ON4CRD

Zväzok 05

Výpočet filtrov



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Právne upozornenia

Zväzok 05 · Výpočet filtrov

Vydavateľ webovej stránky : Radio Club Durnal ON4CRD

Manažér publikácie : Výbor Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Právne upozornenia

Duševné vlastníctvo

Texty, obrázky, dokumenty, logá a materiály zverejnené na stránke zostávajú majetkom ich príslušných autorov alebo klubu. Akákoľvek reprodukcia alebo opätovné použitie musí rešpektovať zdroj, príslušné práva a akékoľvek povolenie autora.

Zodpovednosť

Klub pracuje na zverejňovaní užitočných a overených informácií, ale nezaručuje absenciu chýb, opomenutí alebo prerušení. Technické alebo regulačné informácie musia byť porovnané s oficiálnymi zdrojmi, keď podporujú rozhodnutie.

Ilustrácie vytvorené s pomocou umelej inteligencie.

Nová úloha



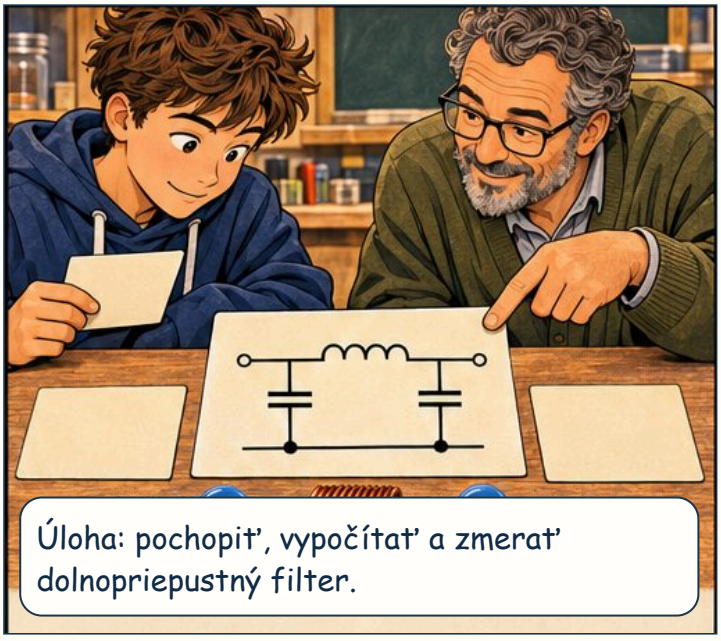
Po elektrickej dielni si Lucas v klube opäť otvára zápisník.



Henri pripravuje ukážku o kvalite signálov.



Na stole čakajú dva kondenzátory a cievka.



Úloha: pochopiť, vypočítať a zmerať dolnopriepustný filter.



Mladík chce vedieť, ako môžu tri súčiastky všetko zmeniť.



Začínajú skúmaním toho, čo obsahuje signál.

Signál a jeho obraz



Časový priebeh ukazuje, ako sa signál mení.



Spektrum zobrazuje jeho zložky podľa frekvencie.



Oba pohľady opisujú ten istý signál odlišne.



Ideálna sínusoida má iba jednu frekvenciu.

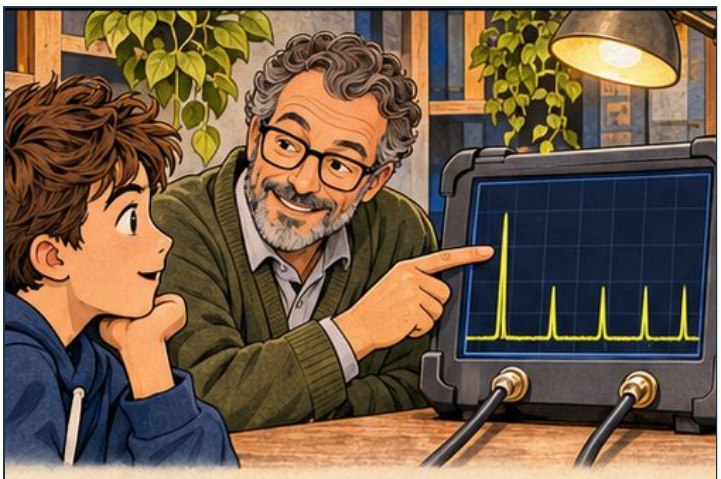


Skreslený tvar môže obsahovať viacero zložiek.



Mladík objavuje obraz, ktorý dosiaľ nevedel čítať.

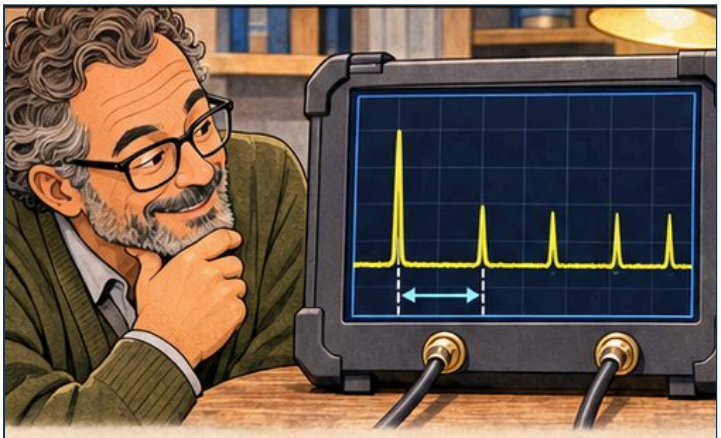
Objavujú sa harmonické



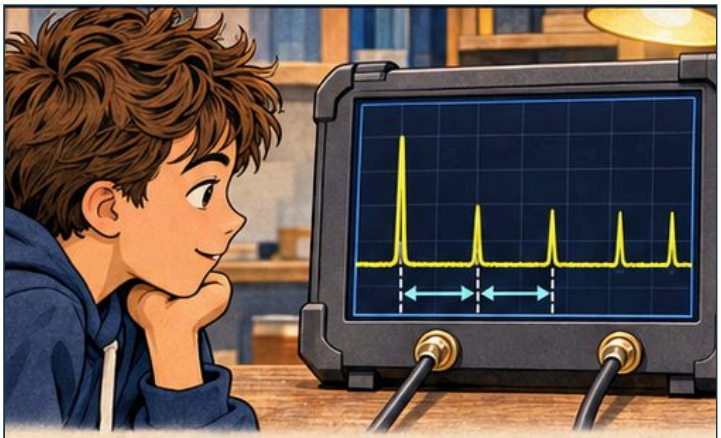
Základná frekvencia je prvým orientačným bodom periodického signálu.



Jeho harmonické sú celočíselnými násobkami tejto frekvencie.



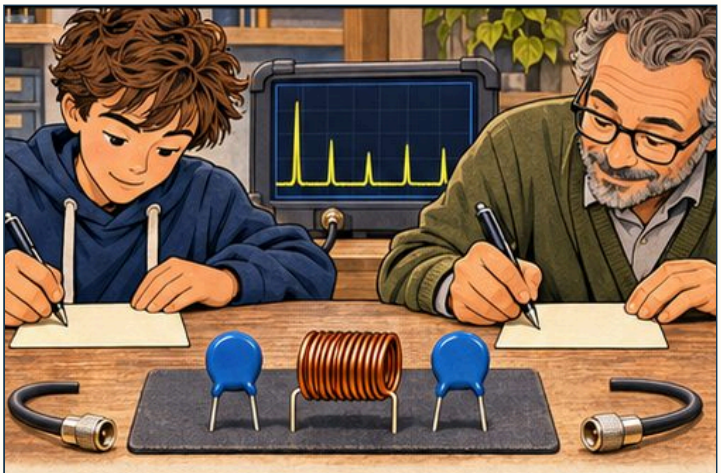
Druhá harmonická má dvojnásobnú základnú frekvenciu.



Tretia má trojnásobnú frekvenciu.

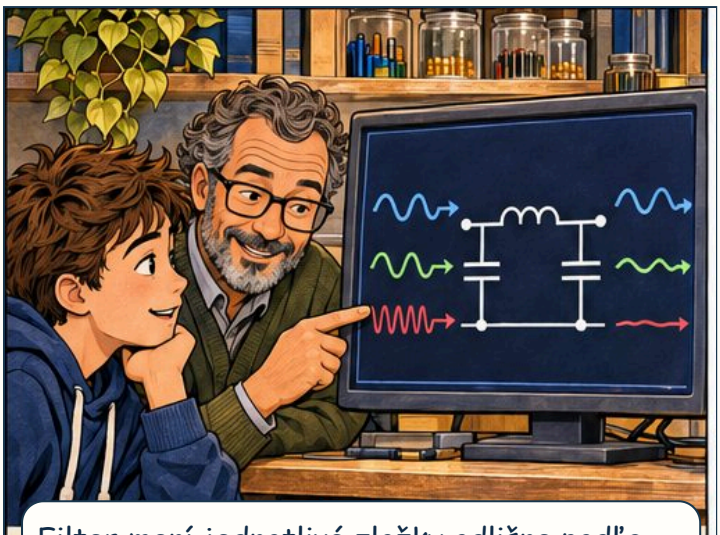


Nie všetky nežiaduce zložky sú však harmonické.

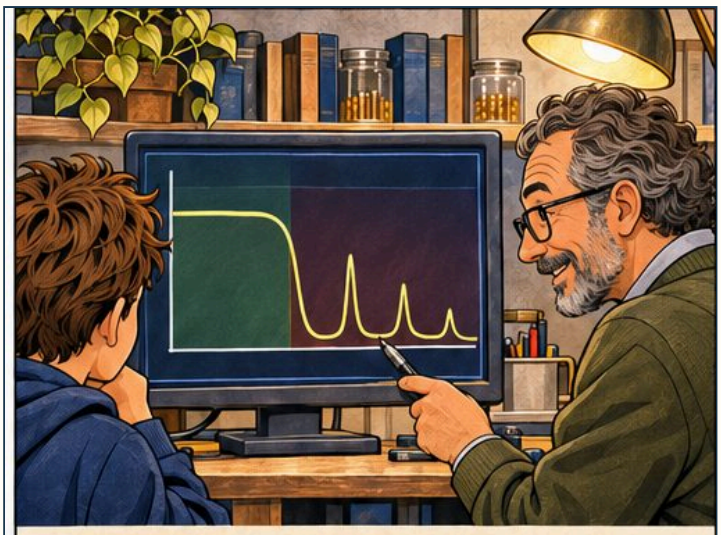


Filter musí spĺňať presne určenú potrebu.

Vybrať, čo zachovať



Filter mení jednotlivé zložky odlišne podľa frekvencie.



Najprv sa určia užitočné a rušivé frekvencie.



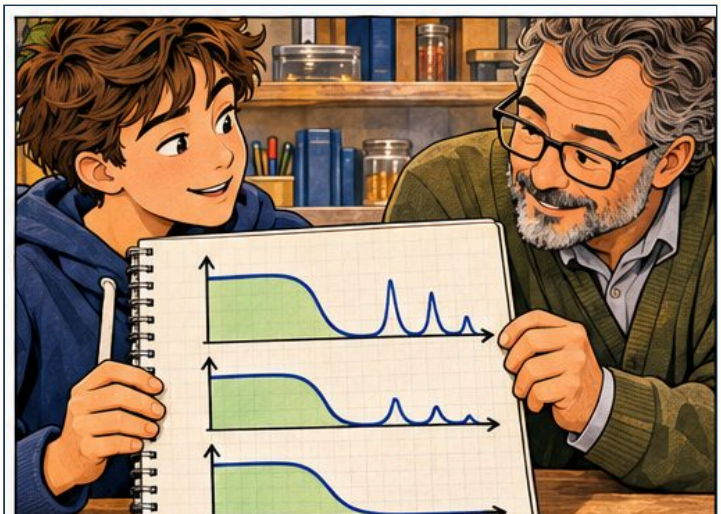
Určia sa aj požadované útlmy.



Bez týchto cieľov by výpočet súčiastok nemal veľký zmysel.

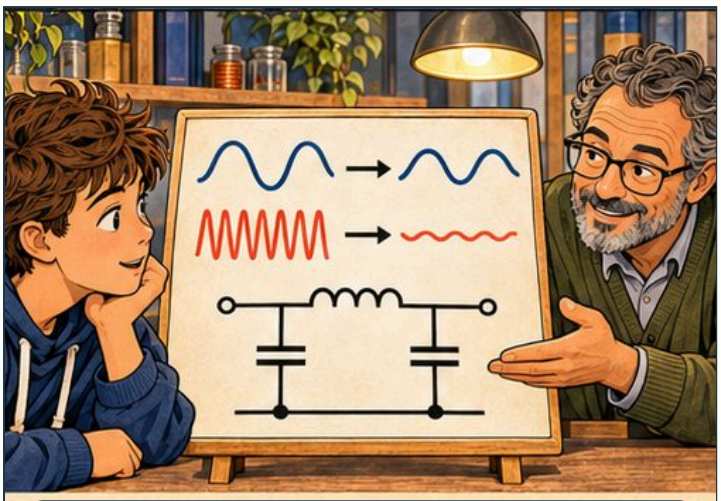


Mladík zakrúžkuje užitočnú oblasť vzorového spektra.



Jeho zápisník sa mení na zadanie požiadaviek.

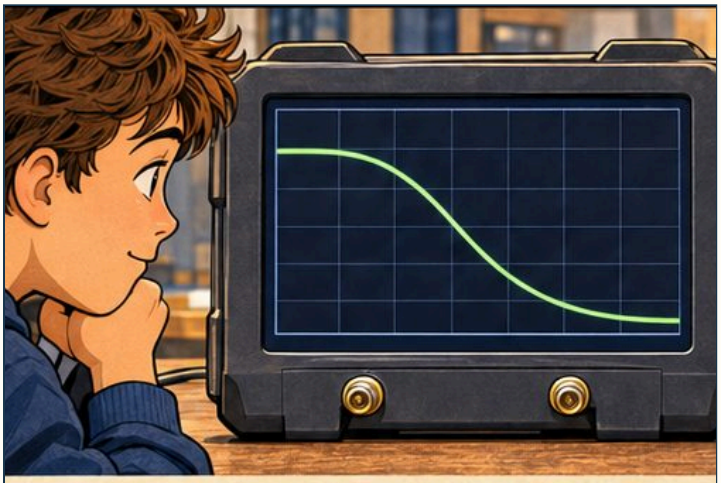
Voľba dolného priepustu



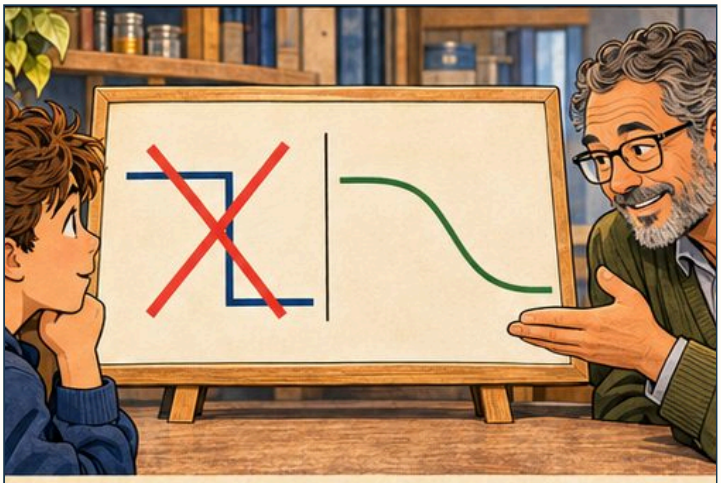
Dolnopriepustný filter lepšie prenáša nízke než vysoké frekvencie.



Jeho priepustné pásmo leží na strane nízkych frekvencií.



Vyššie útlm postupne rastie.



Skutočný prechod nikdy nie je dokonalá zvislá stena.



Tento typ vyhovuje dnešnej ukážke.



Mladík kreslí svah namiesto bariéry.

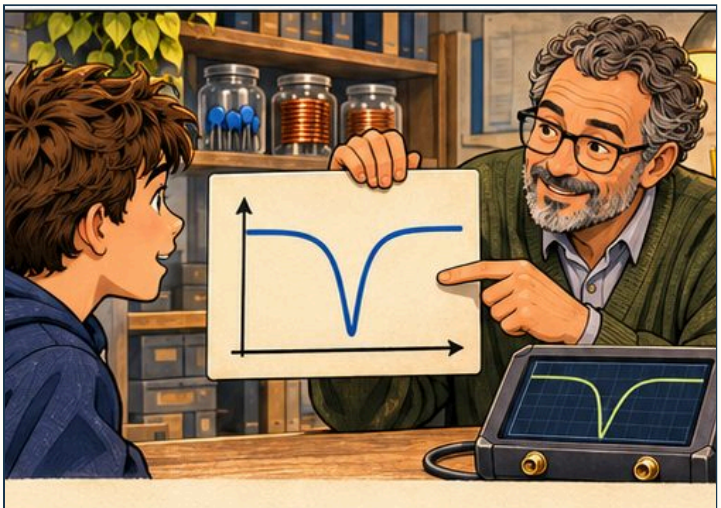
Ďalšie možné cesty



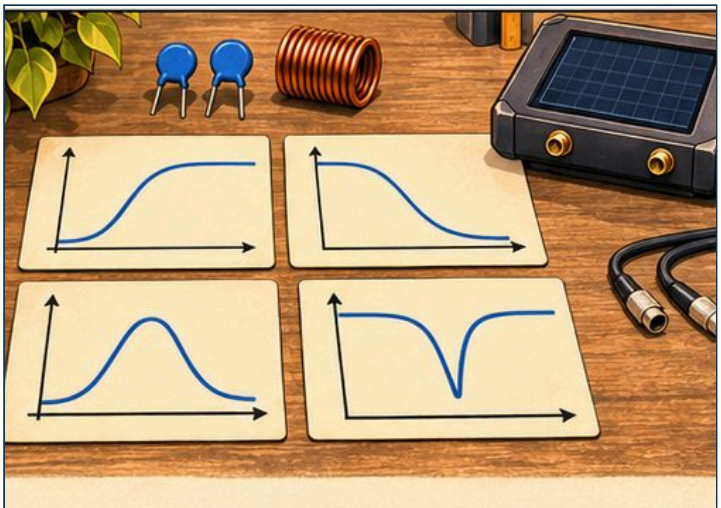
Hornopriepustný filter tlmí nízke frekvencie a zachováva vysoké.



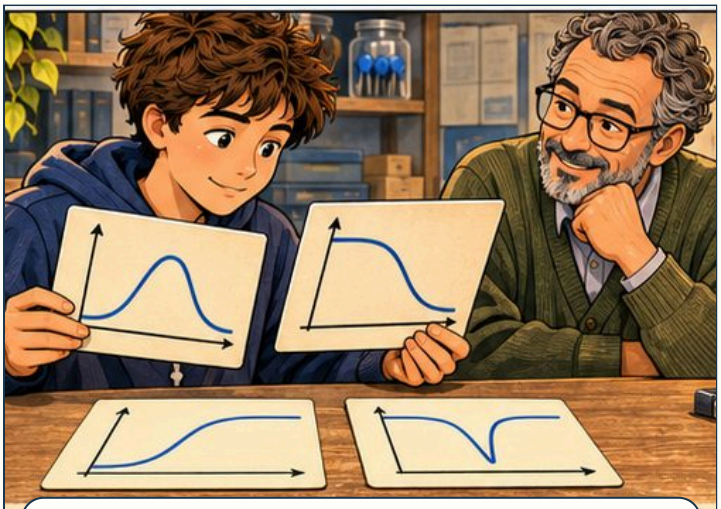
Pásmový priepust uprednostňuje rozsah medzi dvoma hranicami.



Pásmová zádrž naopak tlmí vybraný rozsah.



Tieto skupiny slúžia rôznym potrebám.

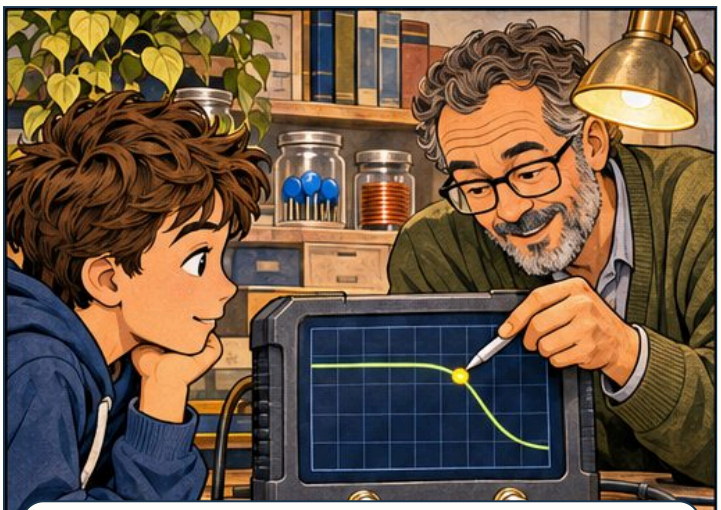


Názov opisuje charakteristiku, nie univerzálnu kvalitu.



Mladík odkladá tri kartičky na ďalšiu dielňu.

Hranica, ktorá ešte prepúšťa



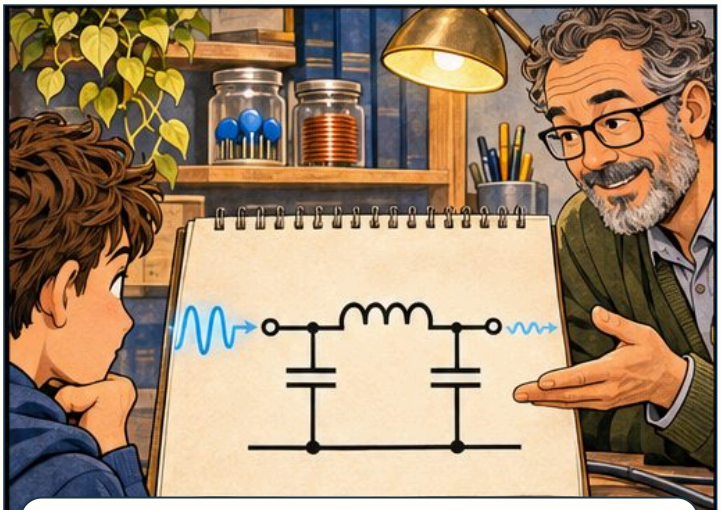
Medzná frekvencia tu označuje referenčnú úroveň.



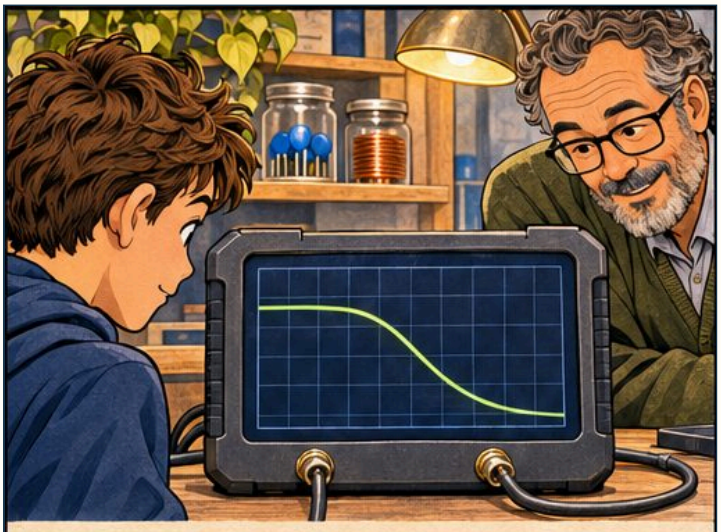
Neznamená náhle zmiznutie signálu.



Pre ich ideálny Butterworthov filter zodpovedá približne −3 dB.



Filter teda pri tejto frekvencii stále prenáša energiu.



Nad ňou bude útlm ďalej rásť.

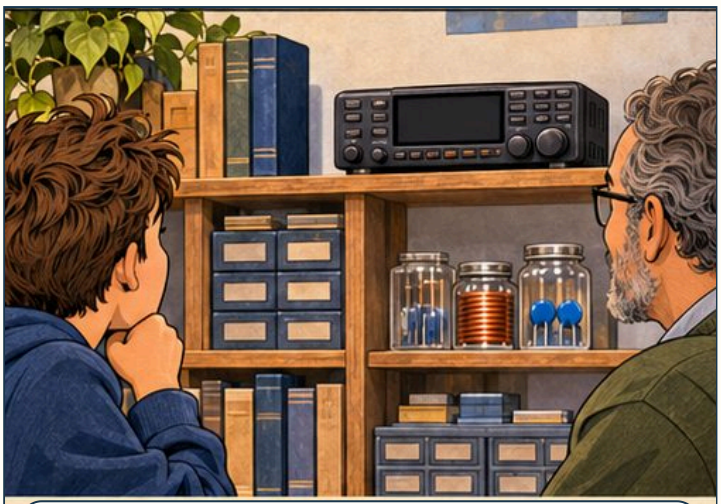


Toto spresnenie zabraňuje prvej mylnej predstave.

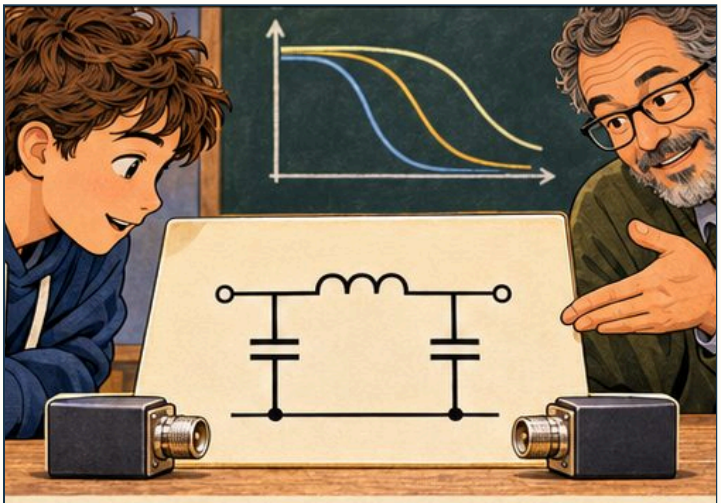
Laboratórny príklad



Vyberajú teoretickú medznú frekvenciu 10 MHz.



