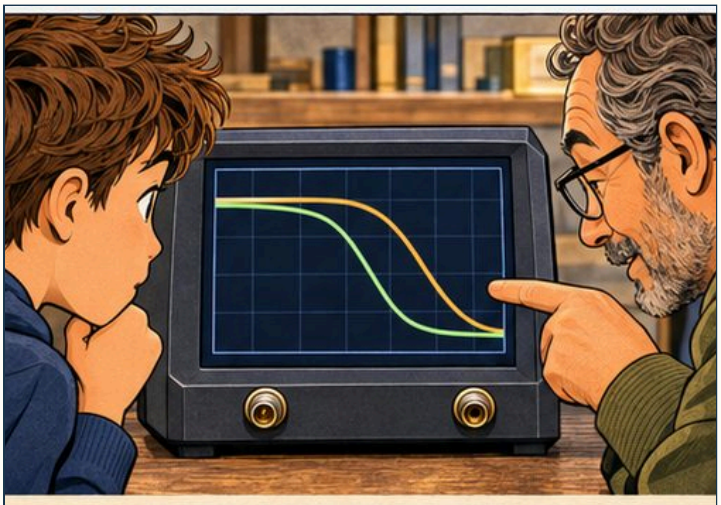
Sursa este oprită și modulul deconectat înaintea intervenției.



Henri face schimbarea, apoi verifică montajul.



Baleierea reîncepe în aceleași condiții documentate.

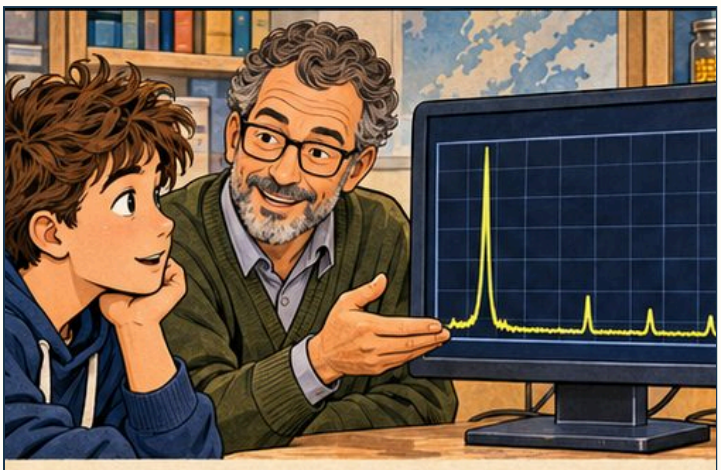


Compară trasa veche cu cea nouă.

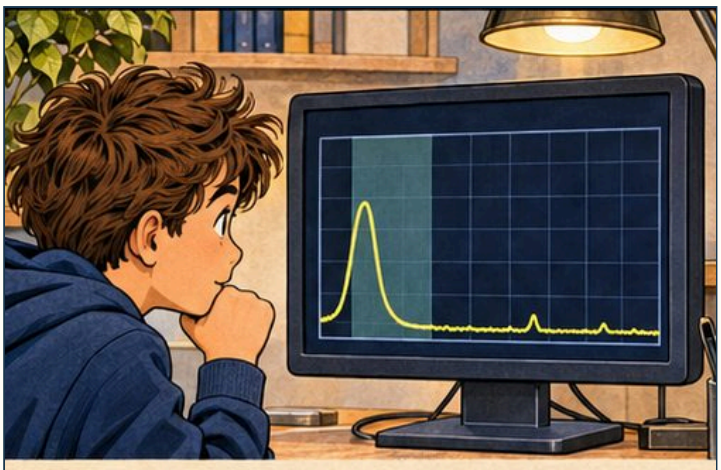


Metoda evită amestecarea mai multor cauze posibile.