Táto hodnota slúži na učenie, neurčuje vysielaciu frekvenciu.



Zdroj a referenčná záťaž budú mať 50 Ω.



Zapojenie budú skúmať na stole slabým signálom.



Nepripoja anténu ani vysielač.



Cieľom je merateľná charakteristika, nie rádiové spojenie.

Prečo uviesť 50 ohmov?





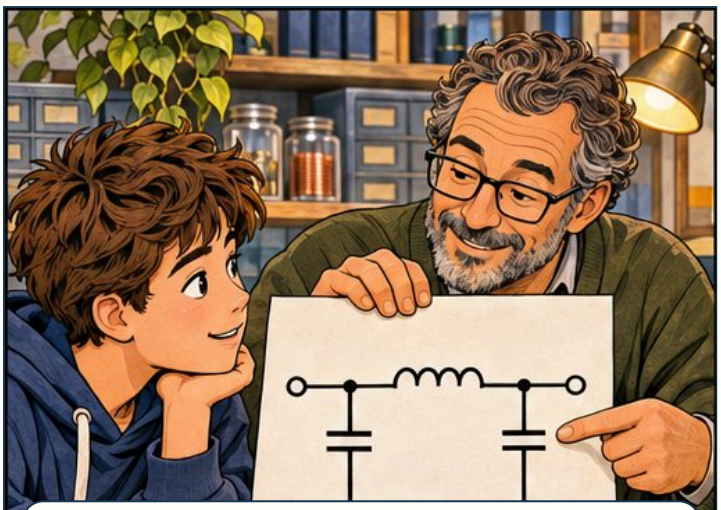








Model a skutočné zapojenie



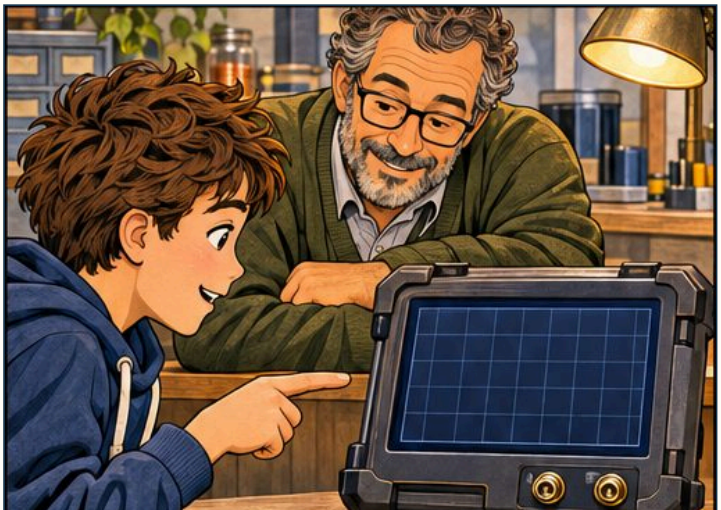
Výpočet začne s ideálnymi bezstratovými súčiastkami.



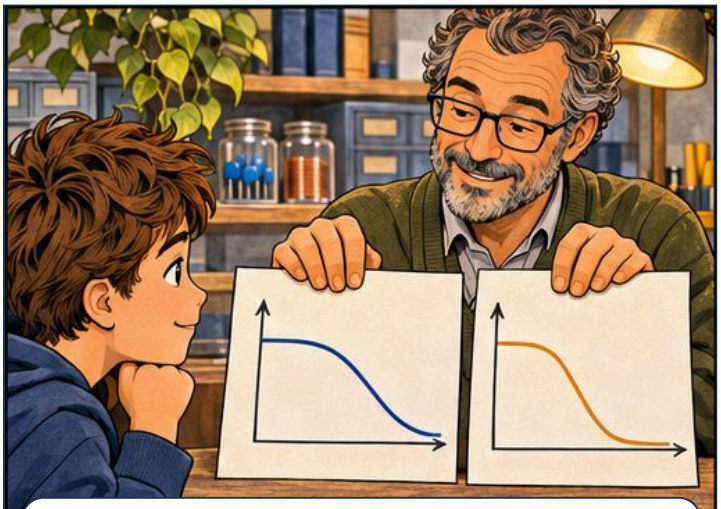
Skutočné zapojenie bude mať odpory a parazitné účinky.



Model umožňuje predpovedať prvú charakteristiku.



Merania potom umožnia skúmať rozdiely.

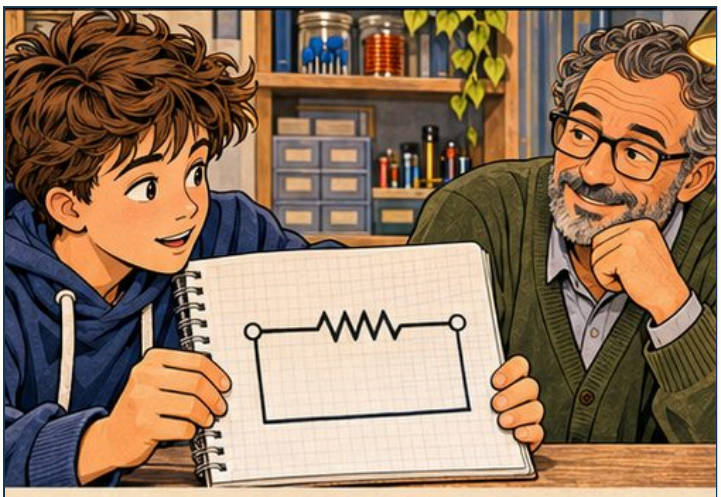


Zamieňanie predpovede s výsledkom by bránilo pochopeniu odchýlok.

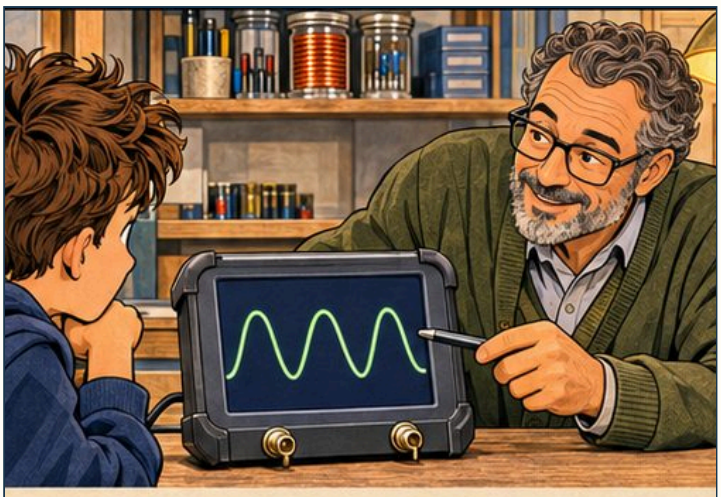


Zápisník pre každé vyhradzuje osobitné miesto.

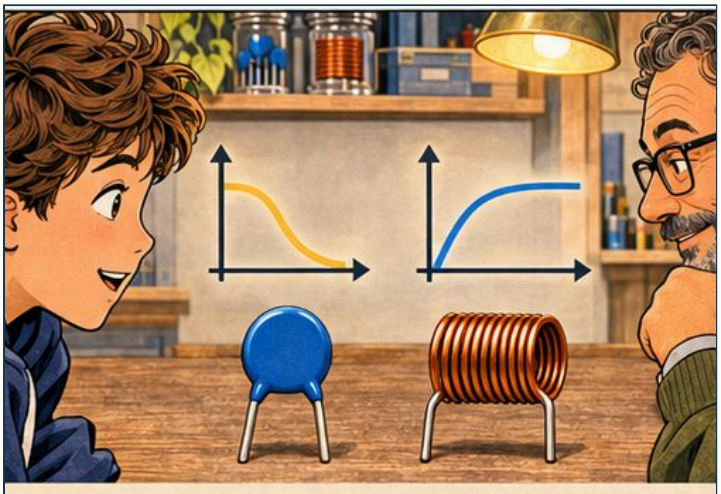
Samotný odpor už nestačí



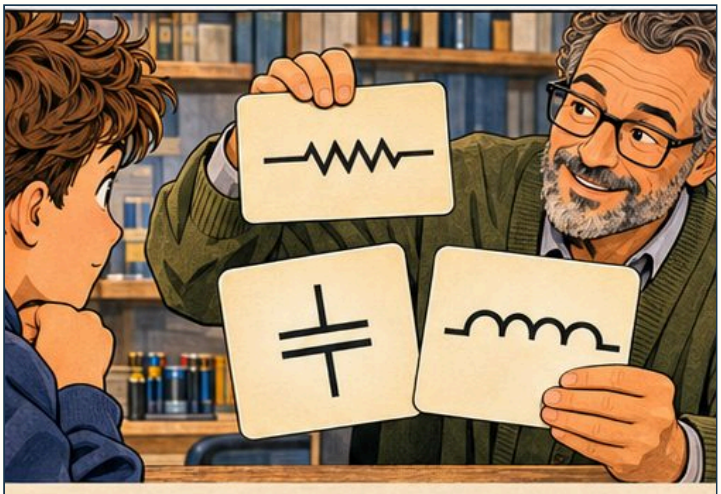
Predchádzajúci diel spájal napätie, prúd a odpor pri jednosmernom prúde.



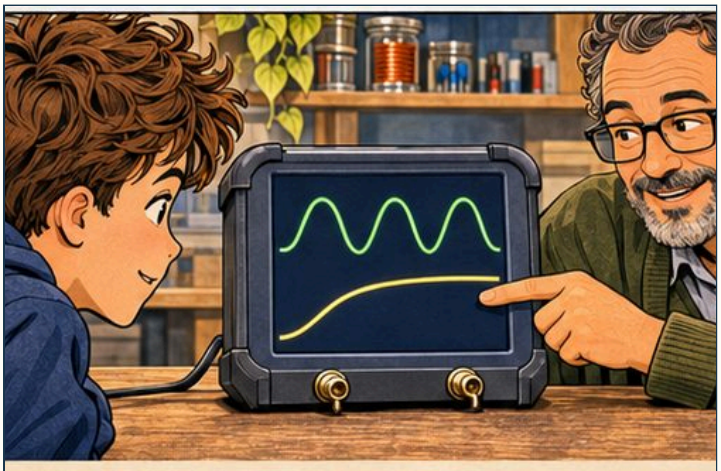
Tu sa signál rýchlo mení a záleží na jeho frekvencii.



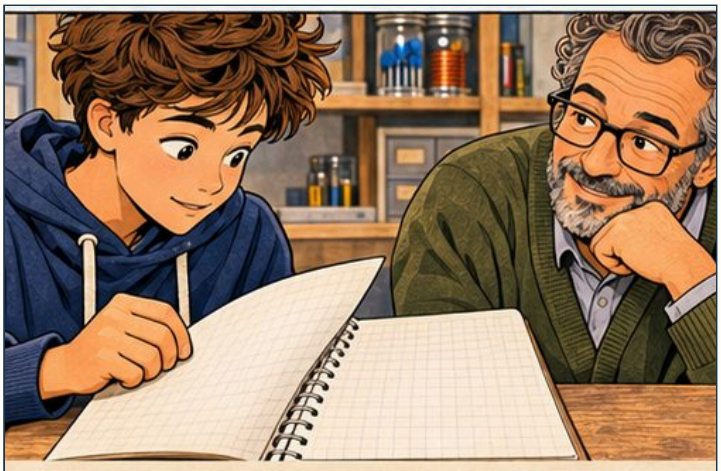
Kondenzátory a cievky kladú odpor závislý od frekvencie.



Táto reaktancia nie je obyčajný činný odpor.



Impedancia širšie opisuje elektrické správanie pri striedavom prúde.

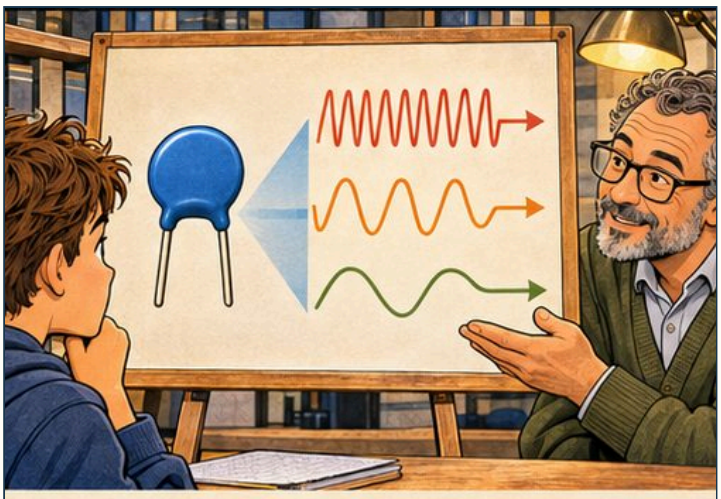


Mladík chápe, prečo treba nový model.

Úloha kondenzátora



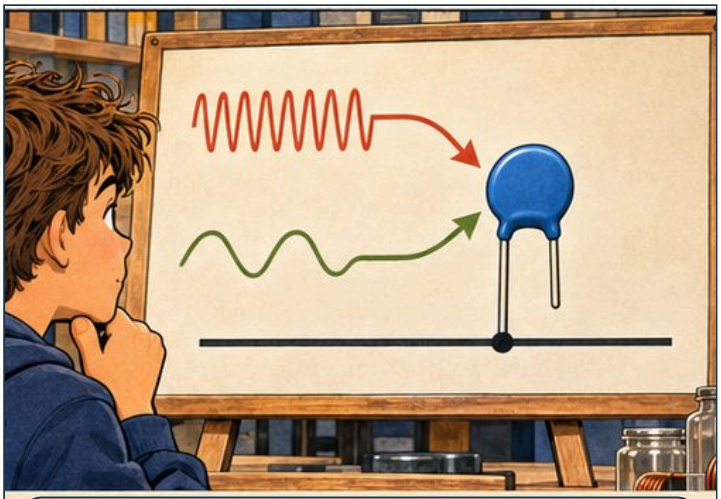
Kapacita sa označuje C a vyjadruje vo faradoch, F.



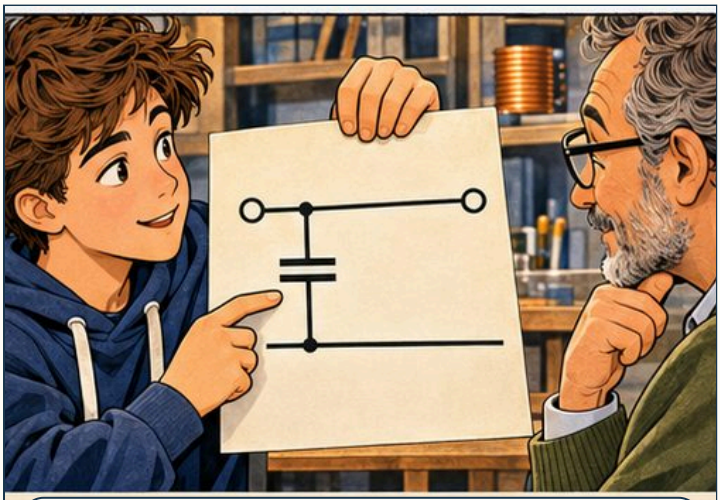
Reaktancia ideálneho kondenzátora klesá s rastúcou frekvenciou.



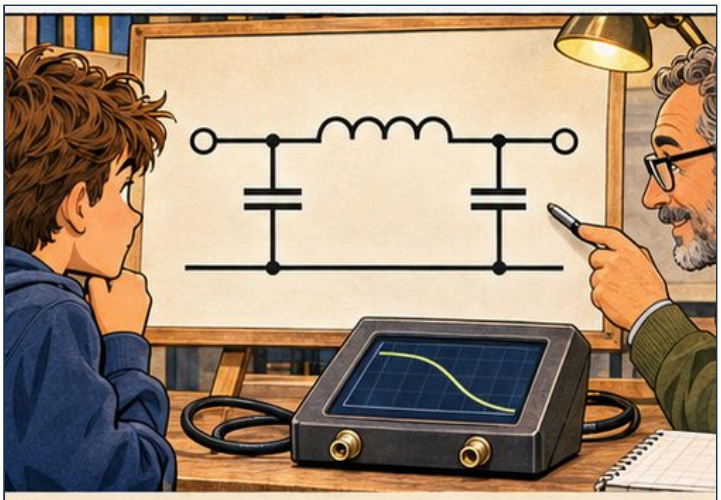
Jej absolútna hodnota je Xc = 1/(2πfC).



Pri rovnakej kapacite majú vyššie frekvencie menšiu reaktanciu.



V ich filtri budú kondenzátory pripojené na spoločnú zem.

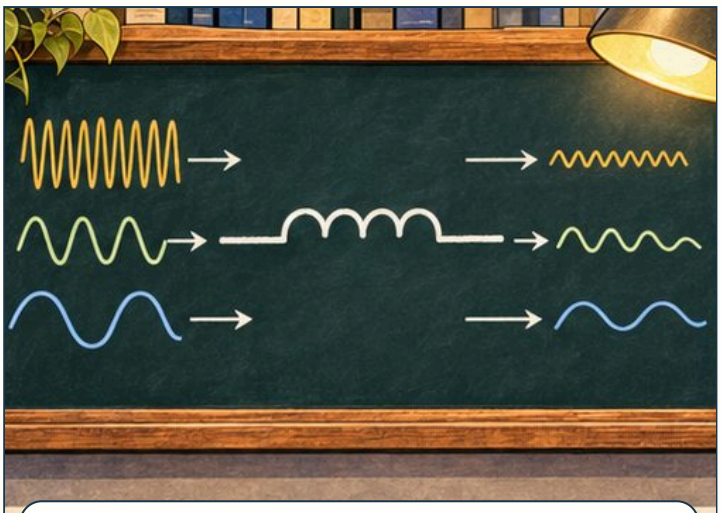


Ich úloha závisí aj od zvyšku obvodu.

Úloha cievky



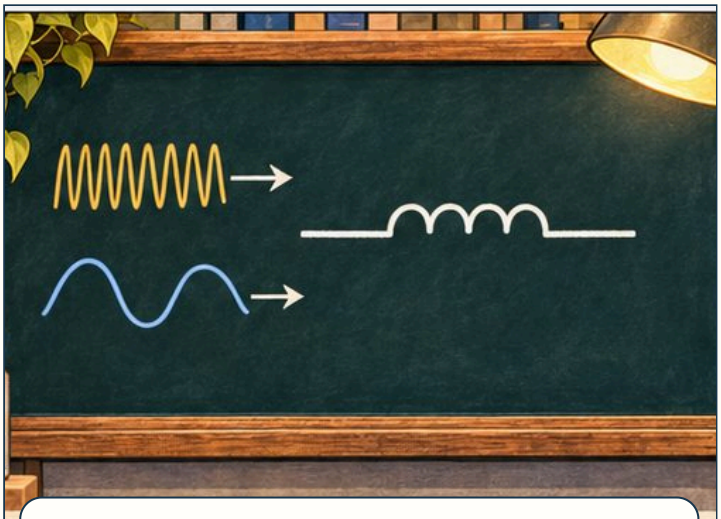
Indukčnosť sa označuje L a vyjadruje v henryoch, H.



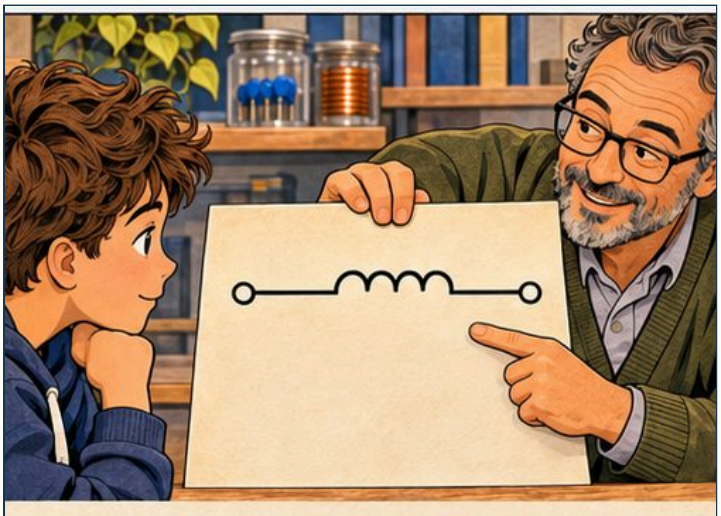
Reaktancia ideálnej cievky rastie s frekvenciou.



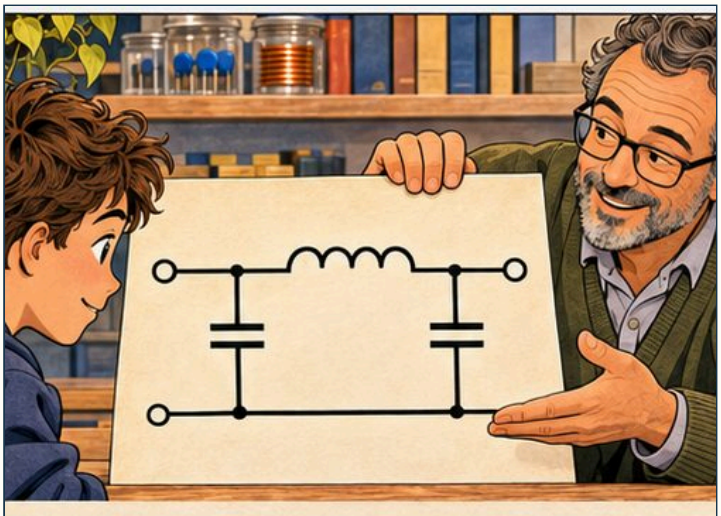
Jej absolútna hodnota je XL = 2πfL.



Pri rovnakej indukčnosti majú vyššie frekvencie väčšiu reaktanciu.

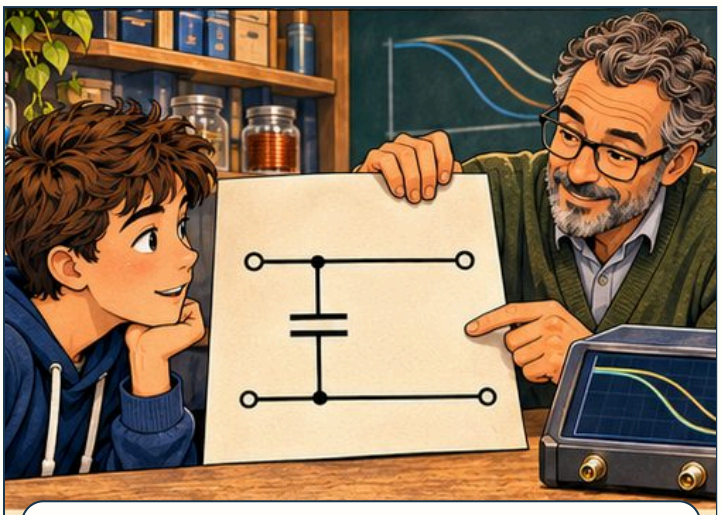


V ich filtri bude cievka v ceste signálu.

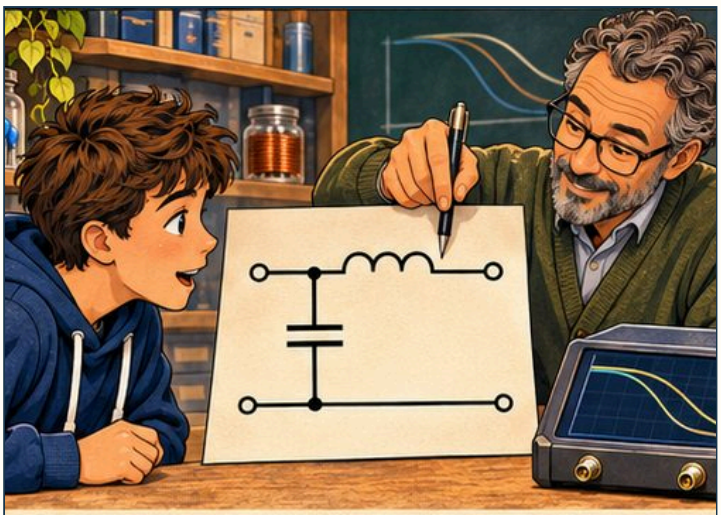


Oba typy súčiastok budú pôsobiť spoločne.

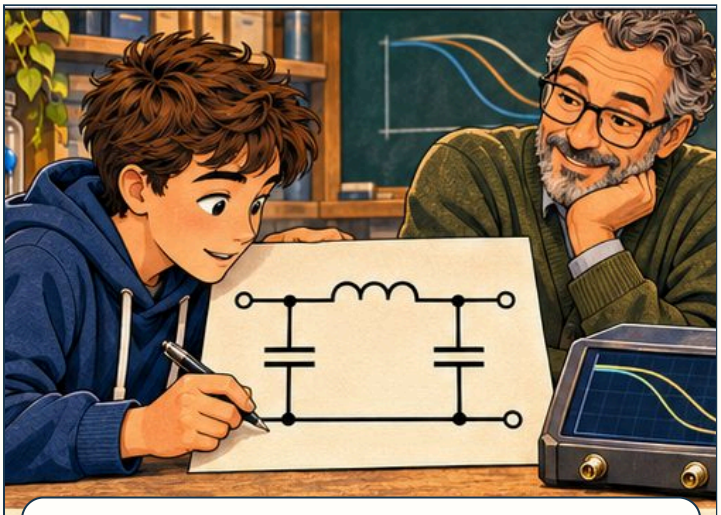
Schéma dostáva tvar π



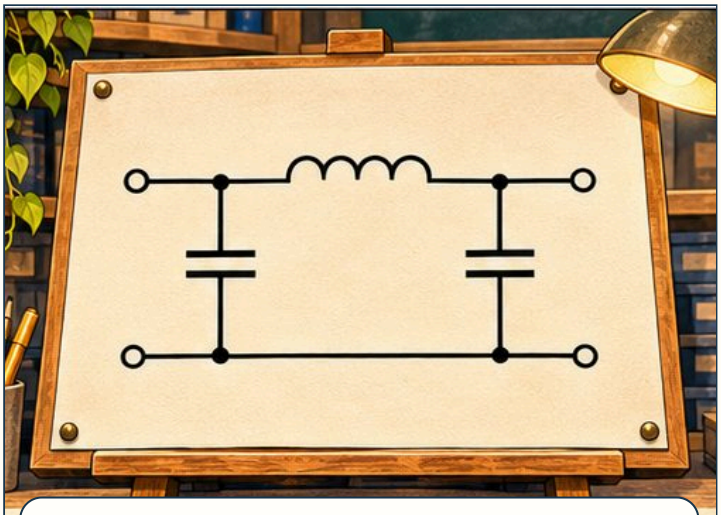
Vstup sa pripája k prvému kondenzátoru na spoločnú zem.



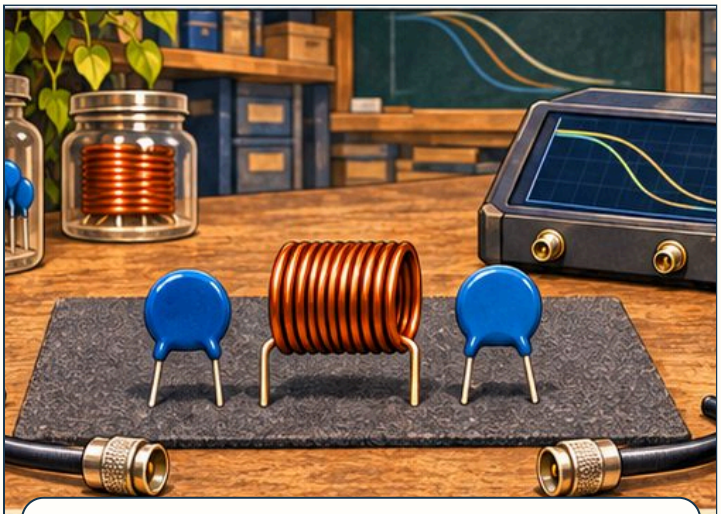
Cievka potom sériovo spája vstup s výstupom.



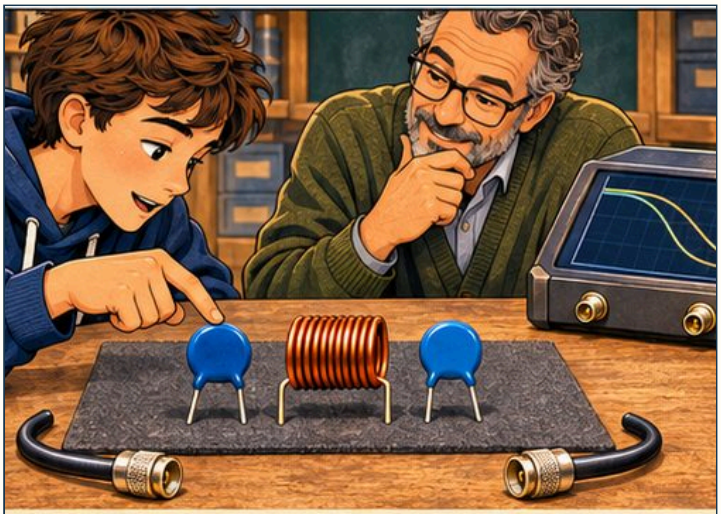
Druhý kondenzátor spája výstup s tou istou zemou.



Na oboch stranách cievky smerujú nadol dve vetvy.



Toto usporiadanie pripomína grécke písmeno π.

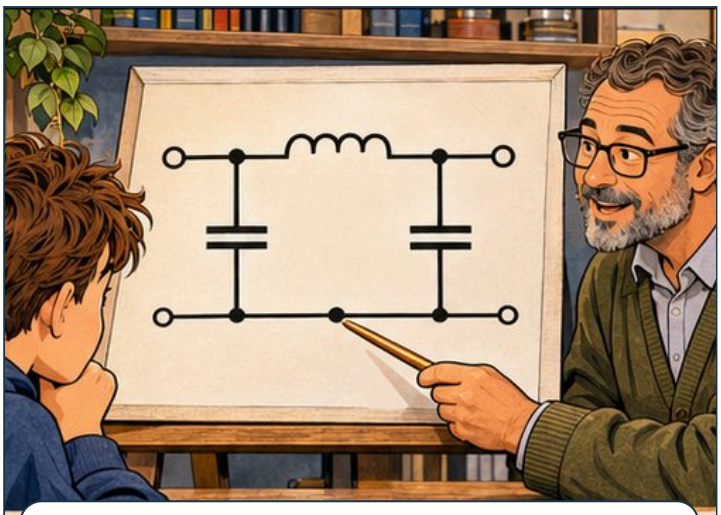


Mladík ceruzkou sleduje každý spoj.

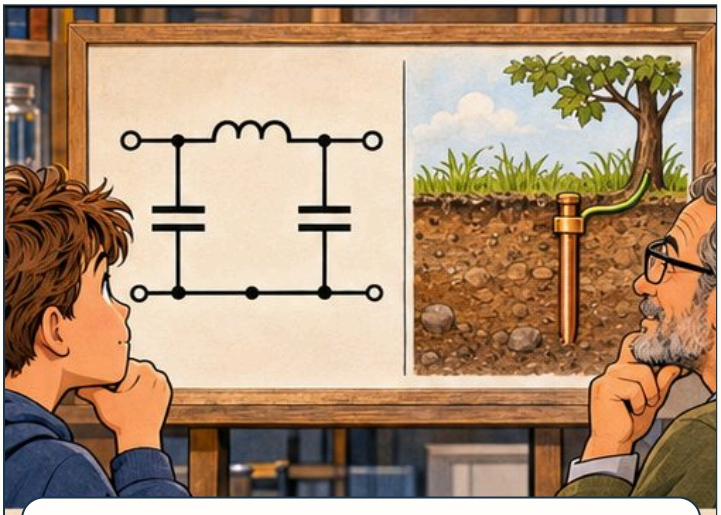
Zem v schéme



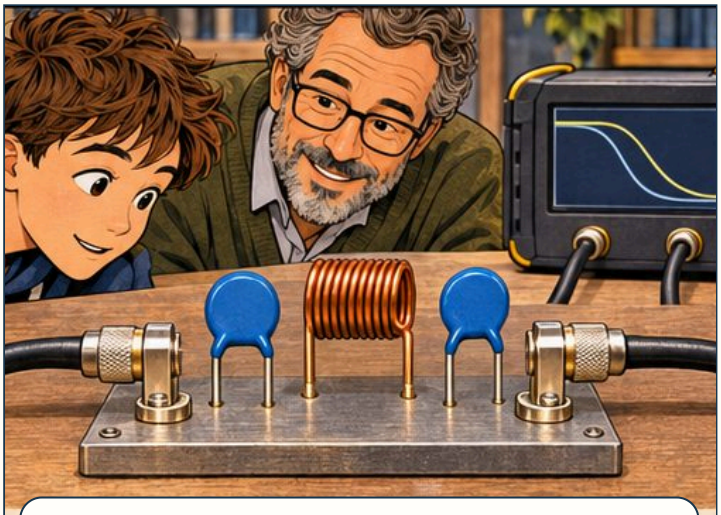
Oba kondenzátory majú spoločný elektrický referenčný bod.



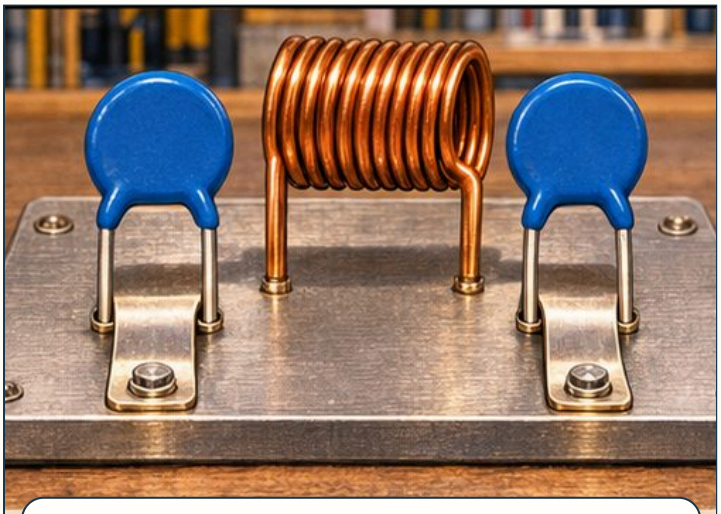
Symbol zeme tu predstavuje túto referenciu zapojenia.



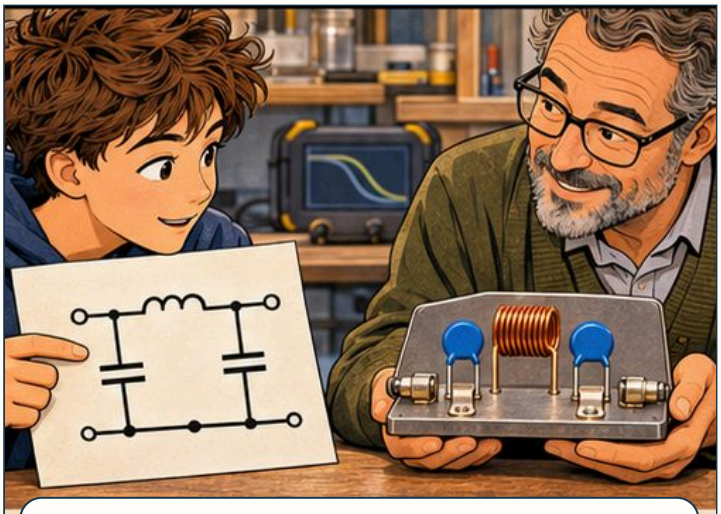
Neznamená automaticky spojenie so zemou pod nohami.



Tienenia koaxiálnych káblov sa pripájajú k tejto referencii podľa schémy.

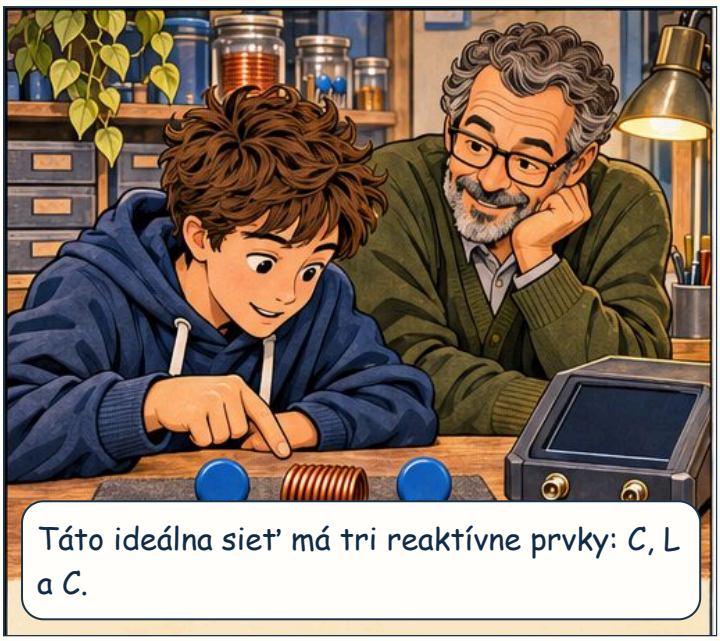


Krátky spoj obmedzuje niektoré parazitné účinky.

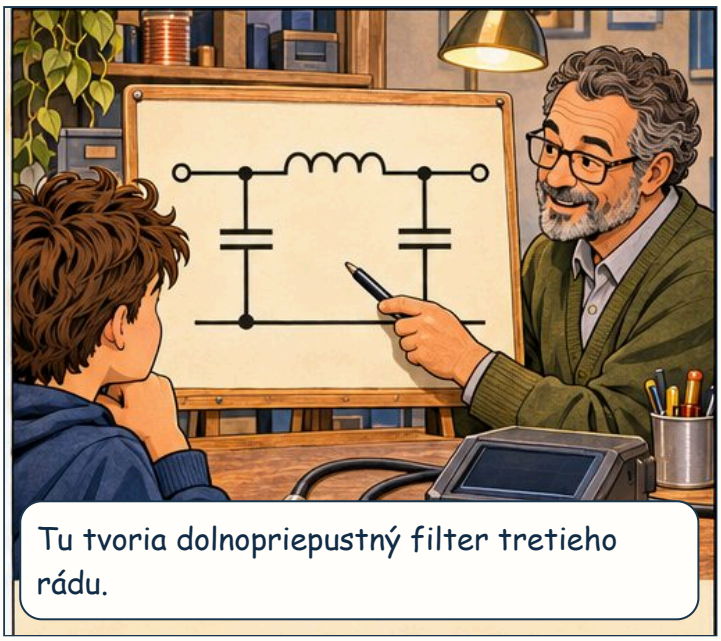


Mladík rozlišuje symbol a jeho konkrétne vyhotovenie.

Tri prvky a rád



Táto ideálna sieť má tri reaktívne prvky: C, L a C.



Tu tvoria dolnopriepustný filter tretieho rádu.



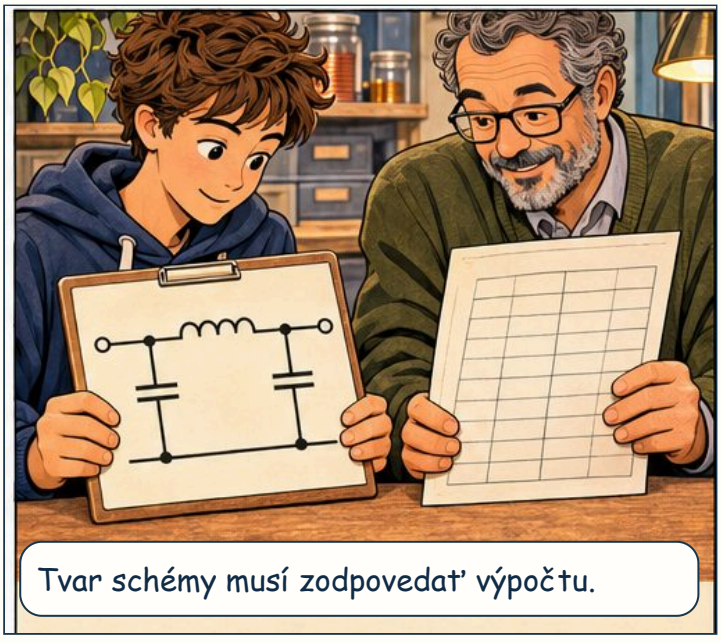
Rád charakterizuje okrem iného vzdialený sklon modelu.



Nesprávne zvolená impedancia by však zmenila charakteristiku.



Náhodné pridávanie súčiastok nevytvorí požadovaný filter.

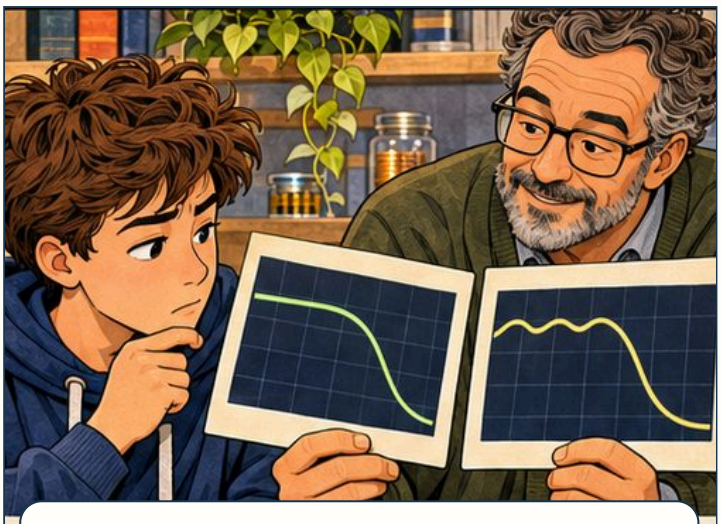


Tvar schémy musí zodpovedať výpočtu.

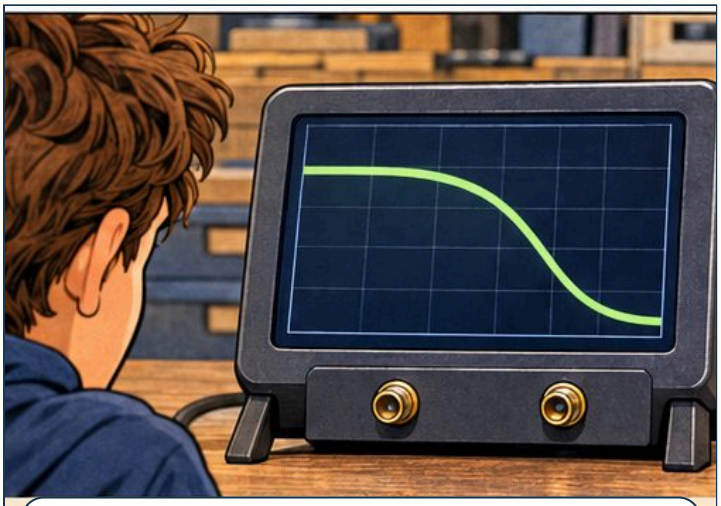
Prečo Butterworth?



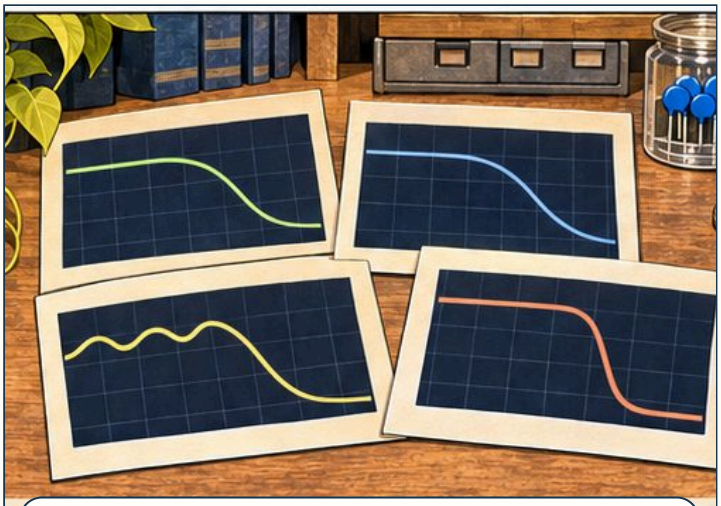
Butterworthova charakteristika je maximálne plochá v priepustnom pásme.



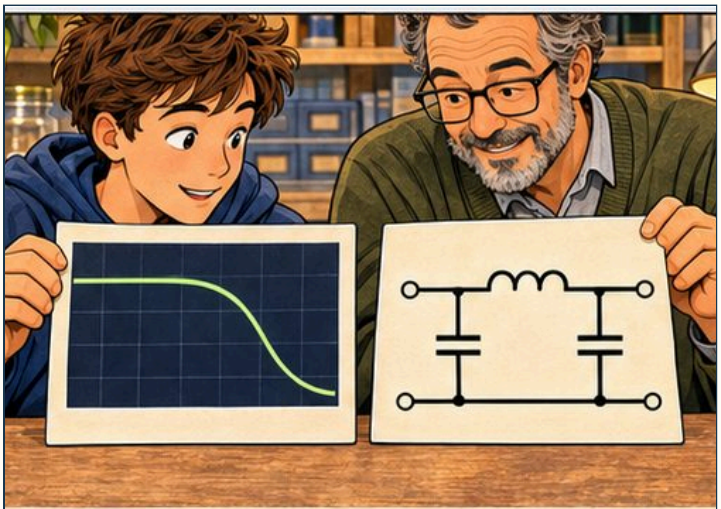
Jej ideálny model v tomto pásme nemá zvlnenie.



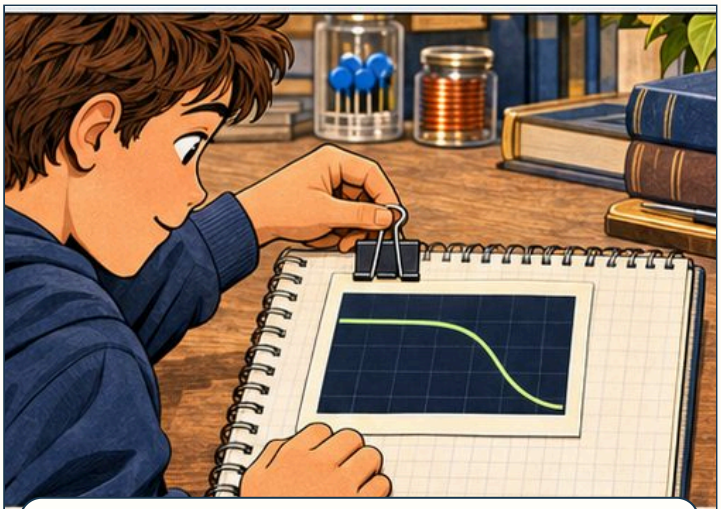
Prechod zostáva postupný s typickým zakrivením.



Iné charakteristiky prijímajú iné kompromisy.

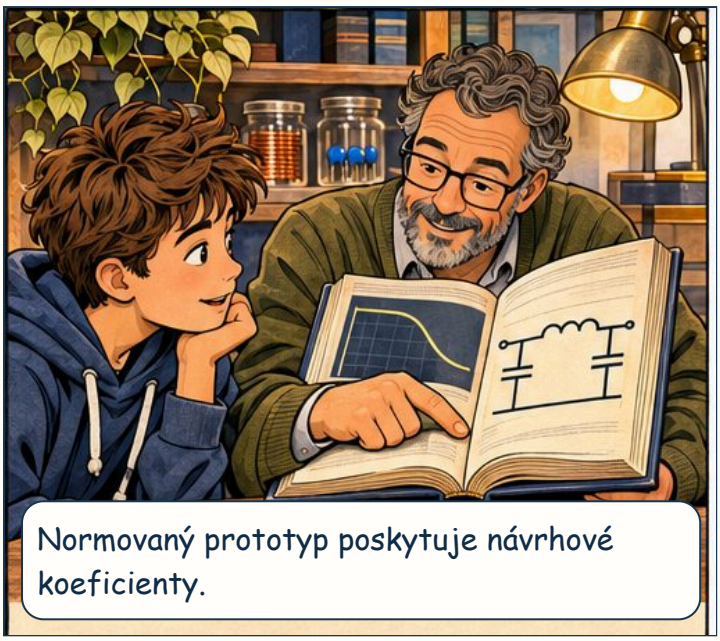


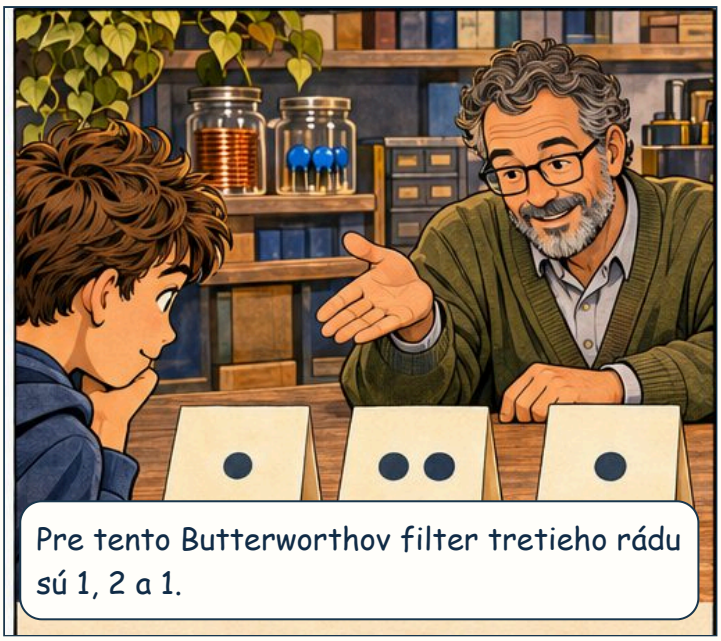
Túto skupinu volia pre prvý prehľadný návrh.



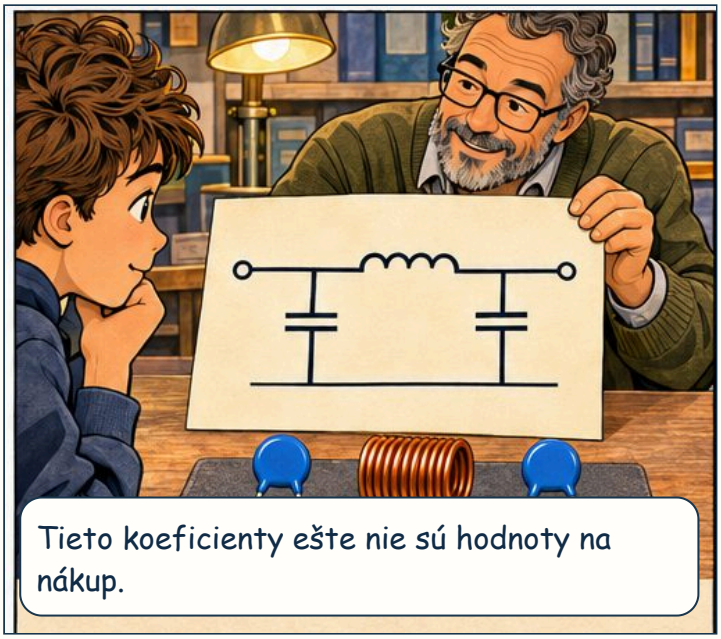
Názov teda spresňuje viac než len slovo dolnopriepustný.