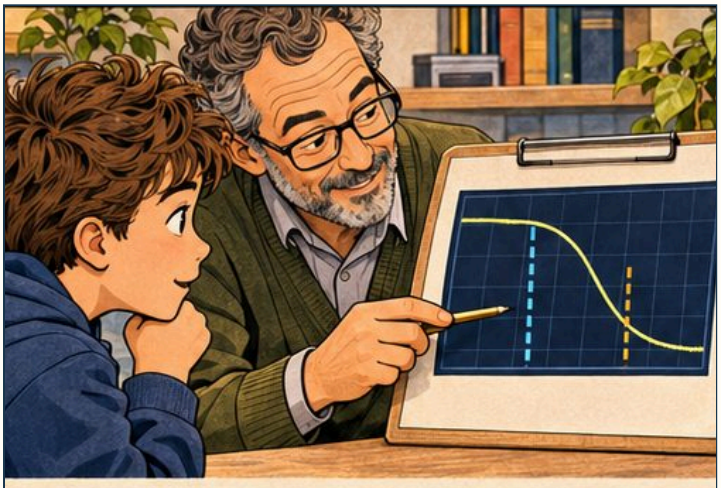
Atenuarea are limite



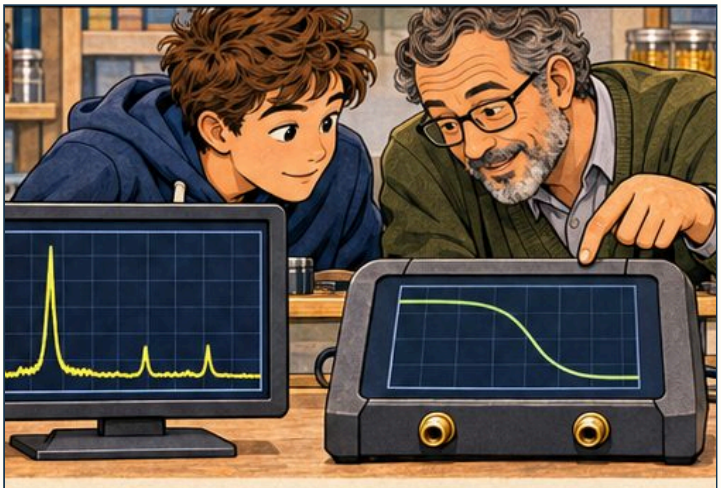
Un filtru trece-jos nu elimină toate componentele nedorite.



O componentă din banda sa de trecere va fi puțin atenuată.



Rejecția depinde de frecvență și de realizare.



Un control spectral complet ar cere măsurări suplimentare potrivite.

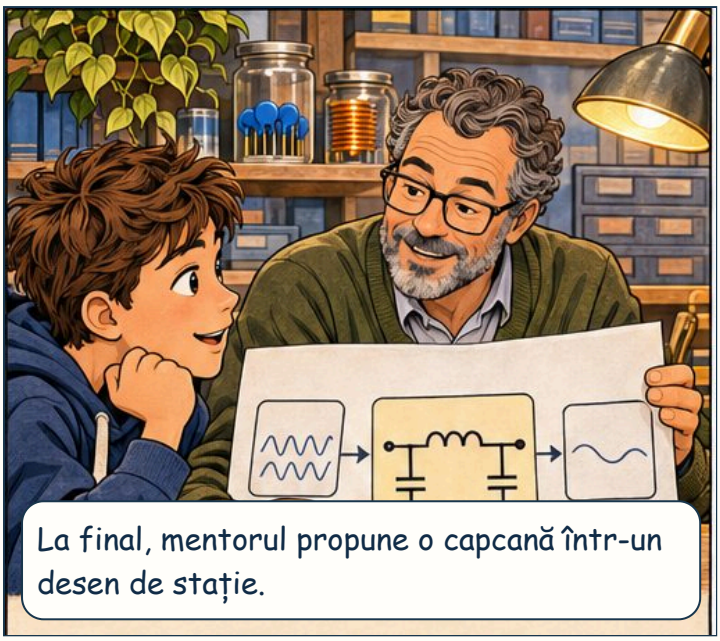


Prezența filtrului nu dovedește conformitatea unei stații.

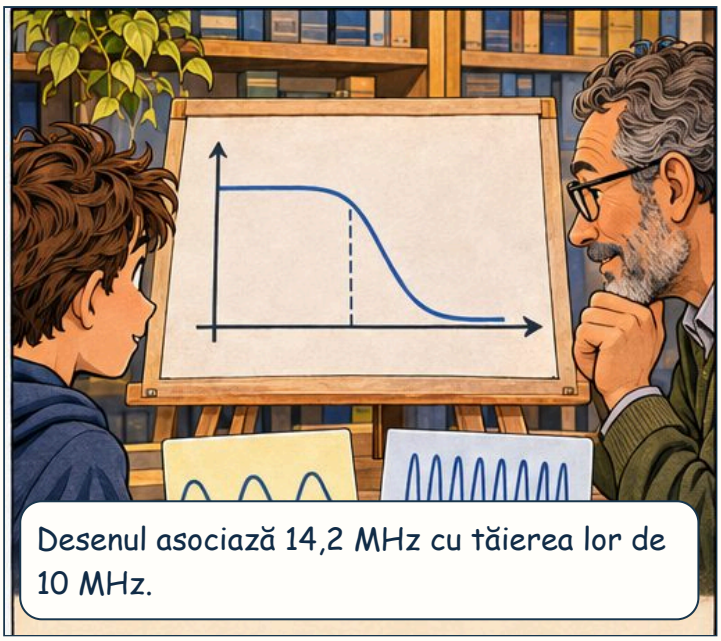


Tânărul deosebește o funcție utilă de o garanție generală.