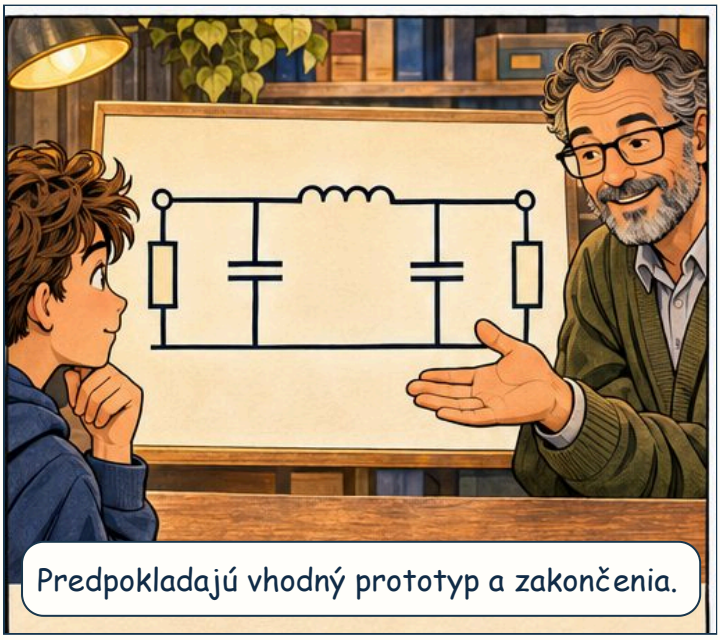
Začať prototypom









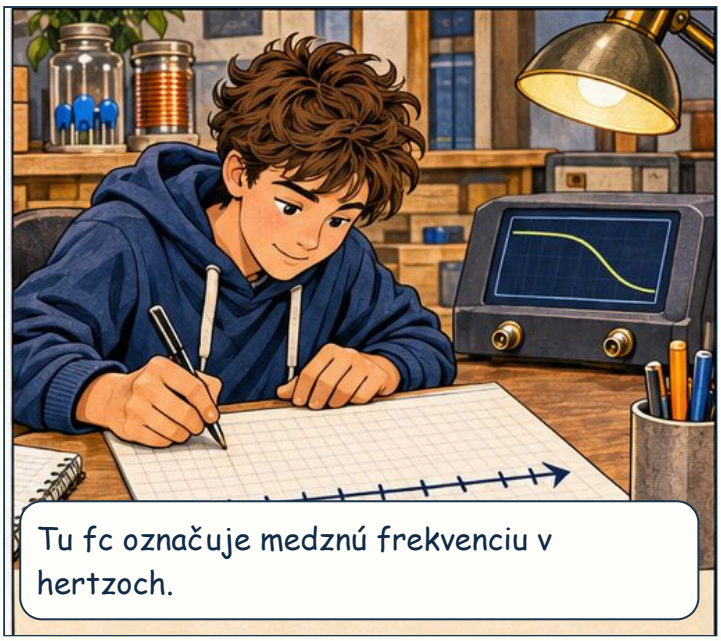




Zmena mierky



Medzná uhlová frekvencia je ωc = 2πfc.



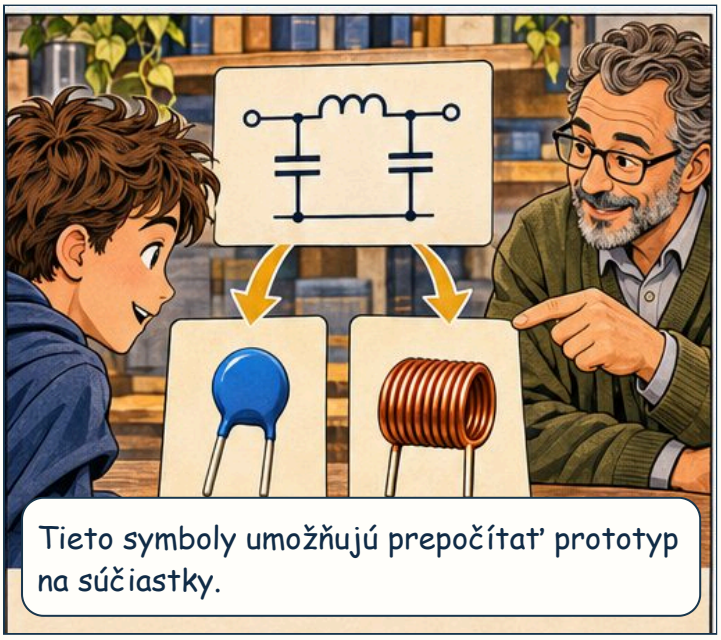
Tu fc označuje medznú frekvenciu v hertzoch.



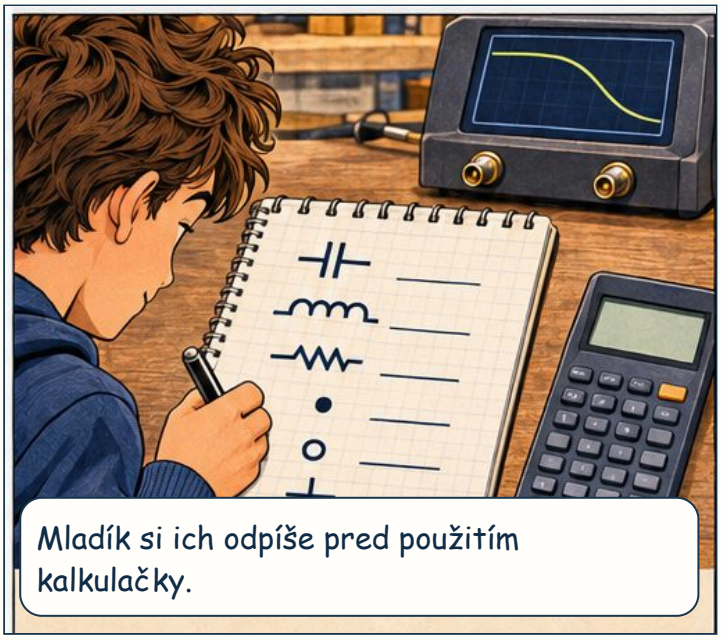
Uhlová frekvencia ωc sa vyjadruje v radiánoch za sekundu.



R bude označovať našu odporovú zakončovaciu impedanciu 50 Ω.



Tieto symboly umožňujú prepočítať prototyp na súčiastky.

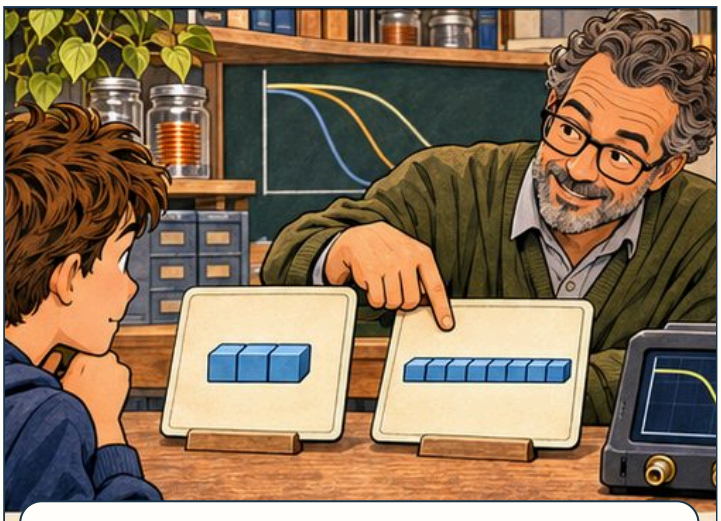


Mladík si ich odpíše pred použitím kalkulačky.

Jednotky pred číslami



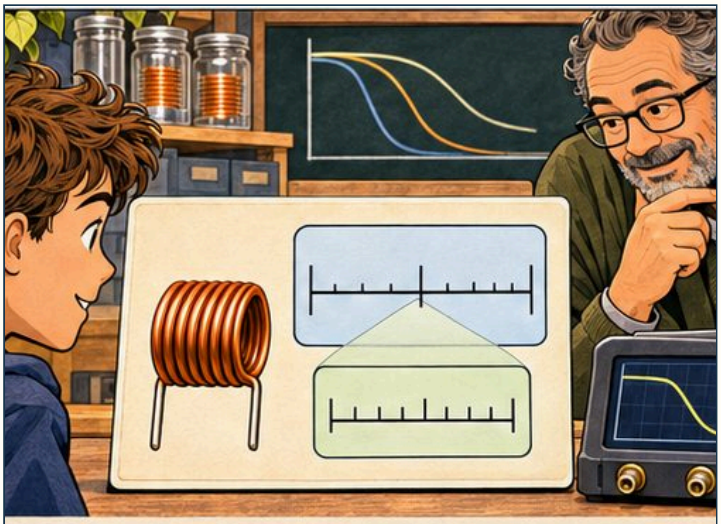
Jeden megahertz je milión hertzov.



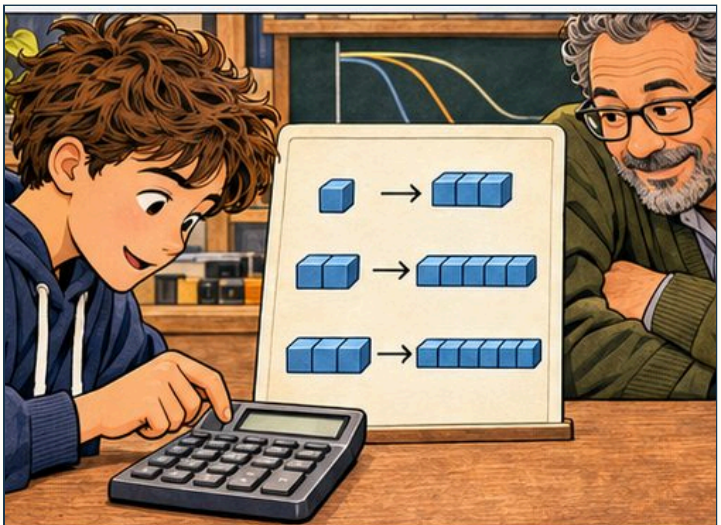
Ich medzných 10 MHz je teda 10 000 000 Hz.



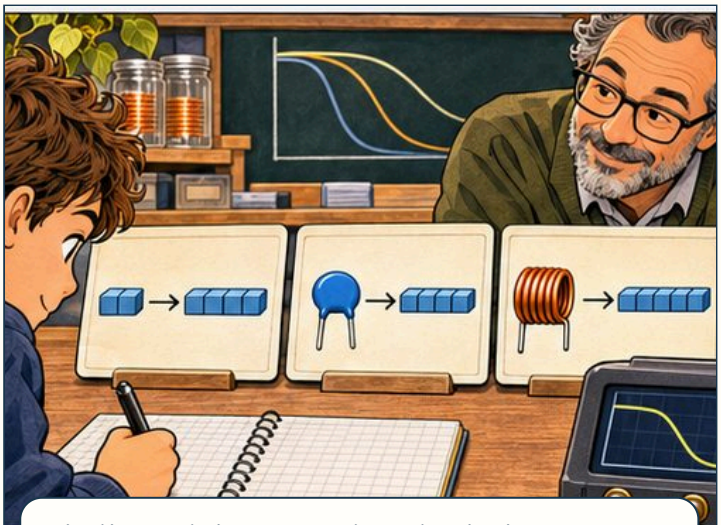
Jeden pikofarad je 10^{-12} F.



Jeden mikrohenry je 10^{-6} H.

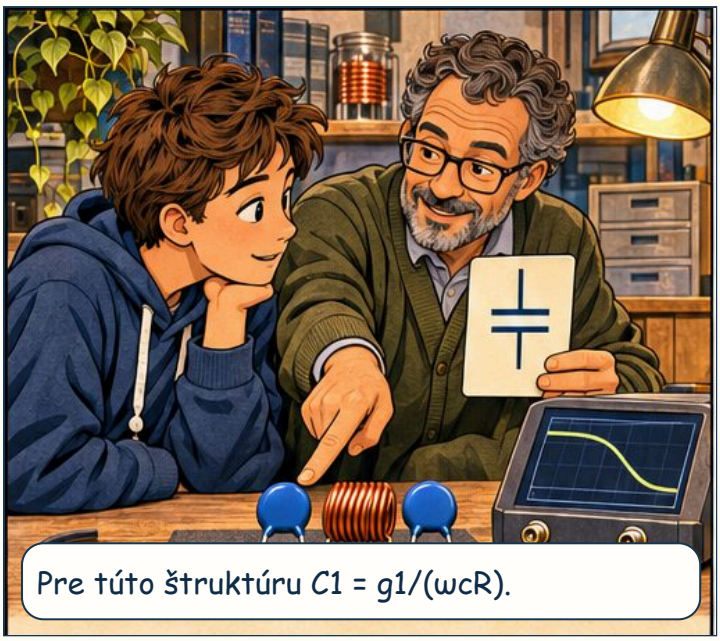


Vzorce najprv použijú základné jednotky.

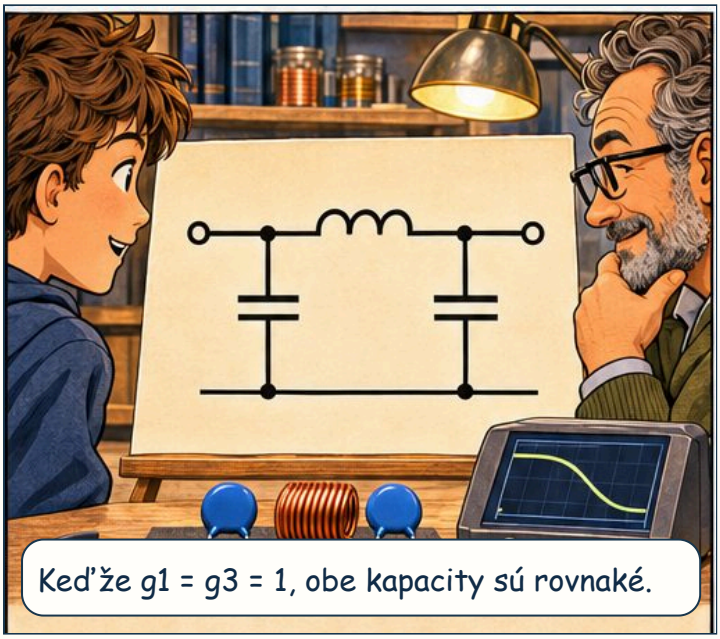


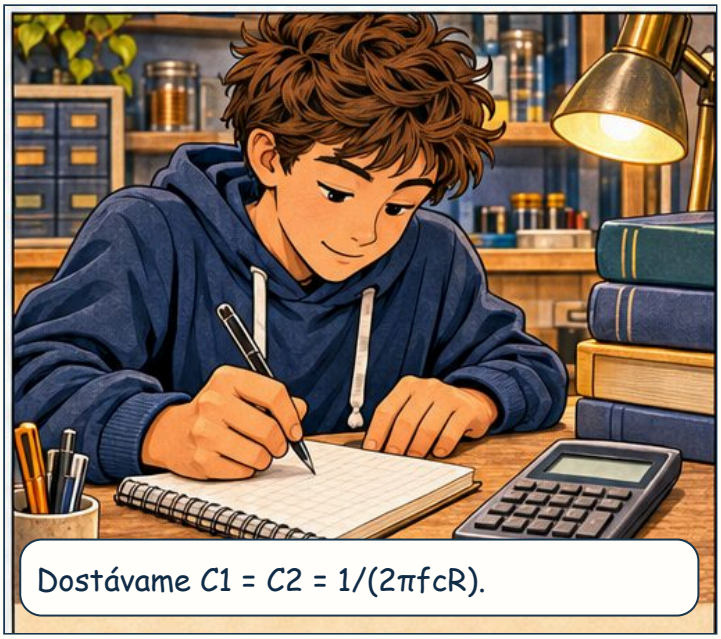
Mladík necháva prevody viditeľné pri výpočtoch.

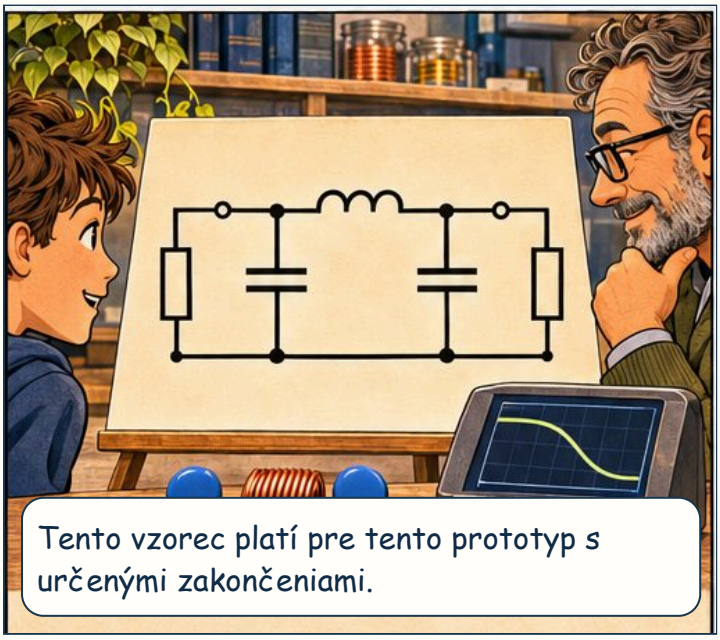
Vzorec pre kondenzátory













Výpočet kapacít



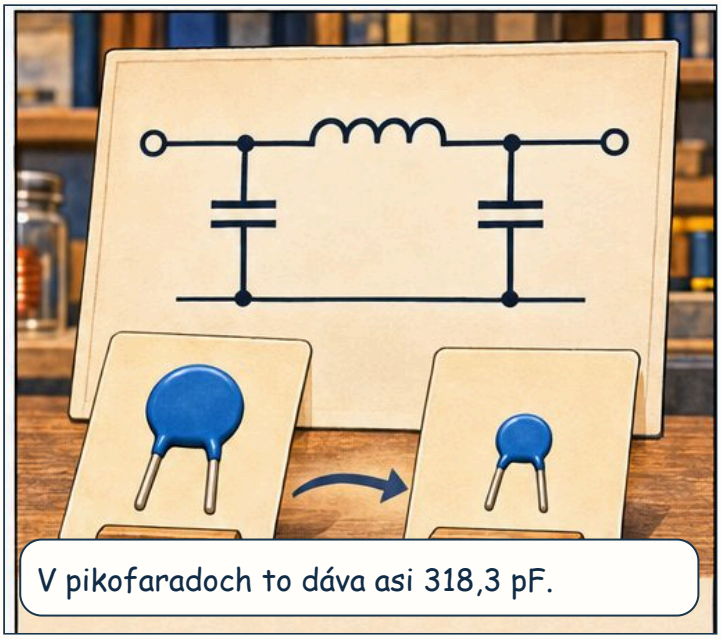
Dosadia fc = 10 000 000 Hz a R = 50 Ω.



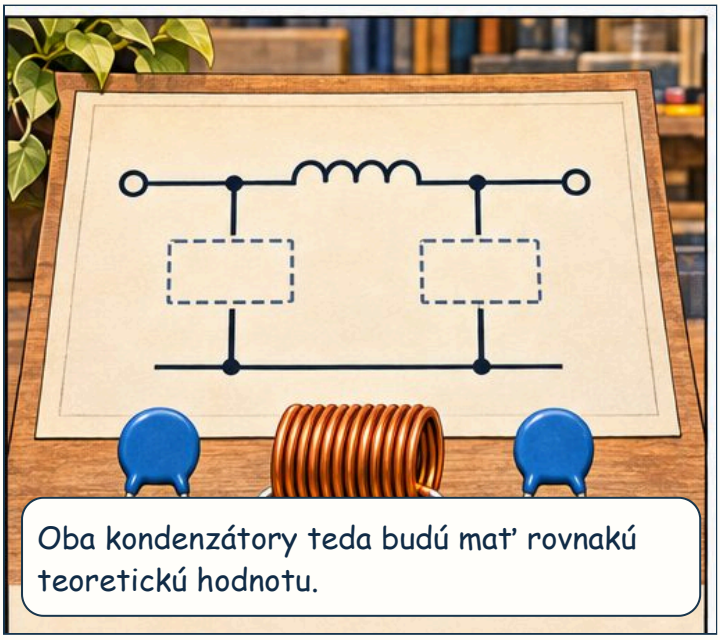
Menovateľ je približne 3,142 × 10^{9}.



Každá ideálna kapacita je približne 3,183 × 10^{-10} F.



V pikofaradoch to dáva asi 318,3 pF.

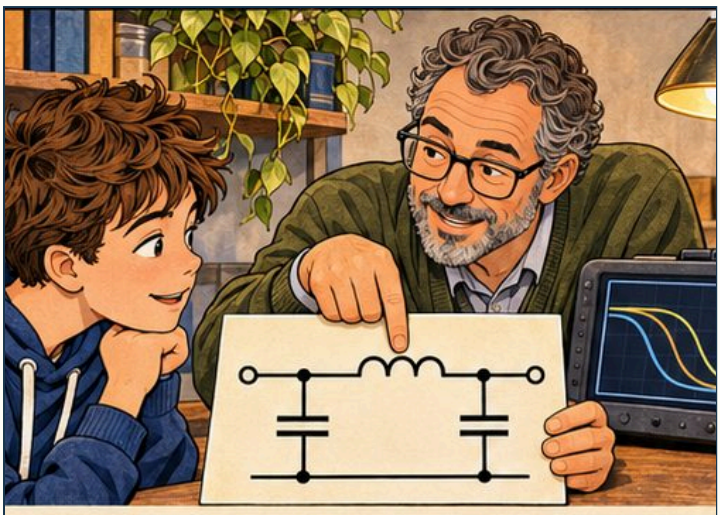


Oba kondenzátory teda budú mať rovnakú teoretickú hodnotu.



Lucas zapisuje výsledok spolu s jednotkou.

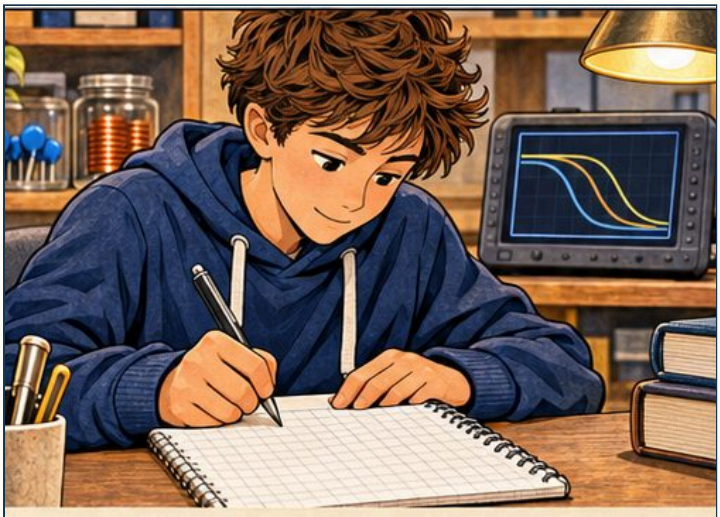
Vzorec pre cievku



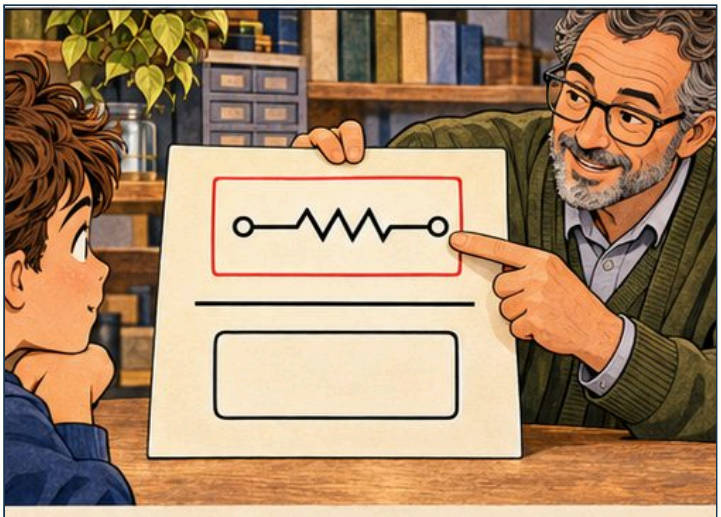
Pre sériovú cievku platí L = g2R/ωc.



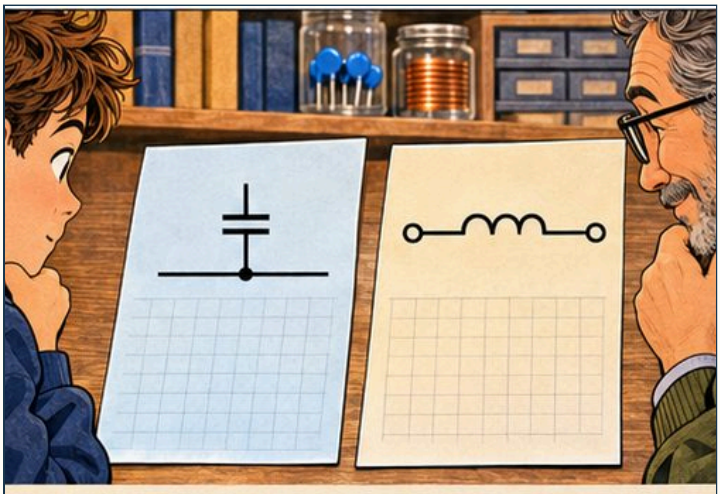
Stredný koeficient je tu g2 = 2.