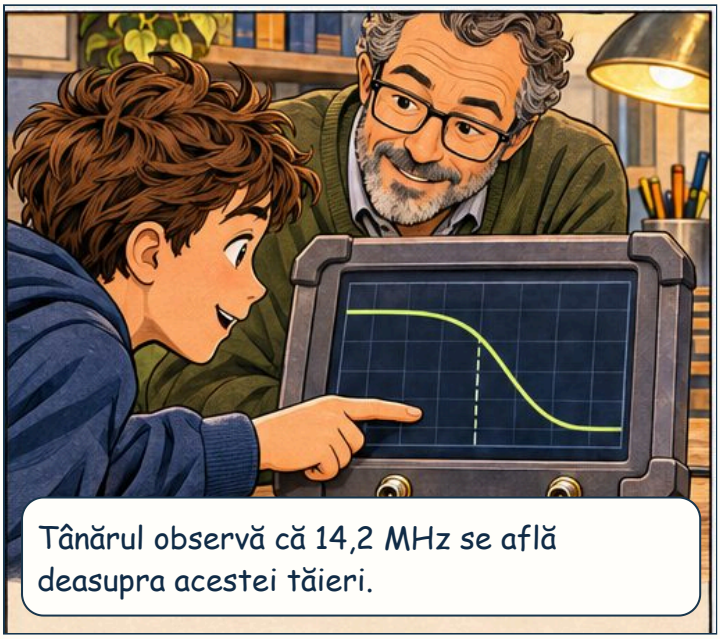
Frecvența utilă trebuie să treacă



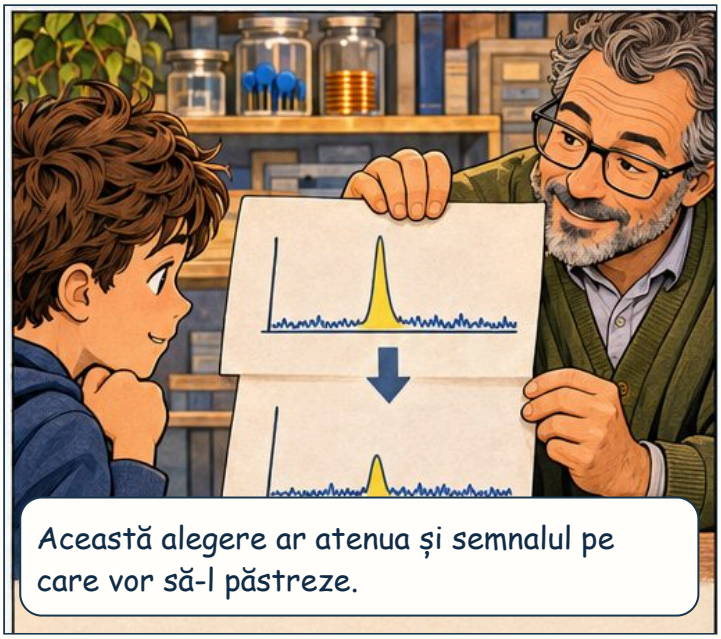
La final, mentorul propune o capcană într-un desen de stație.