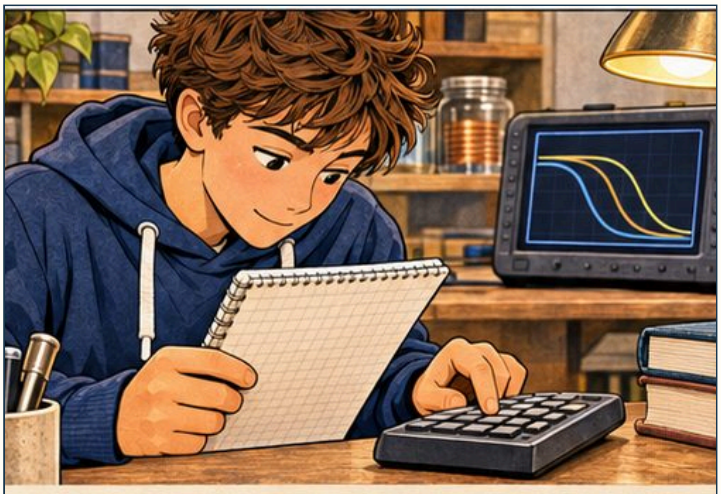
Dostávame teda L = 2R/(2πfc).



Zakončovací odpor je tentoraz v čitateli.

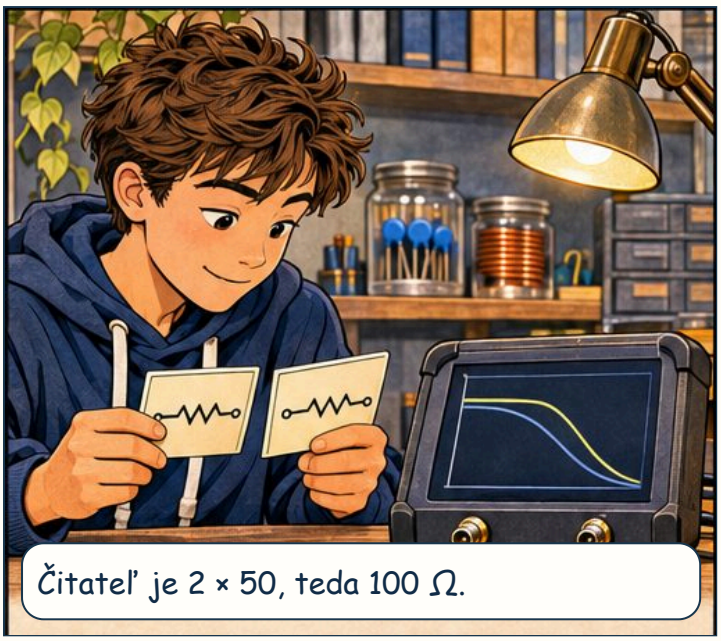


Mladík porovnáva tento vzorec so vzorcom kondenzátorov.

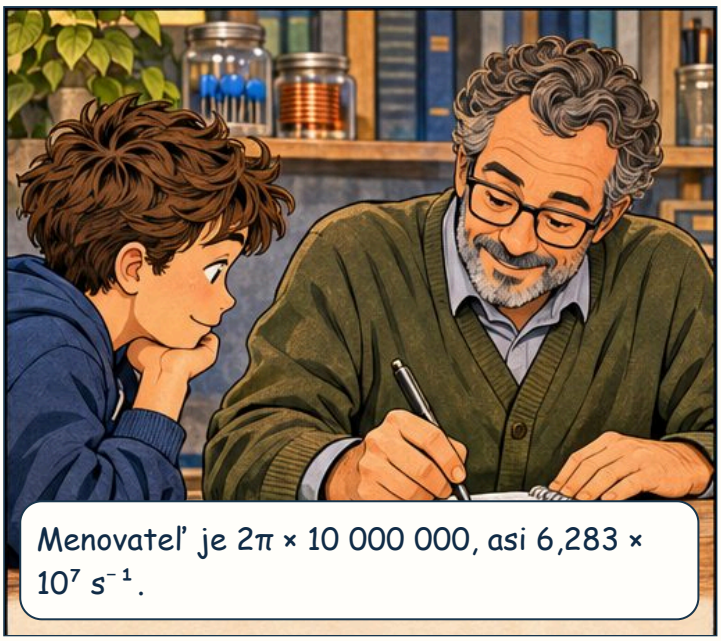


Vizuálna podobnosť nezbavuje povinnosti čítať znova.

Výpočet indukčnosti



Čitateľ je 2 × 50, teda 100 Ω.



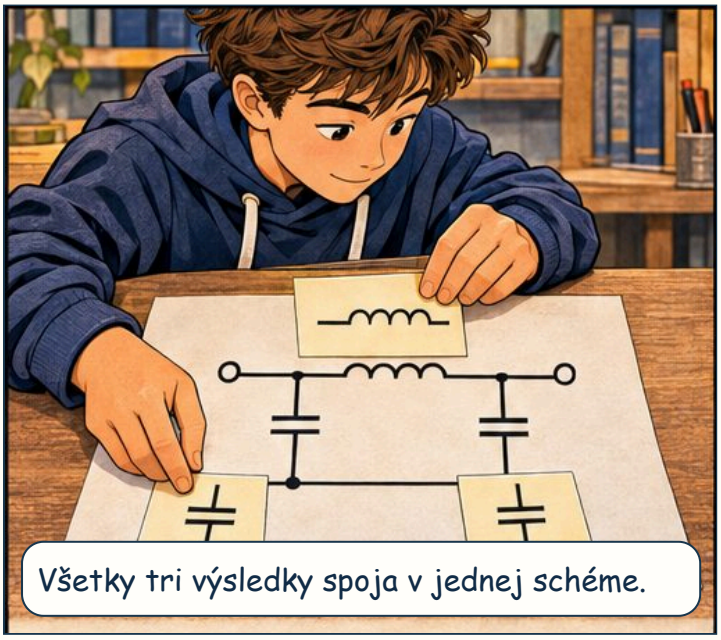
Menovateľ je 2π × 10 000 000, asi 6,283 × 10^{7} s^{-1}.



Výpočet dáva približne 1,592 × 10^{-6} H.



Ideálna cievka teda bude mať indukčnosť asi 1,59 μH.



Všetky tri výsledky spoja v jednej schéme.



Projekt má teraz prvú úplnú definíciu.

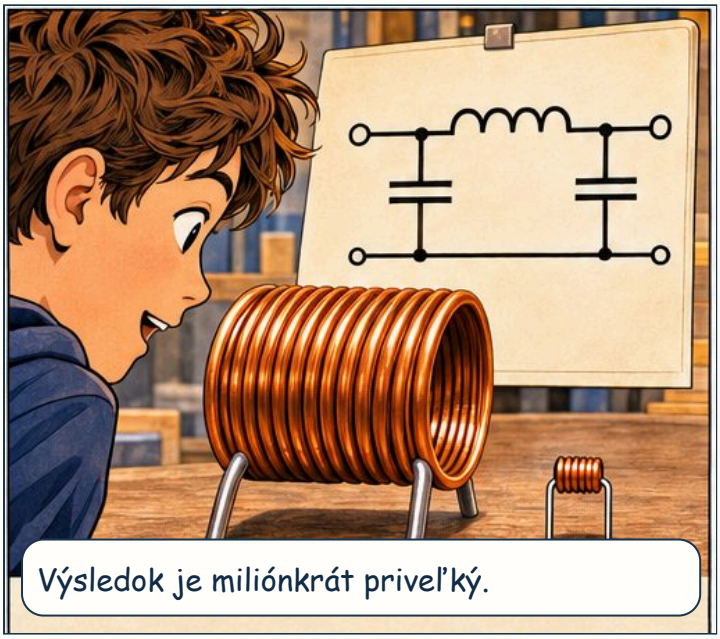
Chyba o milión



Mladík sa pokúša rýchlo zadať výpočet ešte raz.



Zadá 10 namiesto 10 000 000.



Výsledok je miliónkrát priveľký.



Porovnanie s očakávanými súčiastkami hneď odhalí problém.

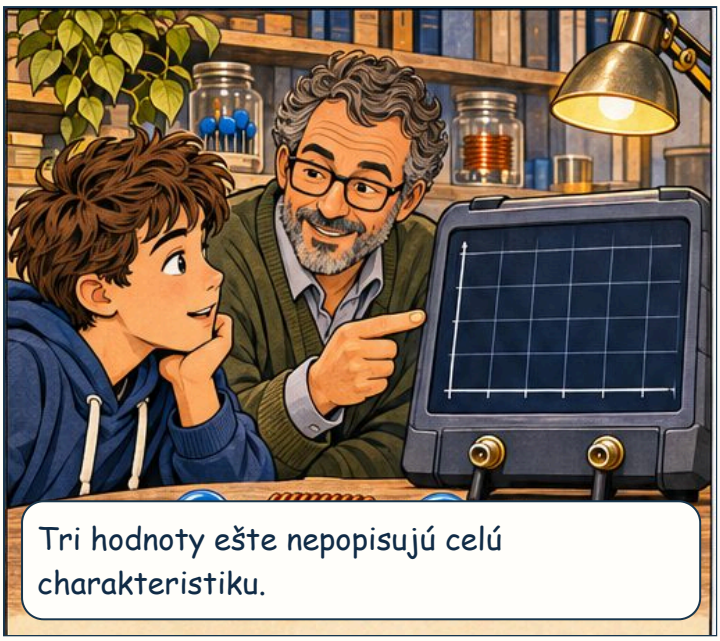


Opraví vstup a samostatne zopakuje výpočet.

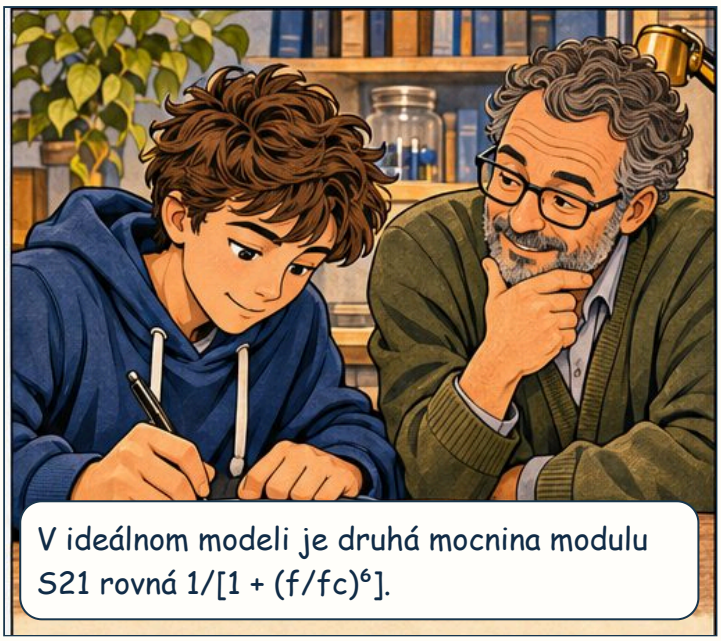


Kontrola rádu veľkosti sa stáva užitočným návykom.

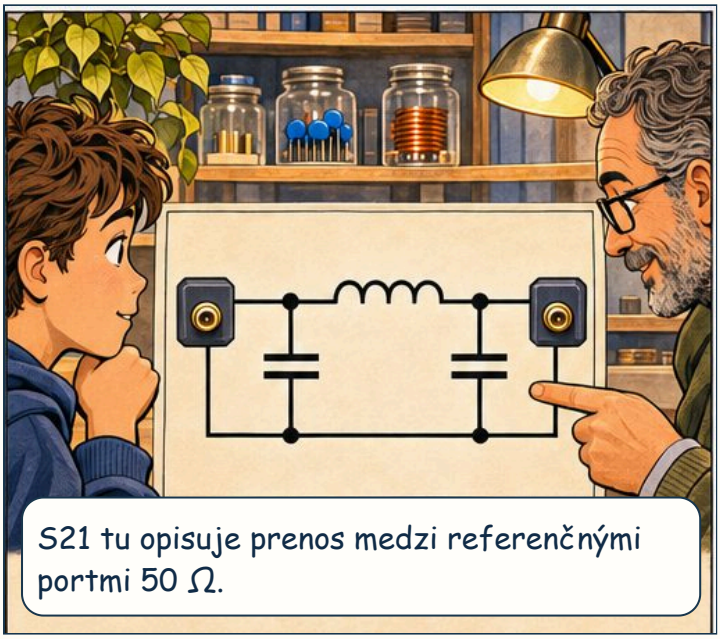
Predpovedať celú krivku



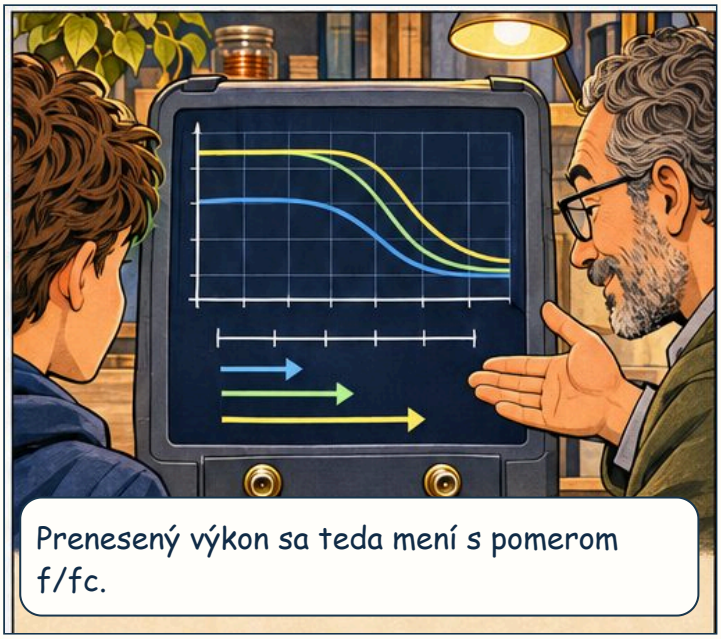
Tri hodnoty ešte nepopisujú celú charakteristiku.



V ideálnom modeli je druhá mocnina modulu S21 rovná $1/[1 + (f/fc)^6]$.



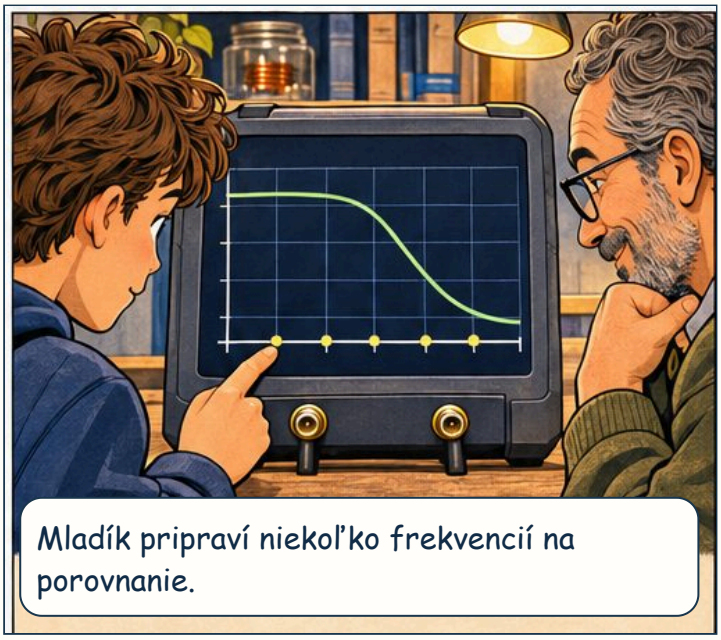
S21 tu opisuje prenos medzi referenčnými portmi 50 Ω.



Prenesený výkon sa teda mení s pomerom f/fc.



Teoretická krivka slúži ako orientácia pred meraním.



Mladík pripraví niekoľko frekvencií na porovnanie.

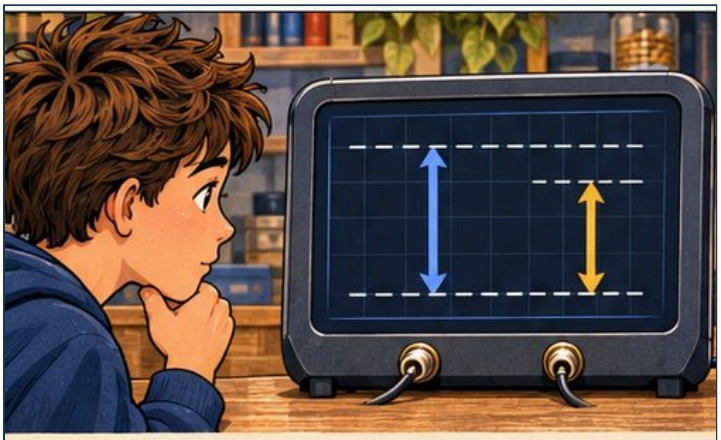
Čo znamená mínus tri decibely?



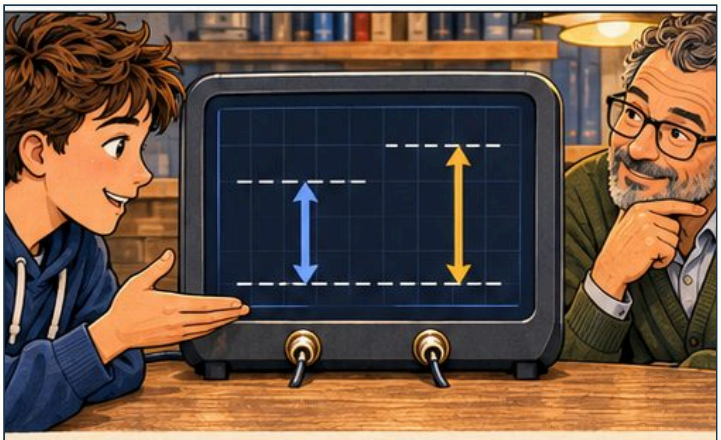
Pri f = fc je ideálny pomer preneseného výkonu 1/2.



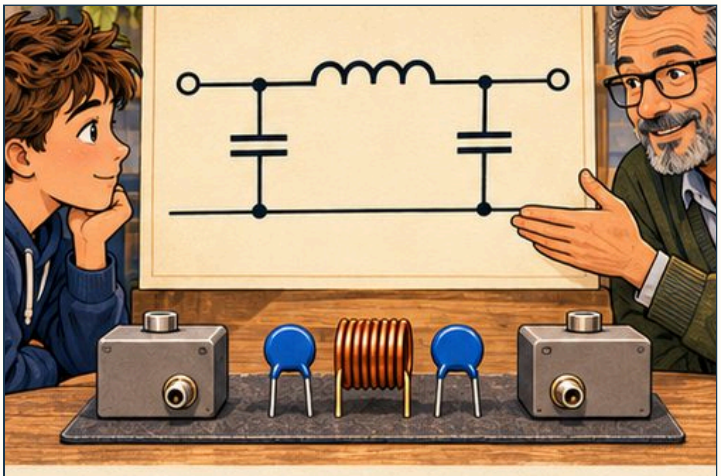
V decibeloch dáva 10 log10(1/2) približne −3,01 dB.



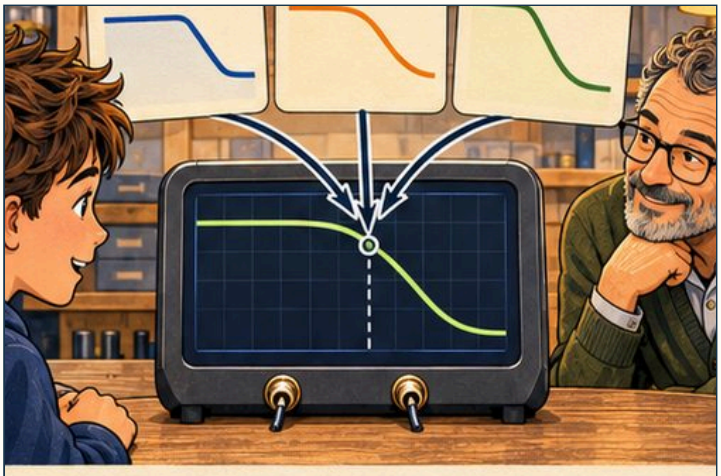
Modul S21 je vtedy približne 0,707.



Táto amplitúda teda nie je polovica.



Výpočet používa vhodné referencie 50 Ω.

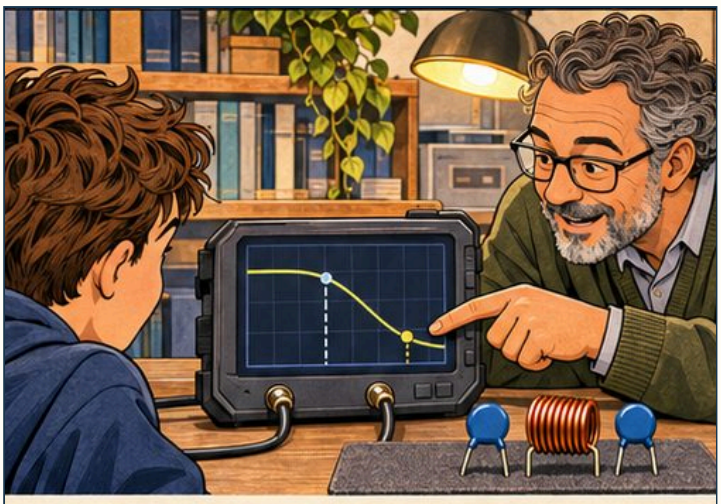


Mladík spája tri zápisy toho istého bodu krivky.

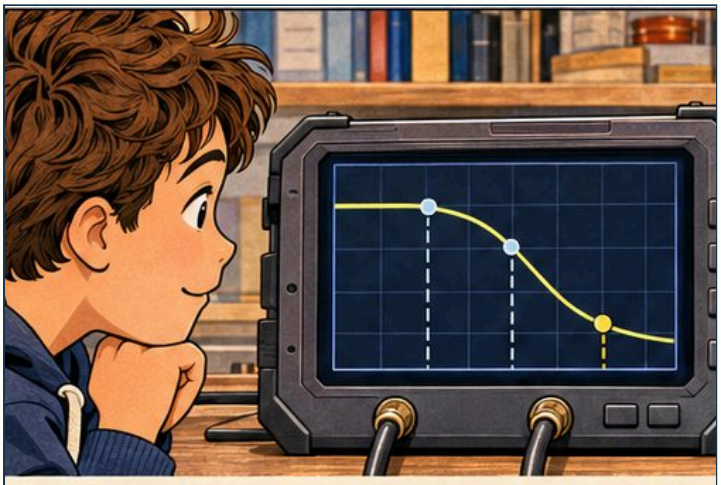
Nad medznou frekvenciou



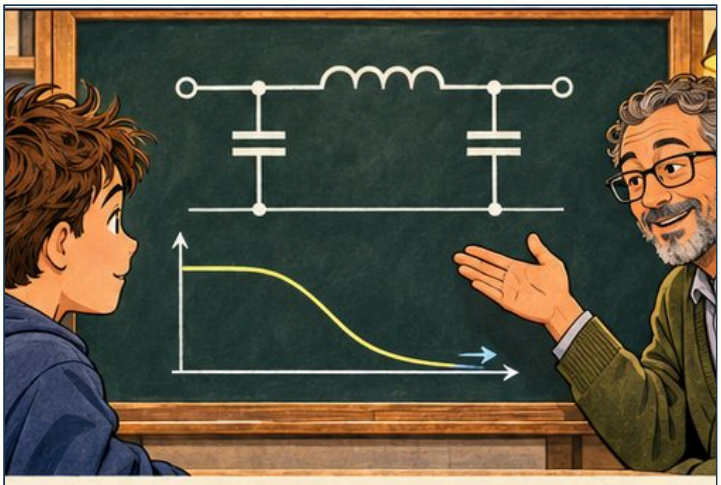
Pri 20 MHz je f/fc rovné 2.



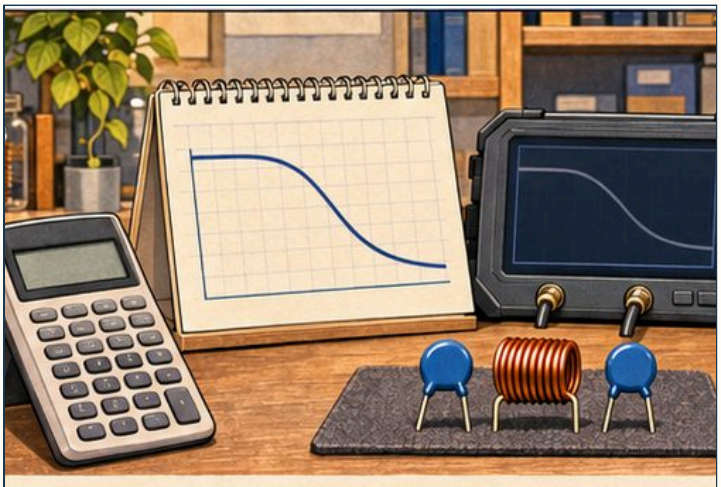
Ideálny prenos je približne −18,13 dB.



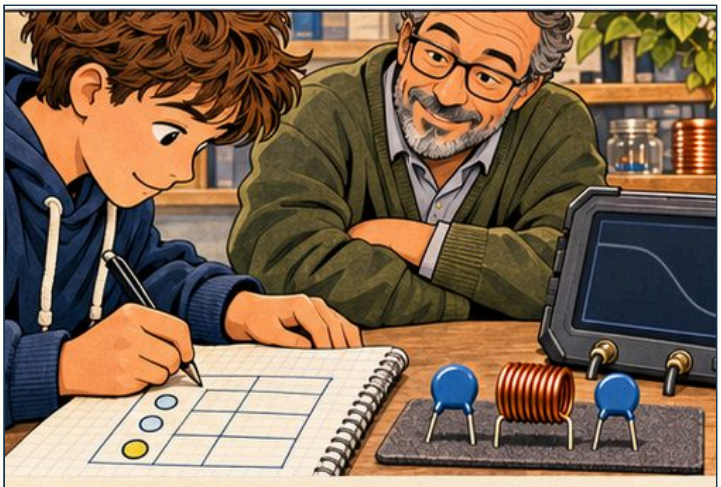
Pri 30 MHz je f/fc rovné 3: asi −28,63 dB.



Útlm rastie, ale zostáva konečný.

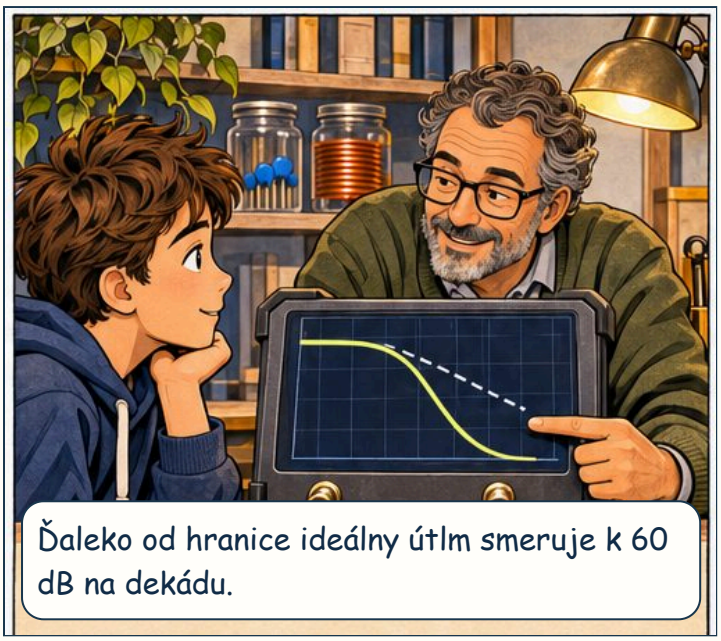


Tieto čísla sú vypočítané, nie namerané na ich zapojení.



Mladík ich vloží do stĺpca predpovedí.

Sklon nie je sľub





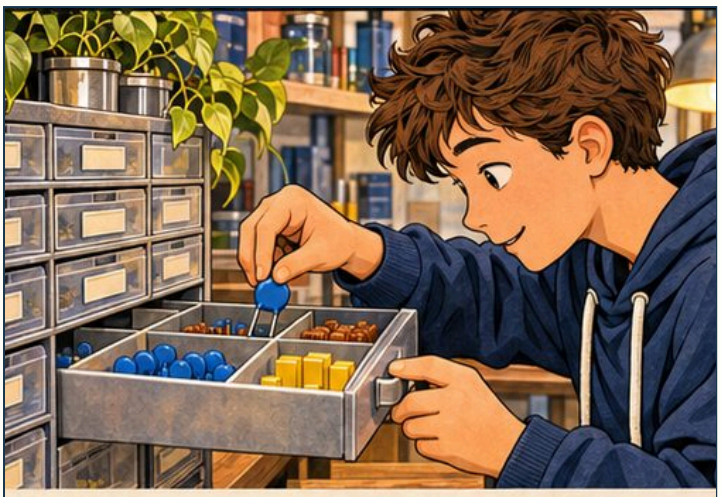




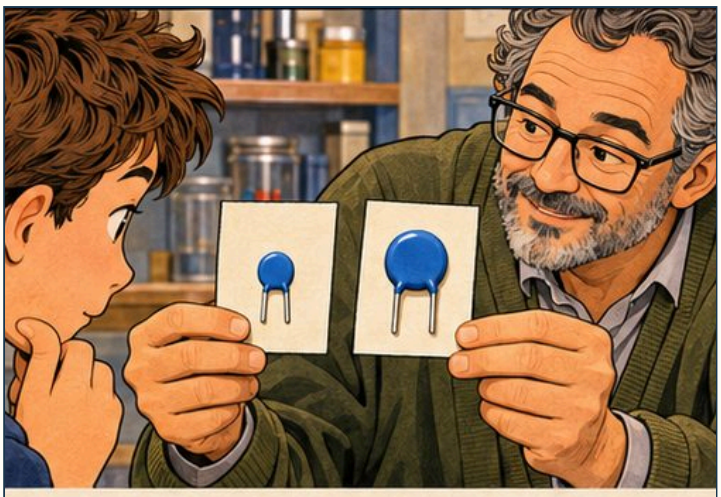




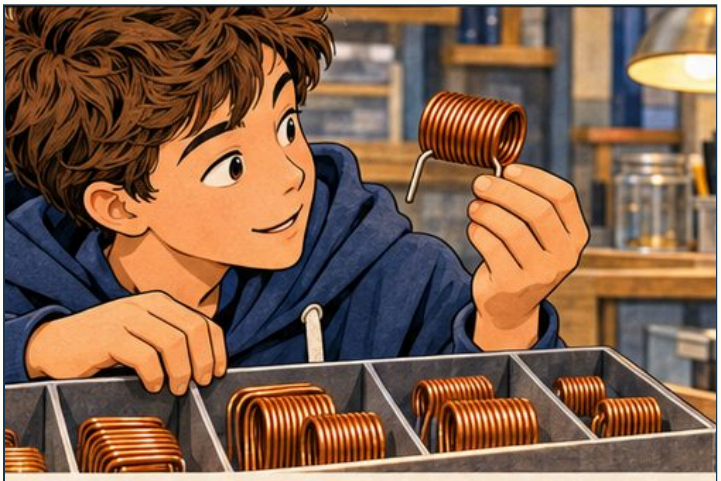
Dostupné hodnoty



Zásuvka nemusí obsahovať kondenzátory 318,3 pF.



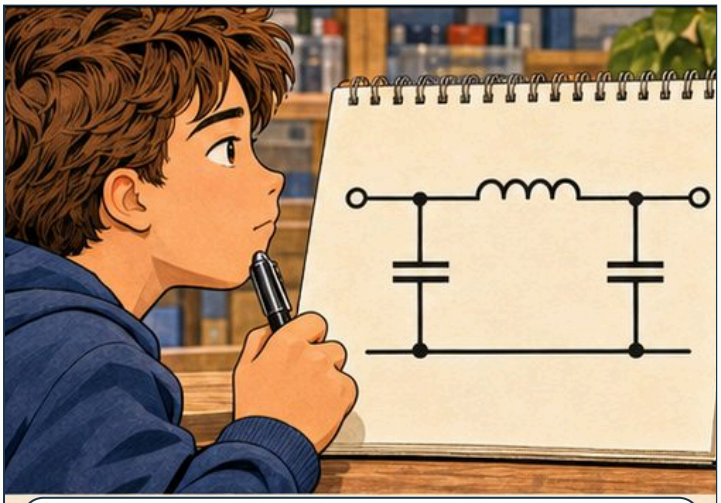
Bežná hodnota 330 pF nie je totožná.



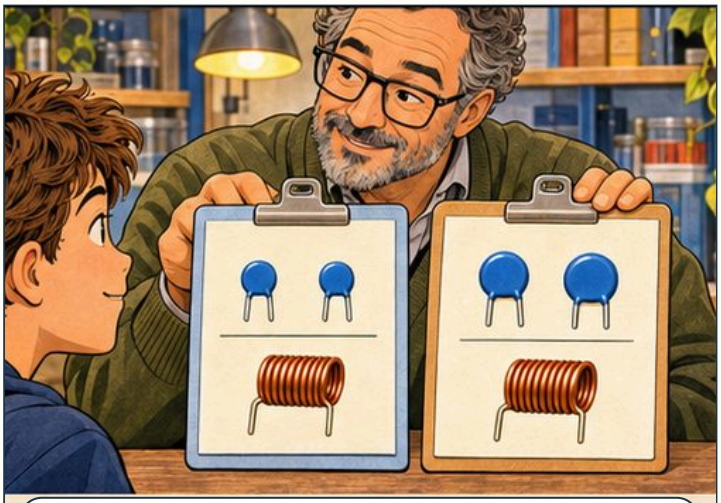
Cievka 1,6 µH sa blíži vypočítanej hodnote.



Ich výber vyžaduje prepočet alebo simuláciu charakteristiky.

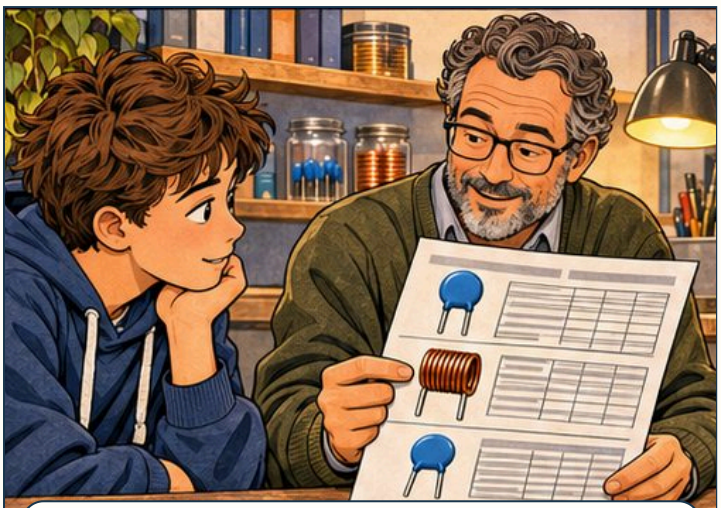


Zapojenie nemožno automaticky nazvať presne 10 MHz.



Mladík uchováva ideálne a zvolené hodnoty oddelene.

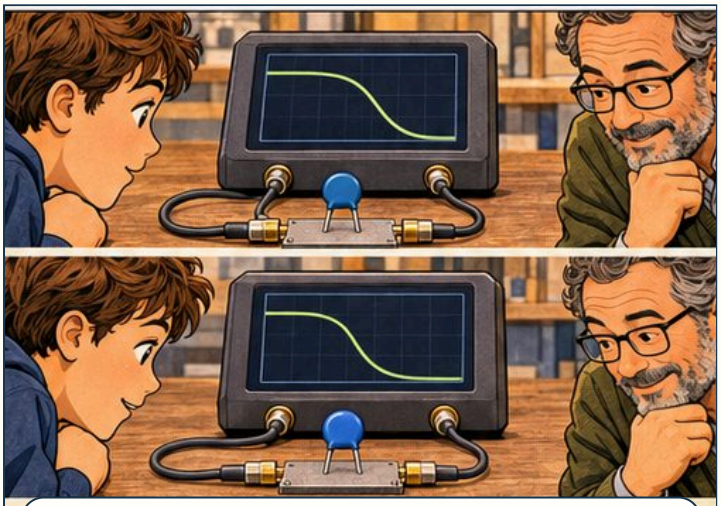
Každá súčiastka má toleranciu



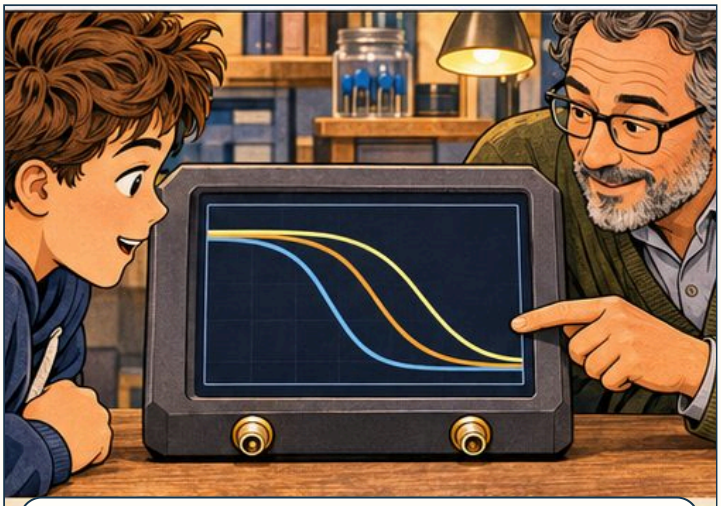
Menovitá hodnota nie je zaručená presná hodnota.



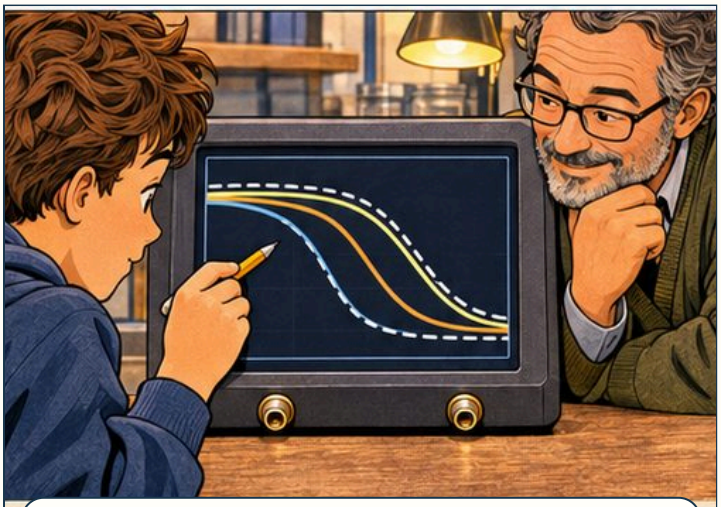
Tolerancie kondenzátorov aj cievky sú dôležité.



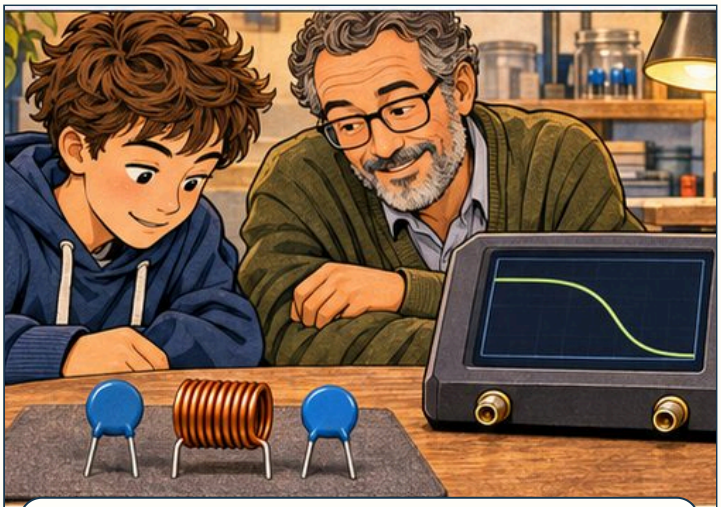
Dve súčiastky s rovnakým nápisom sa môžu mierne líšiť.



Simulácia môže preskúmať viaceré kombinácie hodnôt.



Pomáha predvídať rozsah možných charakteristík.



Meranie potom preskúma skutočne použité súčiastky.

Skryté súčiastky



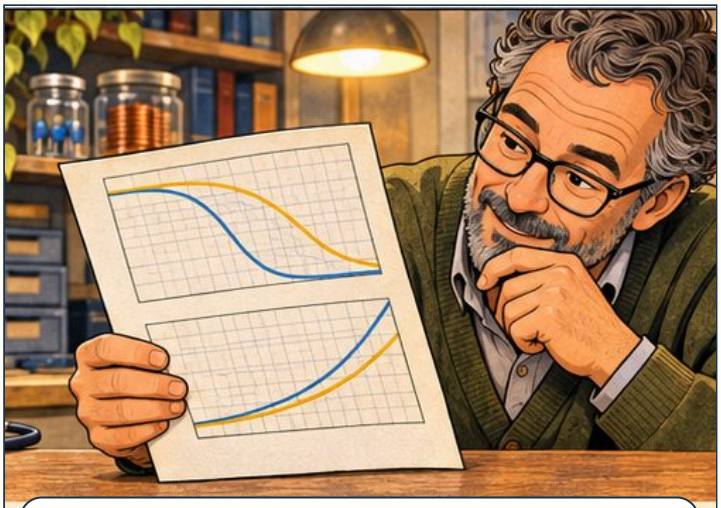
Skutočná cievka má aj odpor a parazitnú kapacitu.



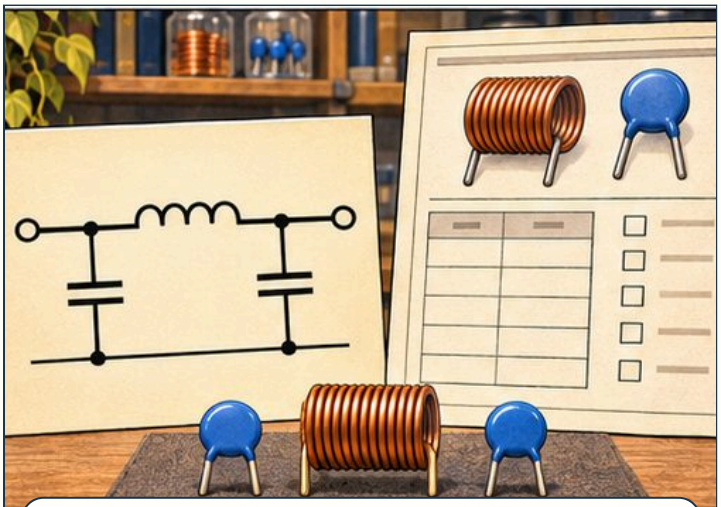
Kondenzátor má okrem iného straty a parazitnú indukčnosť.



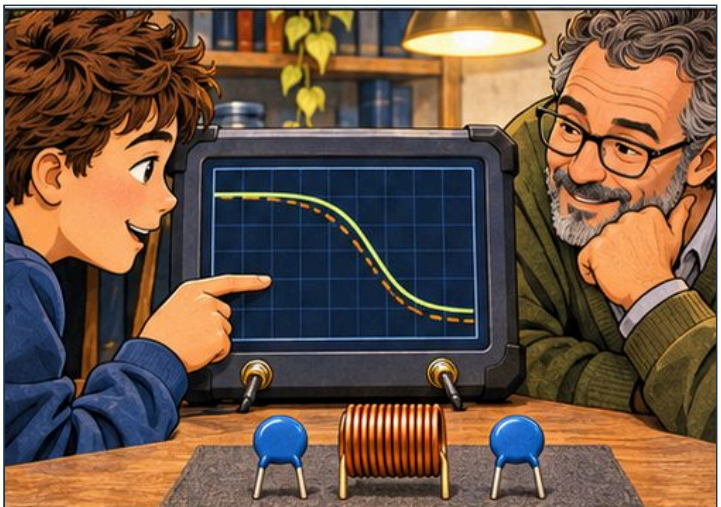
Ich správanie sa mení pri priblížení k určitým rezonanciám.



Katalógové listy uvádzajú hranice, ktoré treba preskúmať.



Samotná hodnota v pikofaradoch či mikrohenryoch nestačí.

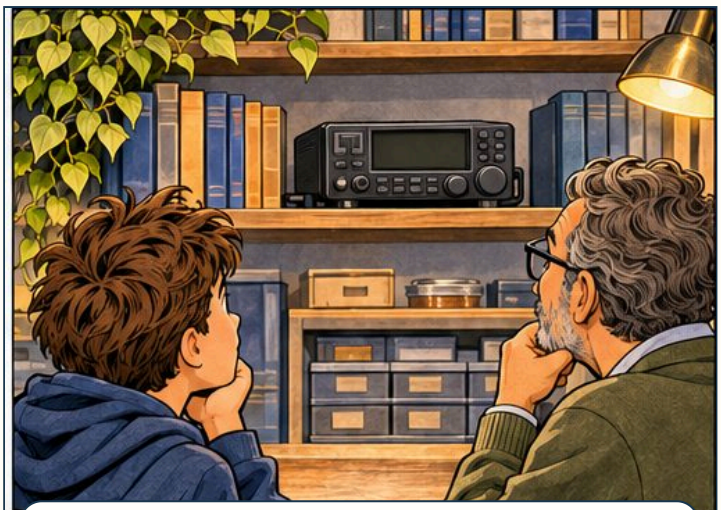


Mladík sa učí čítať ďalej než prvý riadok.

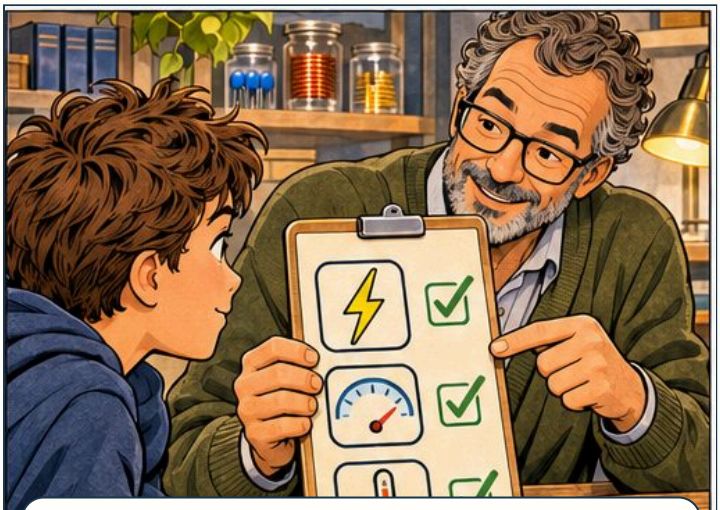
Merací stôl nekvalifikuje vysielač



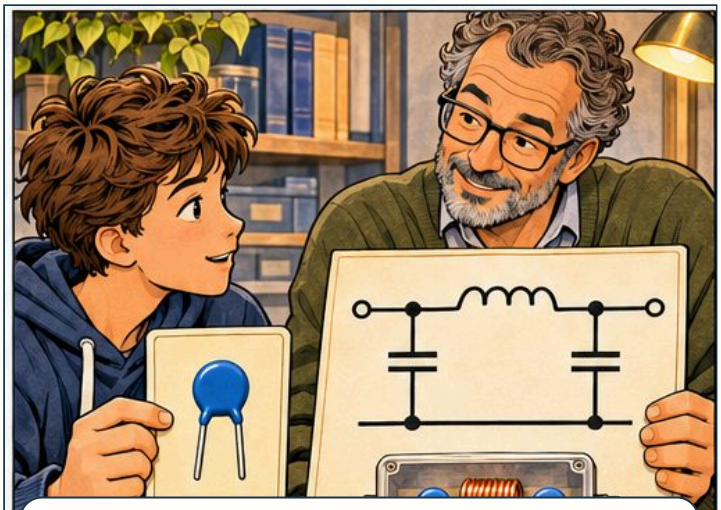
Demonštračný modul dostáva iba slabý signál určený analyzátorom.



Použitie pri vysielaní by vyžadovalo ďalšie overenia.



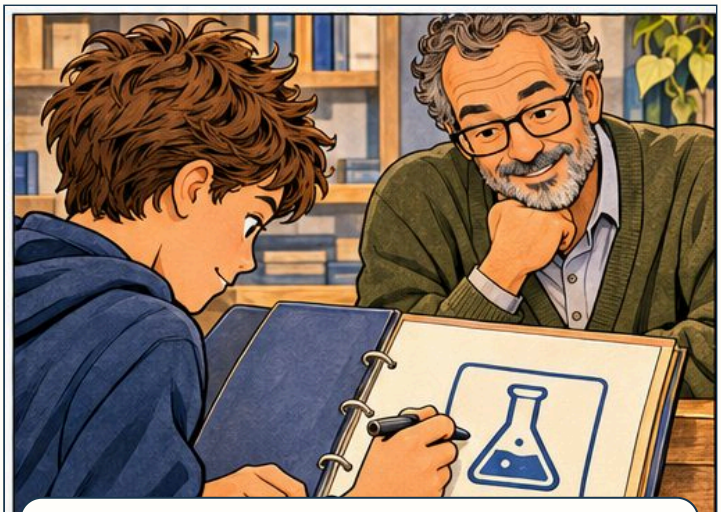
Bolo by treba skúmať napätia, prúdy, zahrievanie a prípustný výkon.



Odolnosť jedného kondenzátora nepotvrdzuje vhodnosť celého filtra.



Táto dielňa neobsahuje žiadnu výkonovú skúšku.



Mladík jasne zapisuje hranice svojho výrobku.

Návrh rozmiestnenia

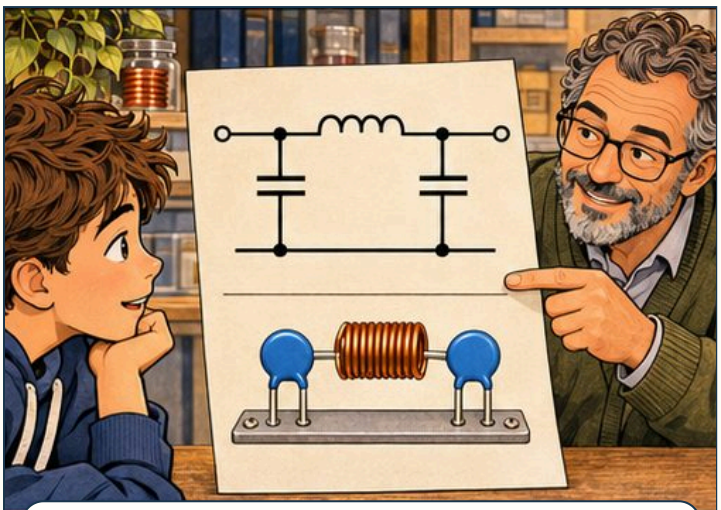
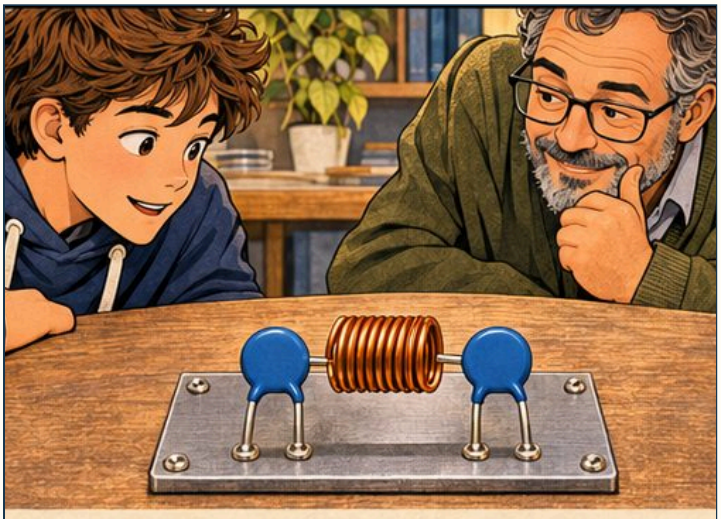


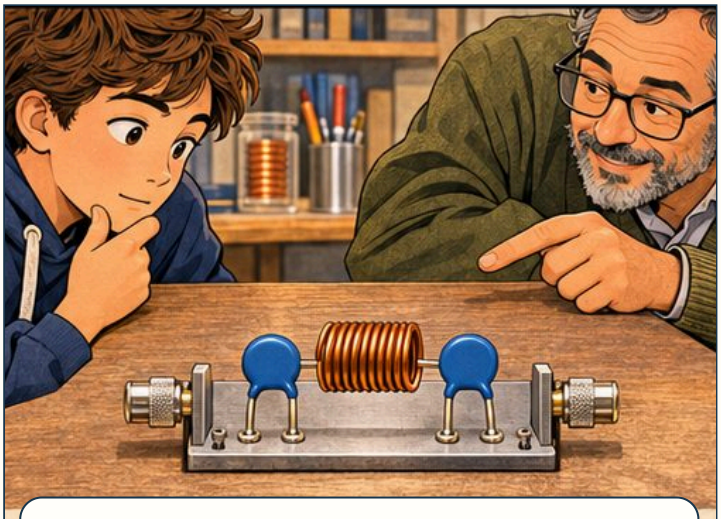
Schéma ukazuje spojenia, ale nie celú ich geometriu.