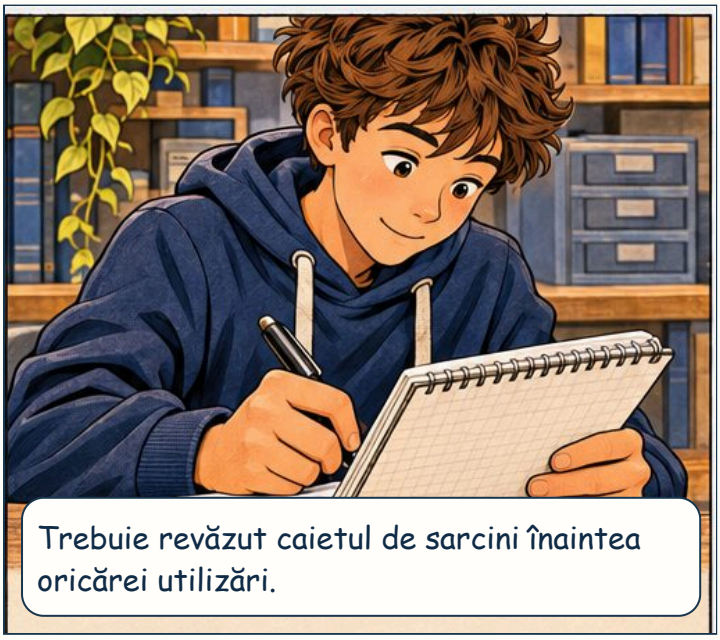
Desenul asociază 14,2 MHz cu tăierea lor de 10 MHz.



Tânărul observă că 14,2 MHz se află deasupra acestei tăieri.



Această alegere ar atenua și semnalul pe care vor să-l păstreze.

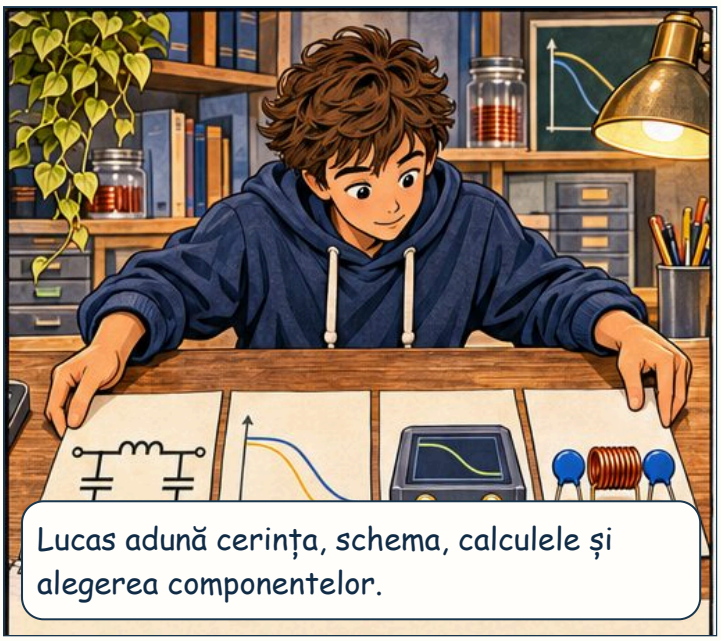


Trebuie revăzut caietul de sarcini înaintea oricărei utilizări.



Un exemplu de calcul nu este un filtru universal.

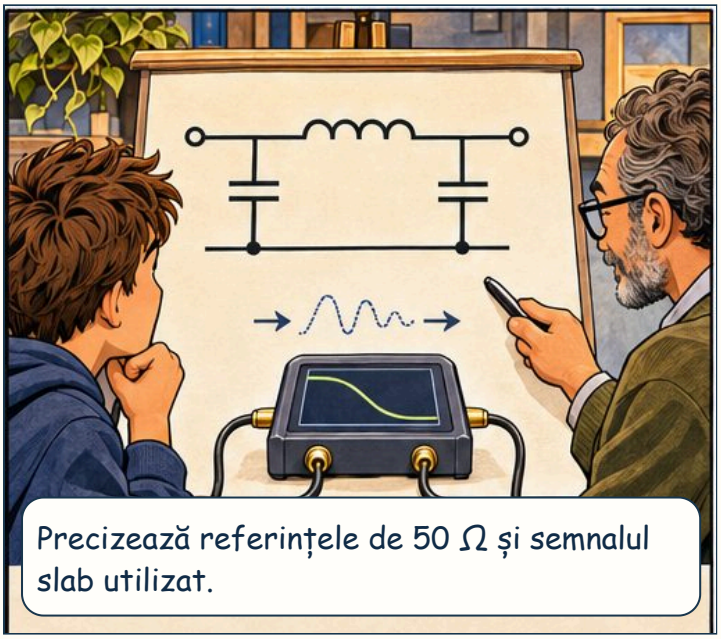
Pregătirea unei explicații pentru ceilalți



Lucas adună cerința, schema, calculele și alegerea componentelor.



Deosebește previziunile de rezultatele observate efectiv.