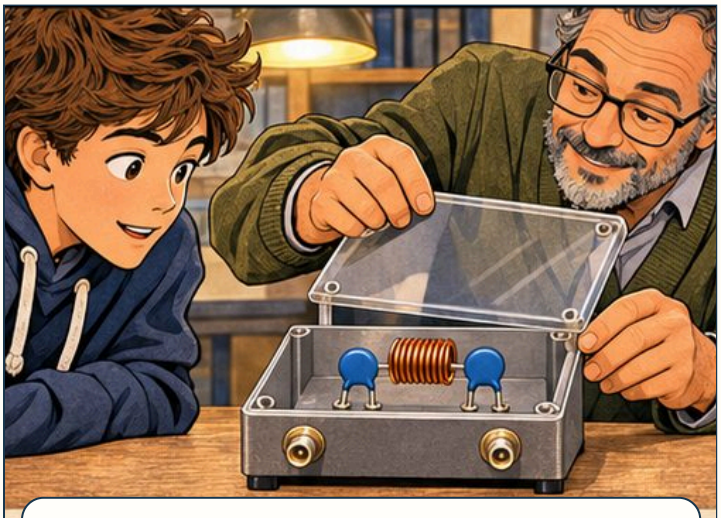
Pri týchto frekvenciách môžu dĺžky spojov a rozmiestnenie zavážiť.



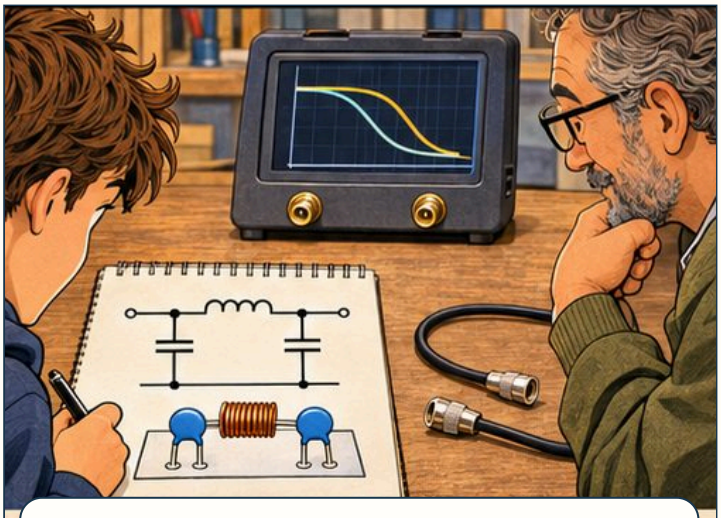
Navrhnú spoločnú zem a krátke spojenia.



Oddelia aj trasy, ktoré by sa mohli priamo väzbiť.

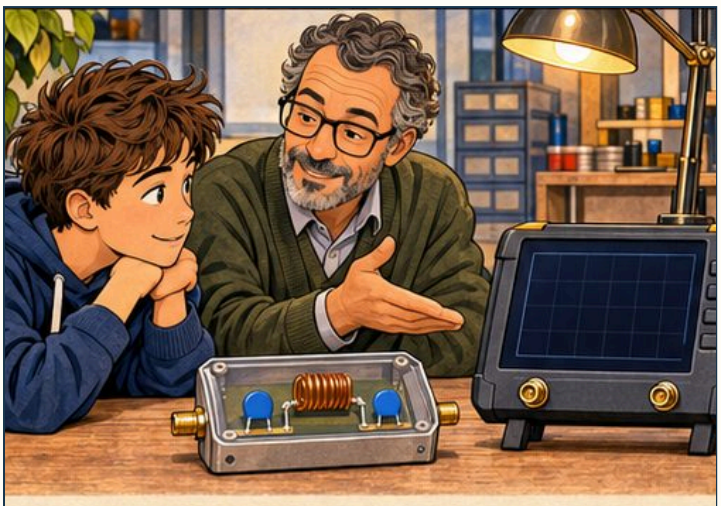


Henri pripraví demonštračný modul vhodný na meranie.

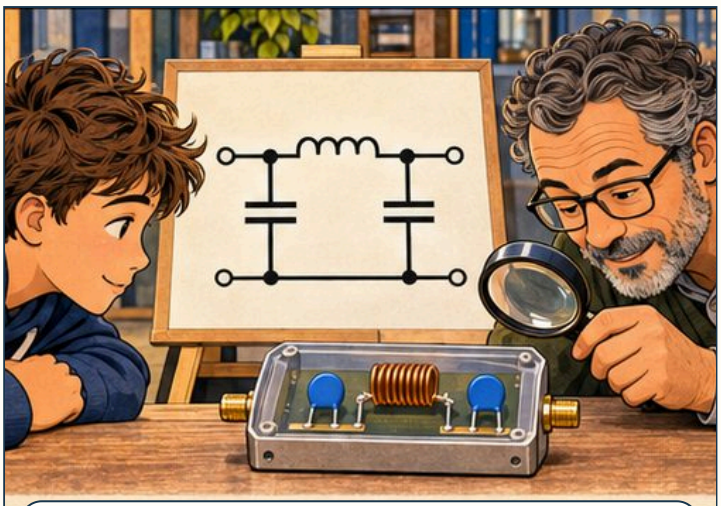


Lucas porovnáva rozmiestnenie so schémou spoj po spoji.

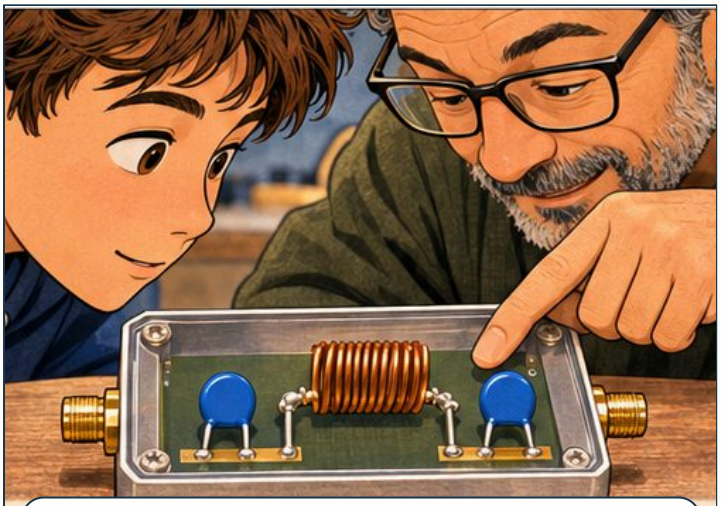
Overiť pred pripojením



Počas prípravy zostáva merací zdroj vypnutý.



Kontrolujú spojenia, súčiastky a spoločnú referenciu.



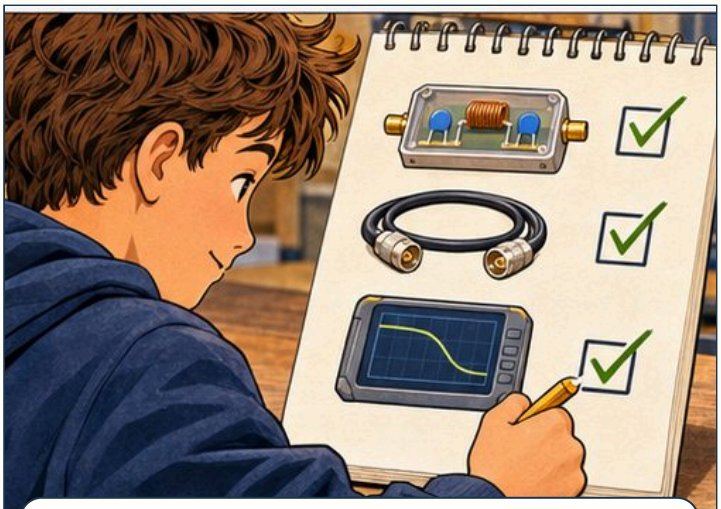
Hľadajú skrat, nesprávne zapojenie či poškodenú súčiastku.



Prehliadnu aj konektory a káble.



Mentor overí vstupné limity prístroja.

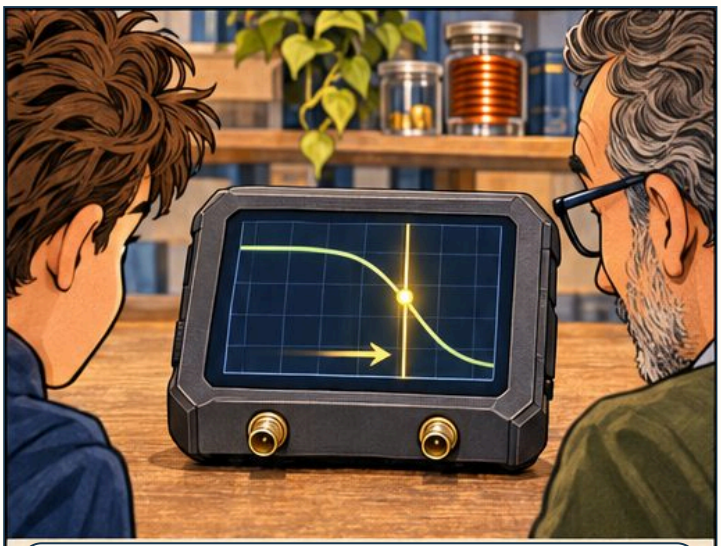


Mladík dokončí zoznam pred prvým frekvenčným prebehom.

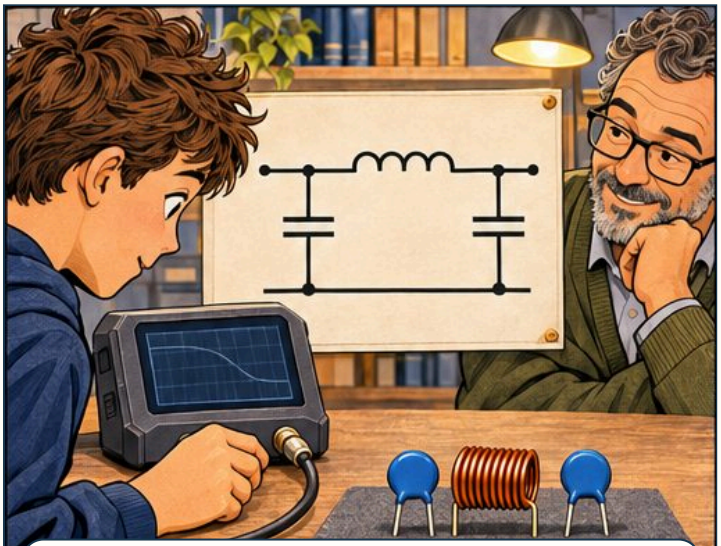
Analyzátor kladie otázky



Sieťový analyzátor vysiela známy slabý signál.



Prechádza vybraným frekvenčným rozsahom.



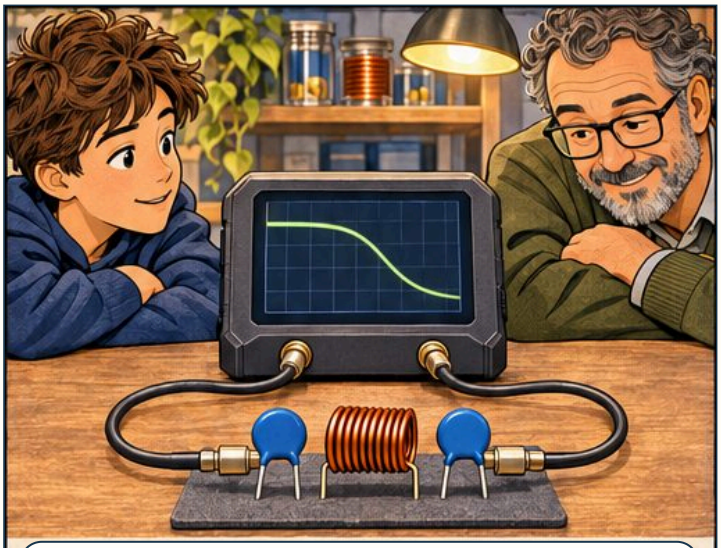
Port 1 napája vstup filtra.



Port 2 sleduje prenos na jeho výstupe.



Parameter S21 umožňuje sledovať tento prenos.



Porty poskytujú určené referencie 50 Ω.

Kalibrácia na správnom mieste



Káble a adaptéry sa zúčastňujú na meraní.



Preto dodržiavajú kalibračný postup určený prístrojom.



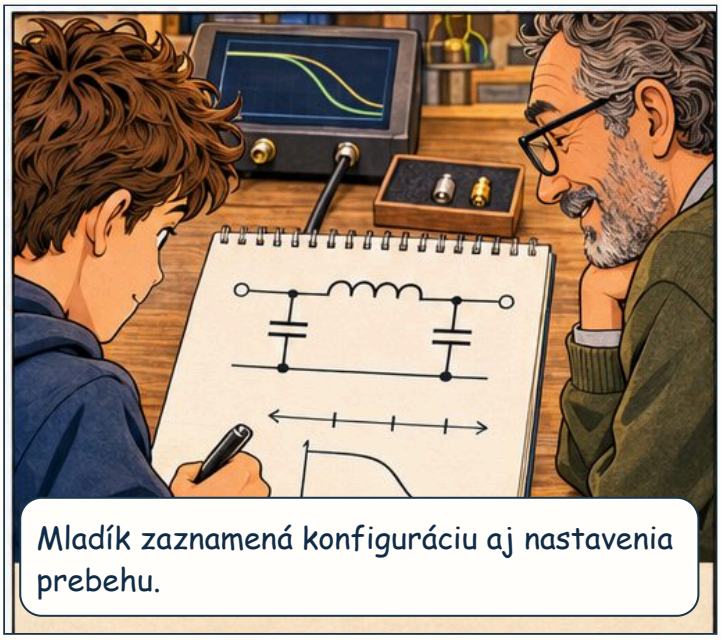
Vhodné etalóny pripájajú podľa jeho návodu.



Referenčné roviny umiestnia na konce káblov.



Po kalibrácii tieto spojenia podľa možnosti zachovajú.



Mladík zaznamená konfiguráciu aj nastavenia prebehu.

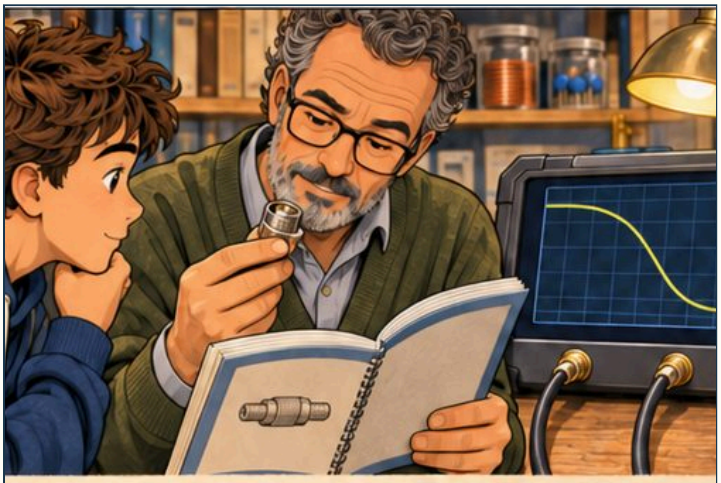
Kontrola priamej cesty



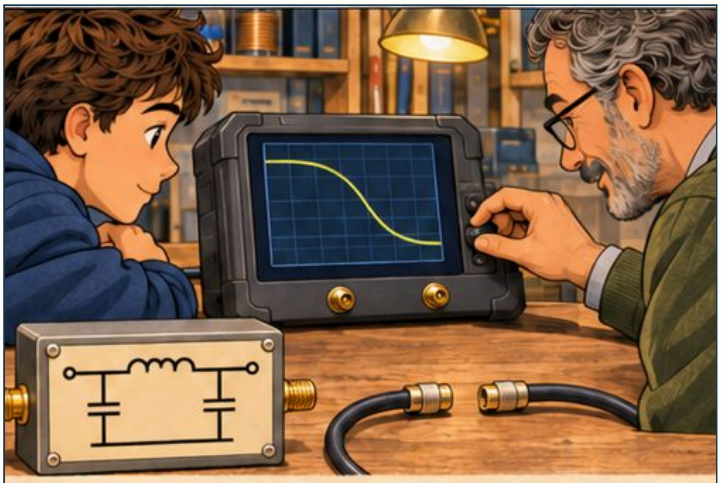
Pred filtrom umožňuje priame spojenie overiť referenciu.



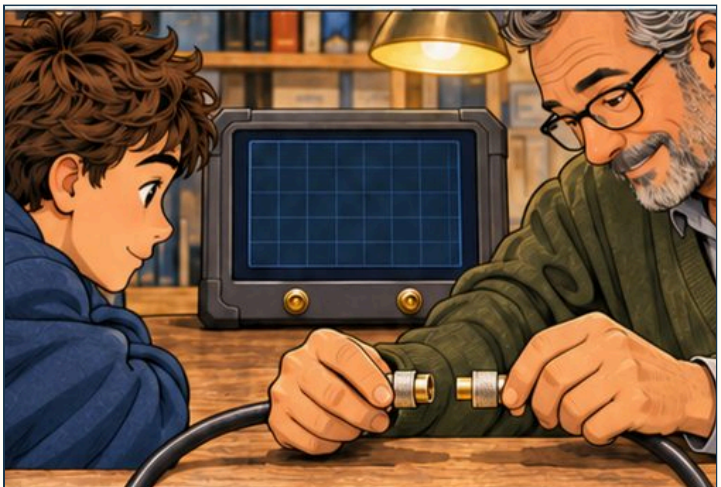
Očakávaný prenos musí zodpovedať tomuto spojeniu.



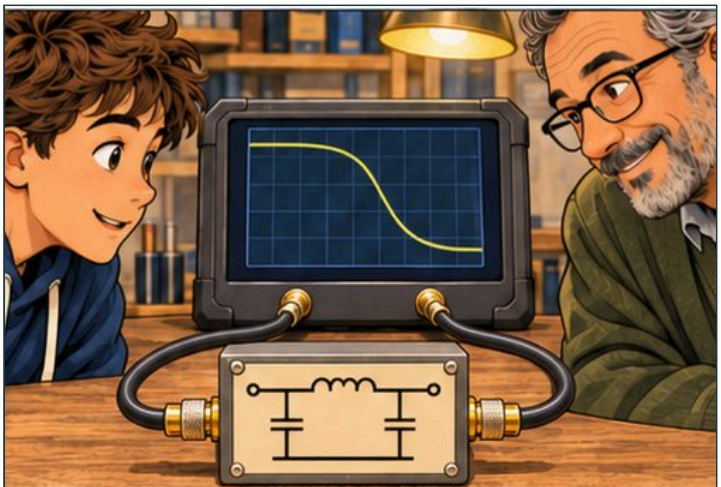
Anomália vyžaduje preskúmanie káblov, kalibrácie a nastavení.



Filter sa neupravuje na zakrytie chyby meracieho stola.



Po kontrole sa zdroj pred pripojením vypne.

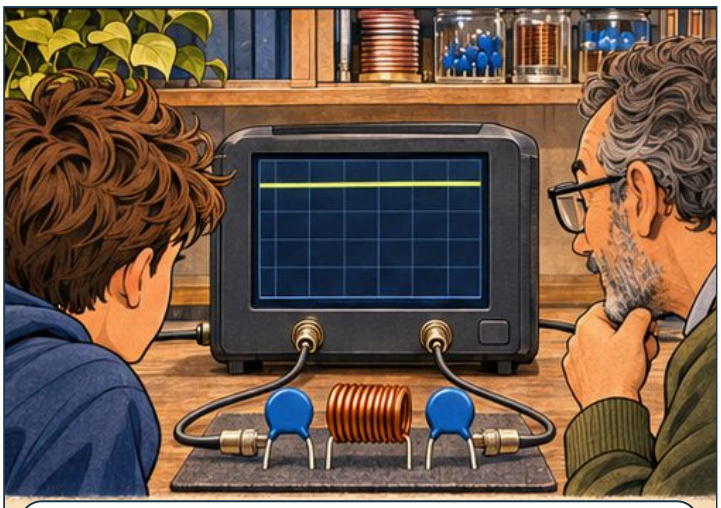


Potom filter zaujme miesto medzi dvoma káblami.

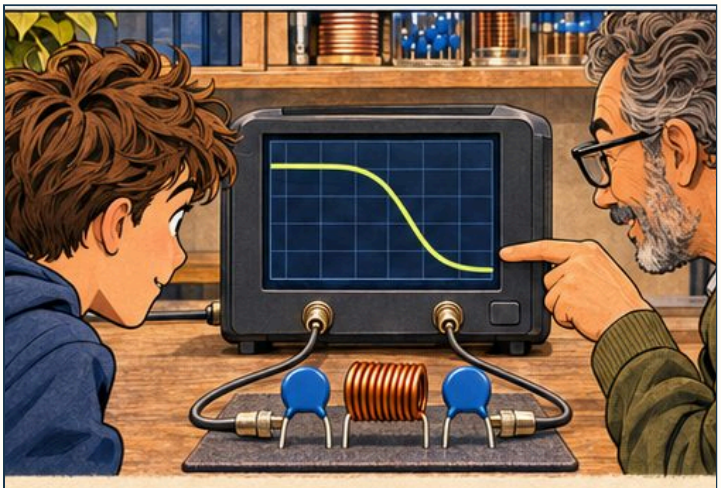
Prvý frekvenčný prebeh



Spustia prebeh pokrývajúci užitočné pásmo aj prechod.



Pri nízkych frekvenciách zostáva krivka vyššie.



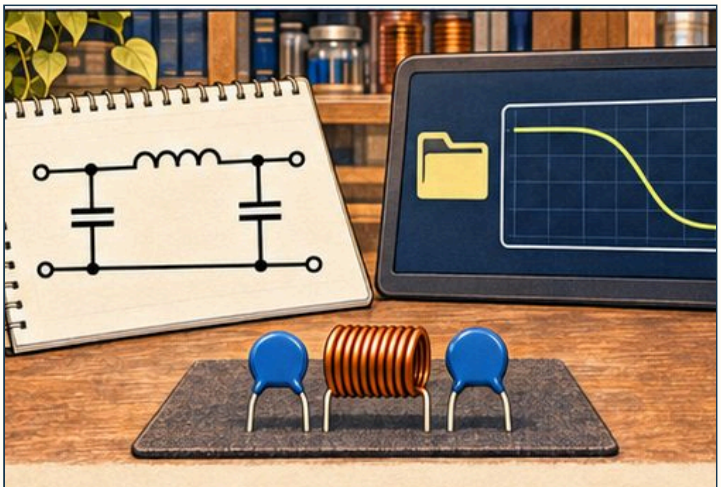
Potom s rastúcou frekvenciou klesá.



Mladík spoznáva očakávaný tvar, nepredpokladá však dokonalú zhodu.



Uloží krivku aj podmienky merania.



Uchovaný výsledok umožní porovnanie po každej úprave.

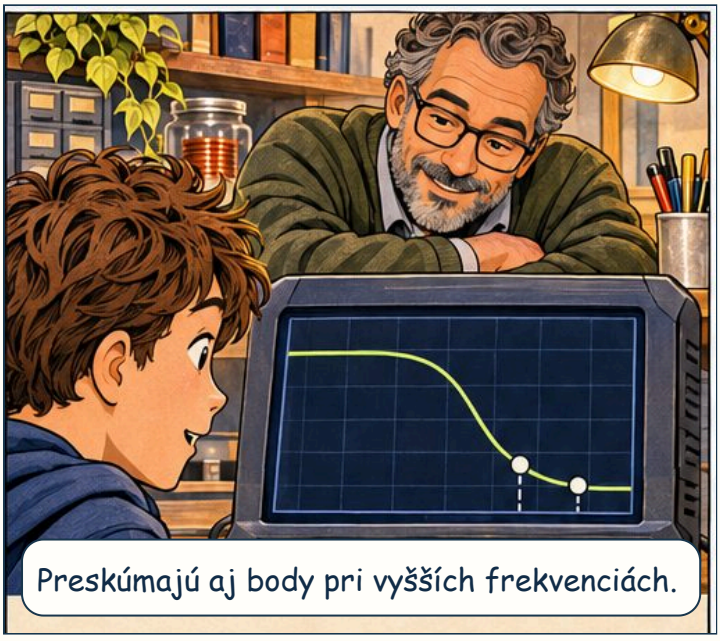
Čítanie presných bodov



Značky označujú frekvencie zvolené vo výpočte.



Odčítajú prenos okolo očakávanej hranice.



Preskúmajú aj body pri vyšších frekvenciách.



Skutočne odčítané hodnoty patria do stĺpca meraní.



Zachovajú získaný údaj, aj keď sa líši od predpovede.

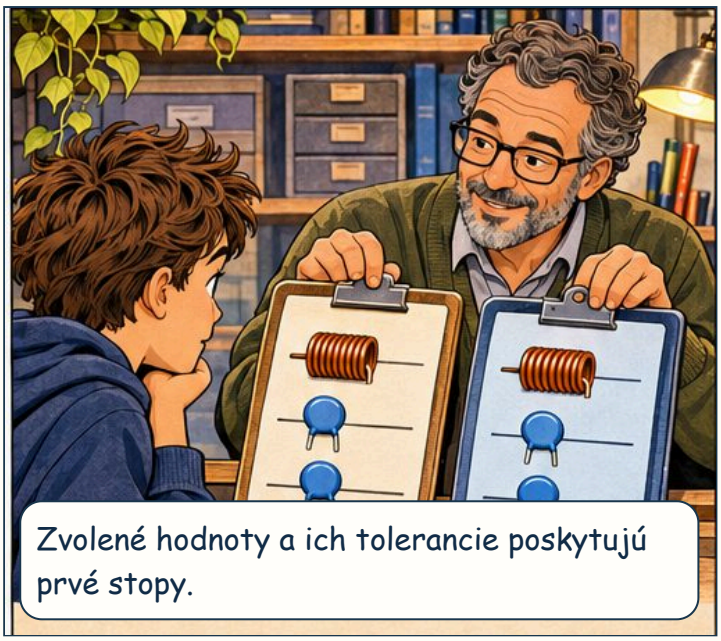


Mladík uvedie aj dátum a konfiguráciu.

Pochopiť odchýlku



Pozorovaná hranica sa môže líšiť od vypočítanej.



Zvolené hodnoty a ich tolerancie poskytujú prvé stopy.



Preskúmanie si zaslúžia aj straty, rozmiestnenie a kalibrácia.



Tieto hypotézy overia skôr, než obvinia vzorec.

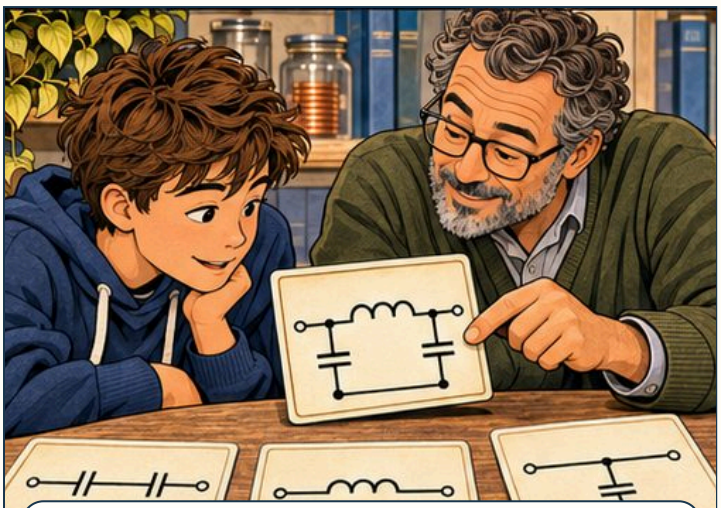


Odlišná krivka sama nevysvetľuje svoj pôvod.

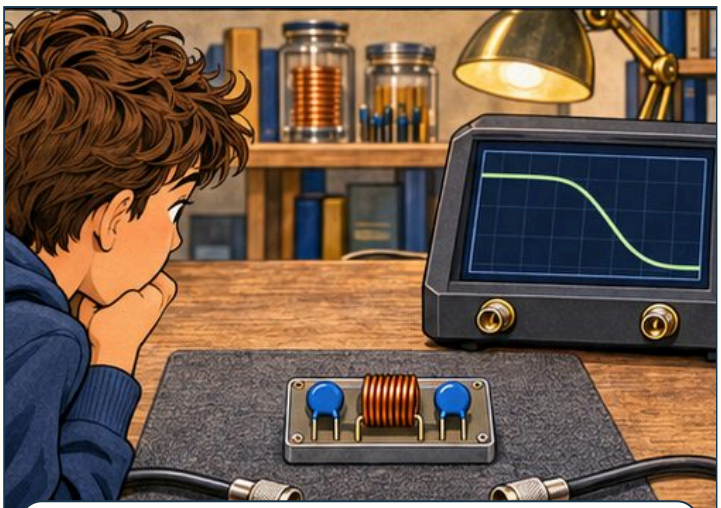


Mladík mení prekvapenie na novú otázku.

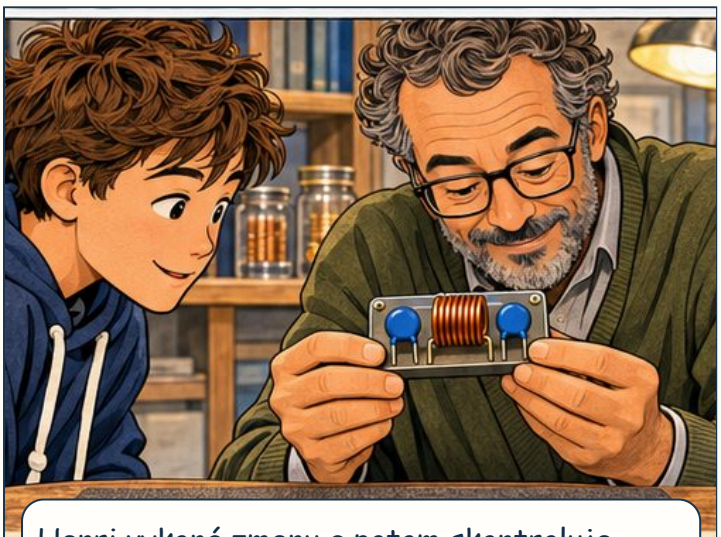
Jedna zmena naraz



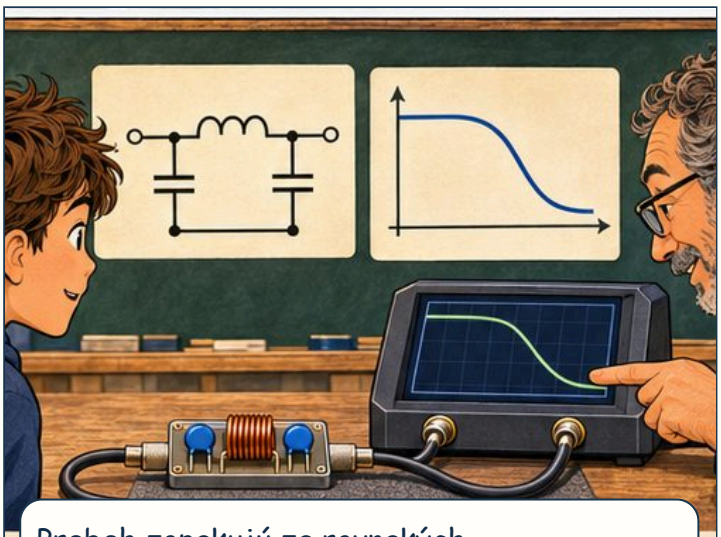
Vyberú jedinú hypotézu a pripravia odôvodnenú úpravu.



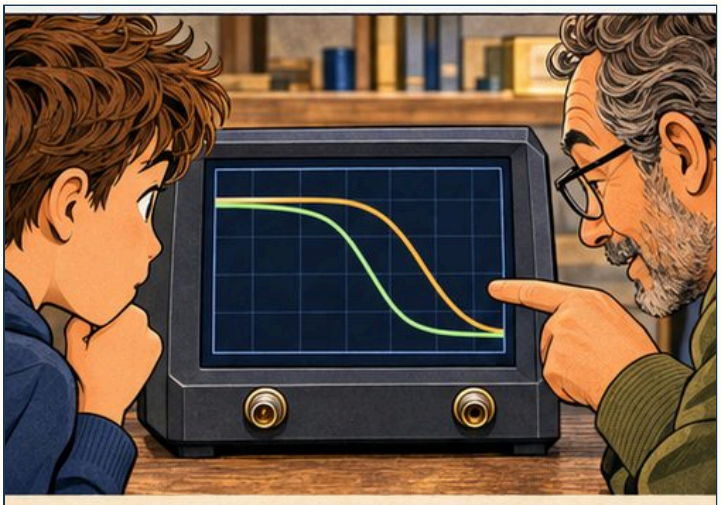
Pred zásahom je zdroj vypnutý a modul odpojený.



Henri vykoná zmenu a potom skontroluje zapojenie.



Prebeh zopakujú za rovnakých zdokumentovaných podmienok.

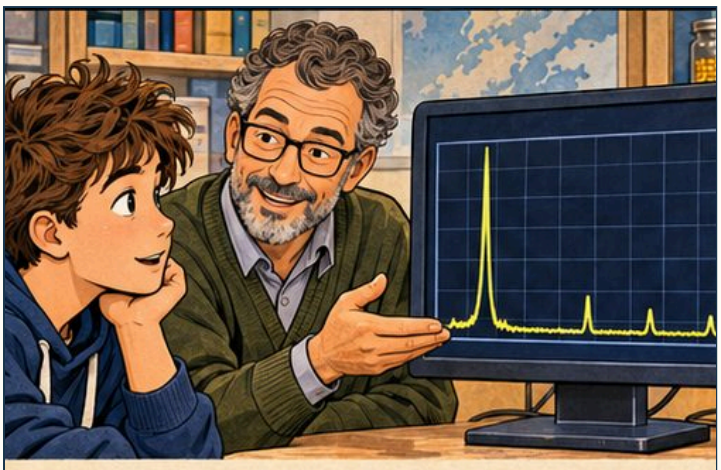


Porovnávajú starú a novú krivku.

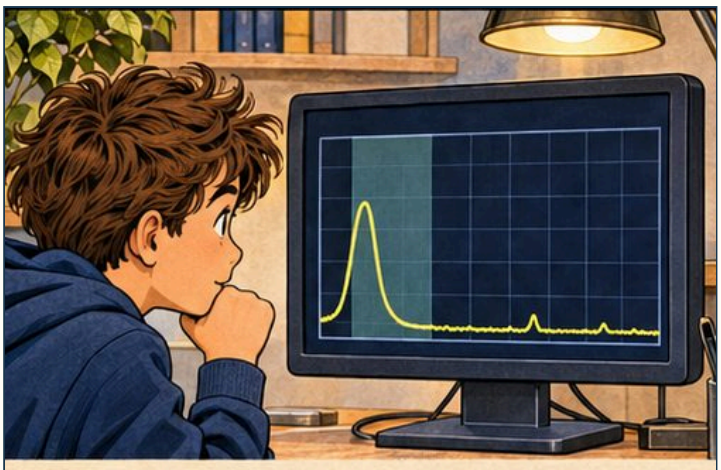


Metóda zabraňuje miešaniu viacerých možných príčin.

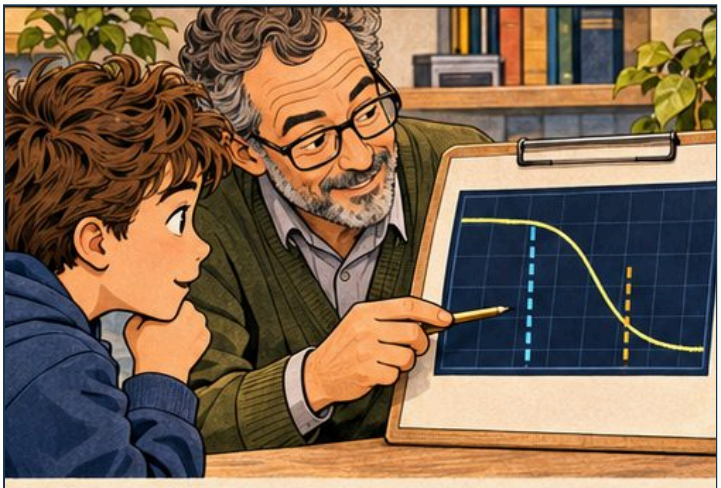
Útlm má hranice



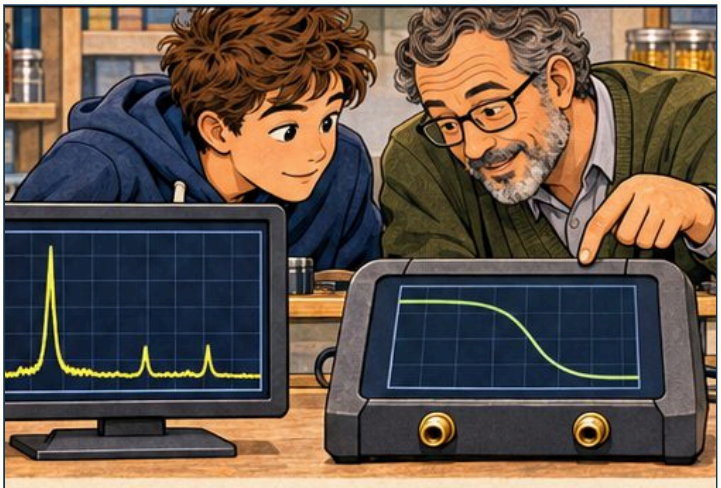
Dolnopriepustný filter neodstráni všetky nežiaduce zložky.



Zložka v jeho priepustnom pásme bude tlmená málo.



Potlačenie závisí od frekvencie a vyhotovenia.



Úplná spektrálna kontrola by vyžadovala ďalšie vhodné merania.

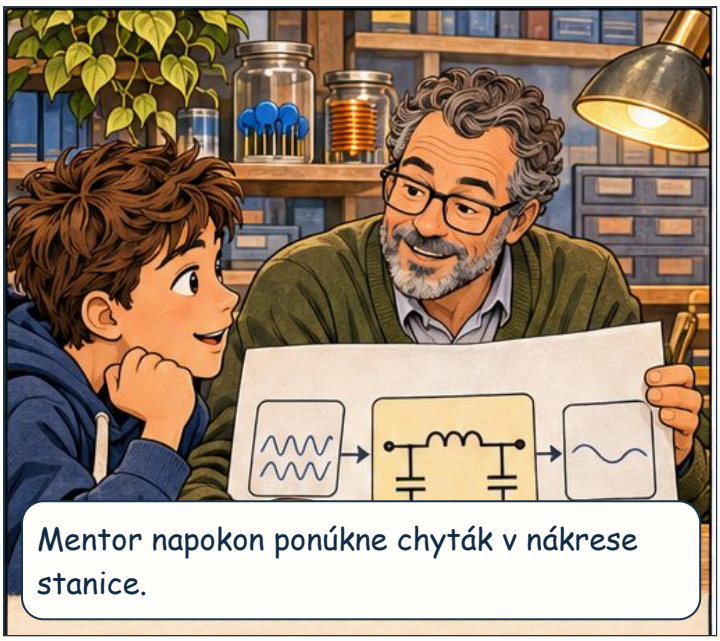


Prítomnosť filtra nedokazuje súlad stanice s požiadavkami.

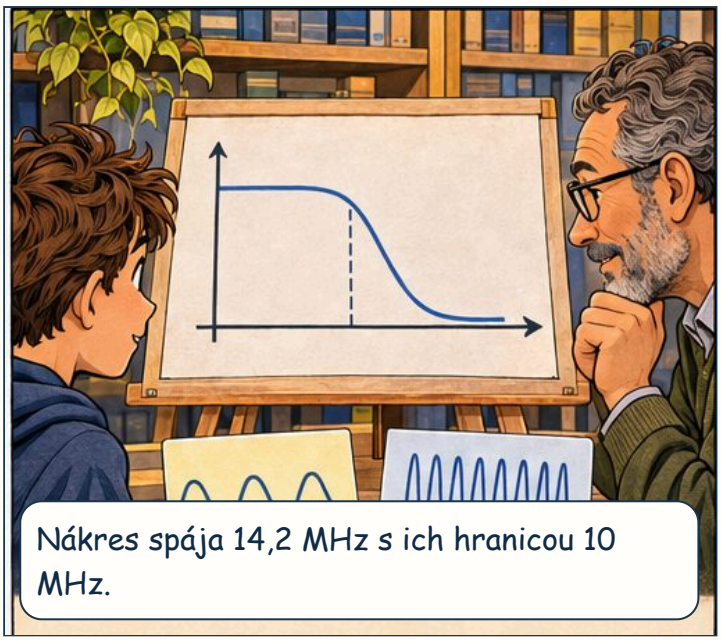


Mladík rozlišuje užitočnú funkciu a všeobecnú záruku.

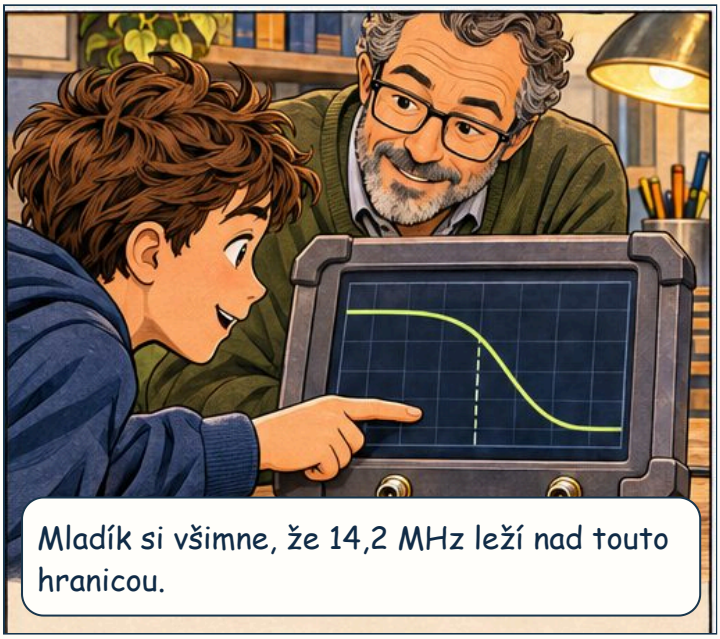
Užitočná frekvencia musí prejsť



Mentor napokon ponúkne chyták v nákrese stanice.



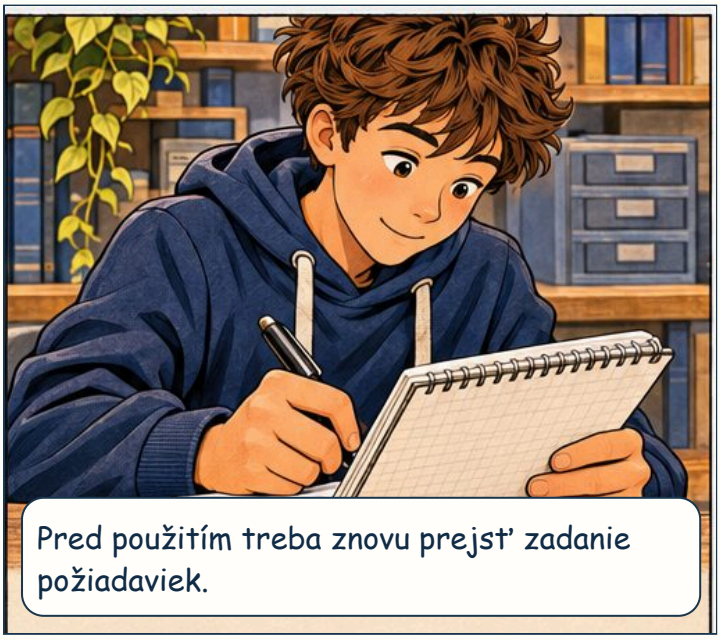
Nákres spája 14,2 MHz s ich hranicou 10 MHz.



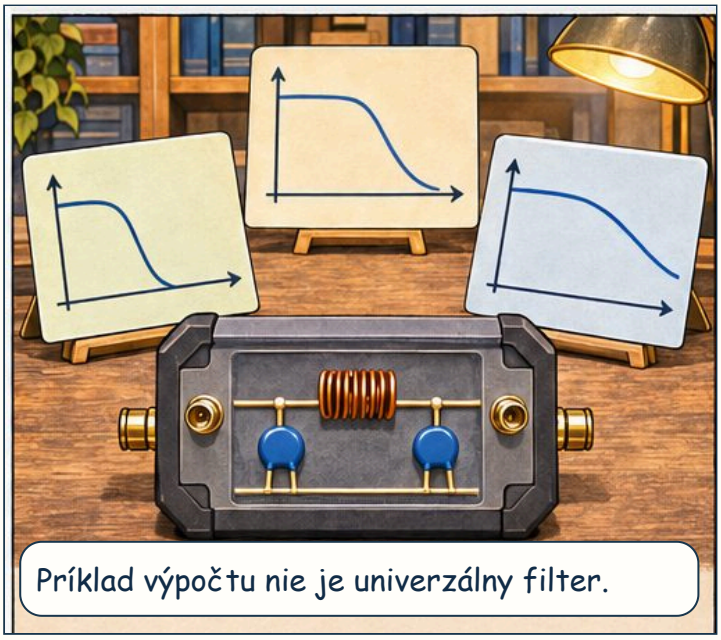
Mladík si všimne, že 14,2 MHz leží nad touto hranicou.



Táto voľba by tlmila aj signál, ktorý chcú zachovať.

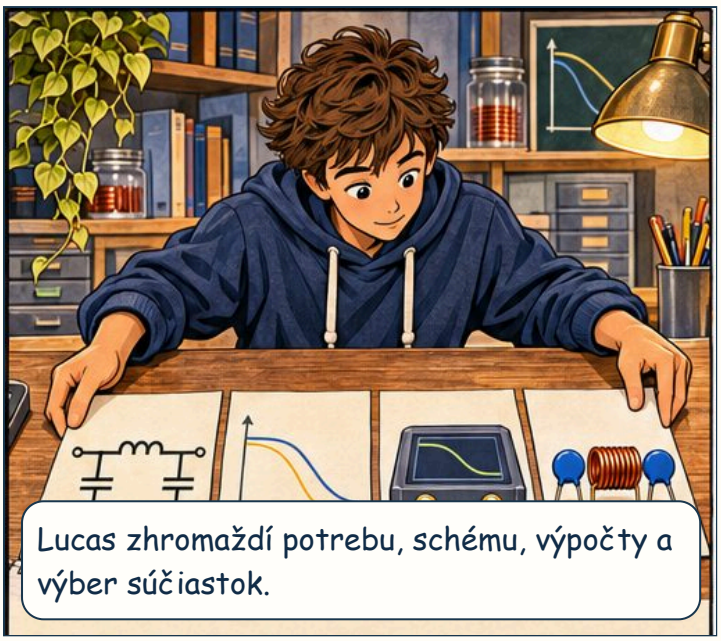


Pred použitím treba znovu prejsť zadanie požiadaviek.



Príklad výpočtu nie je univerzálny filter.

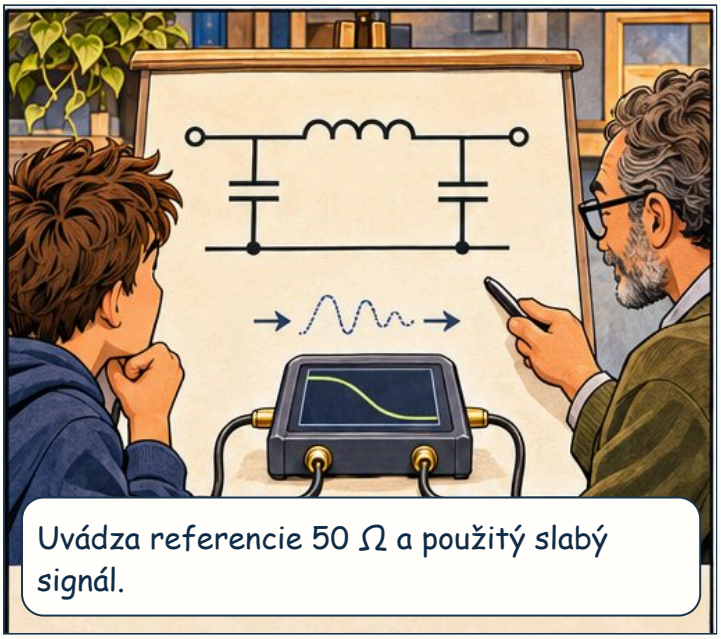
Pripraviť vysvetlenie pre ostatných



Lucas zhromaždí potrebu, schému, výpočty a výber súčiastok.



Odlišuje predpovede od skutočne pozorovaných výsledkov.



Uvádza referencie 50 Ω a použitý slabý signál.



Uchováva krivky, kalibráciu aj hranice pokusu.



Henri hrá návštevníka a položí poslednú otázku.



Tentoraz mladík vie vysvetliť význam každej podmienky.

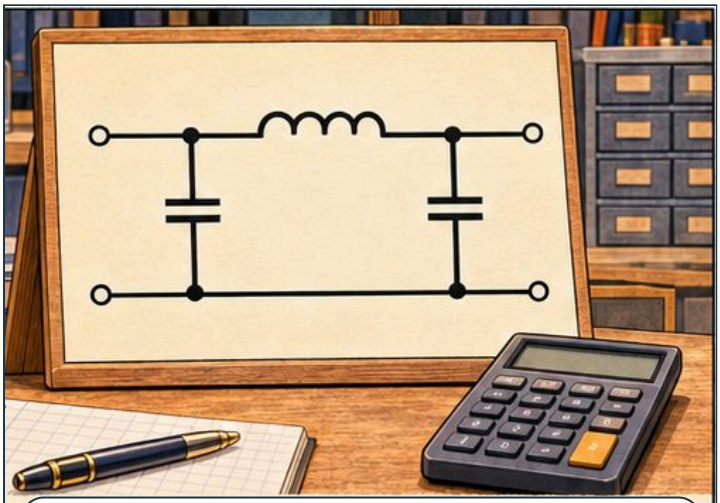
Pochopiť, vypočítať, zmerať



Tri súčiastky sa vracajú do učebnej škatuľky.



Mladík už vie spojiť potrebu s charakteristikou filtra.



Vie vypočítať tento Butterworthov filter π a overiť jednotky.



Vie aj merať, porovnávať a skúmať odchýlky.



Zápisník uchováva metódu s jej predpokladmi a hranicami.



V klube sa ďalší objav už začína otázkou.