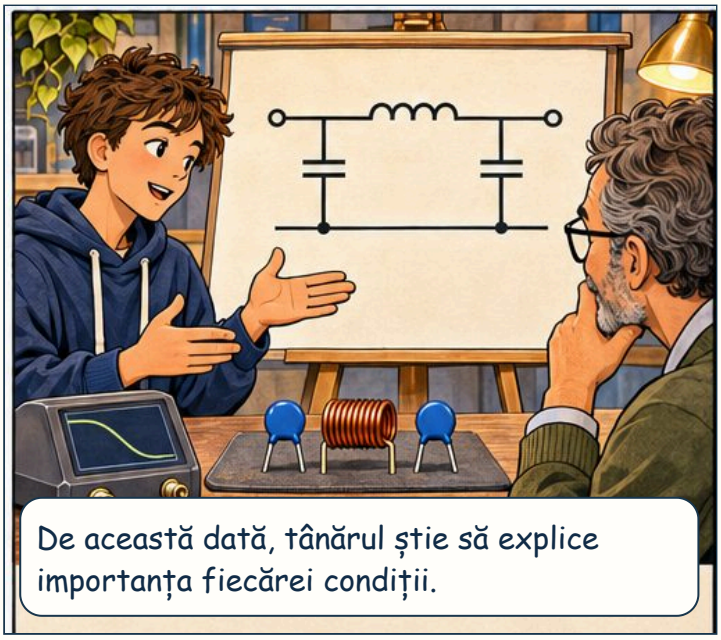
Precizează referințele de 50 Ω și semnalul slab utilizat.



Păstrează trasele, calibrarea și limitele experimentului.



Henri joacă rolul vizitatorului și pune o ultimă întrebare.



De această dată, tânărul știe să explice importanța fiecărei condiții.

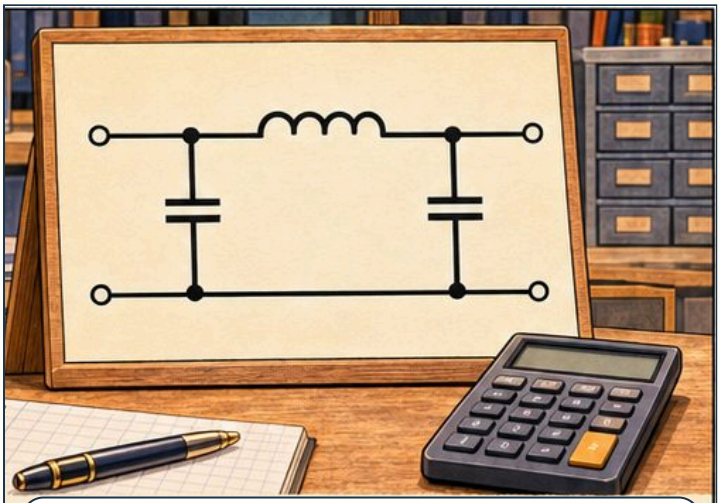
A înțelege, a calcula, a măsura



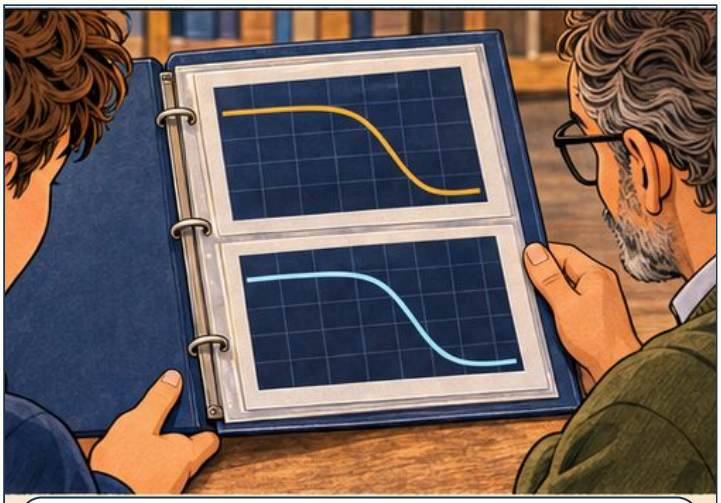
Cele trei componente revin în cutia didactică.



Tânărul știe acum să lege o cerință de răspunsul unui filtru.



Știe să calculeze acest Butterworth în π și să verifice unitățile.



Știe și să măsoare, să compare și să cerceteze abaterile.



Caietul păstrează o metodă, cu ipotezele și limitele sale.



La club, următoarea descoperire începe deja cu o întrebare.