ON4CRD

Tom 05

Obliczanie filtrów



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Informacje prawne

Tom 05 · Obliczanie filtrów

Wydawca strony internetowej : Radio Club Durnal ON4CRD

Menedżer publikacji : Komitet Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Informacje prawne

Własność intelektualna

Teksty, obrazy, dokumenty, logo i materiały opublikowane na stronie pozostają własnością ich autorów lub klubu. Jakakolwiek reprodukcja lub ponowne wykorzystanie musi szanować źródło, obowiązujące prawa i wszelkie zgody autora.

Odpowiedzialność

Klub stara się publikować przydatne i sprawdzone informacje, ale nie gwarantuje braku błędów, przeoczeń i przerw. Informacje techniczne lub regulacyjne należy porównać z oficjalnymi źródłami, jeśli potwierdzają one decyzję.

Ilustracje stworzone przy wsparciu sztucznej inteligencji.

Nowe zadanie



Po zajęciach z elektryczności Lucas wraca w klubie do zeszytu.



Henri przygotowuje pokaz dotyczący jakości sygnałów.



Na stole czekają dwa kondensatory i cewka.



Wyzwanie: zrozumieć, obliczyć i zmierzyć filtr dolnoprzepustowy.

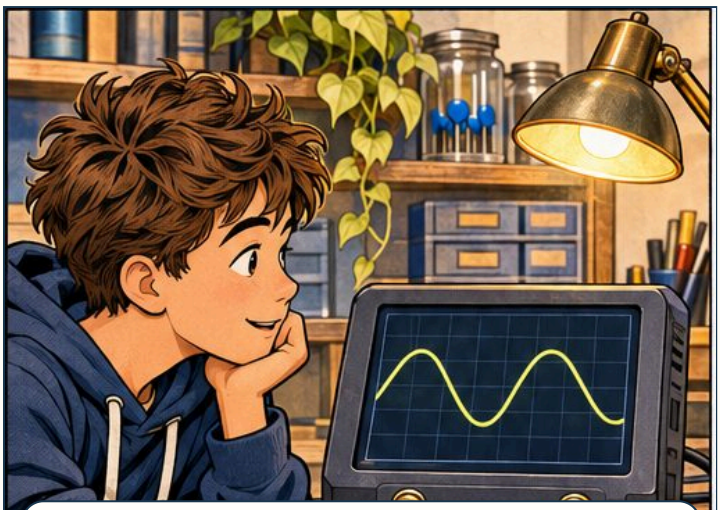


Adept chce wiedzieć, jak trzy elementy mogą tak wiele zmienić.

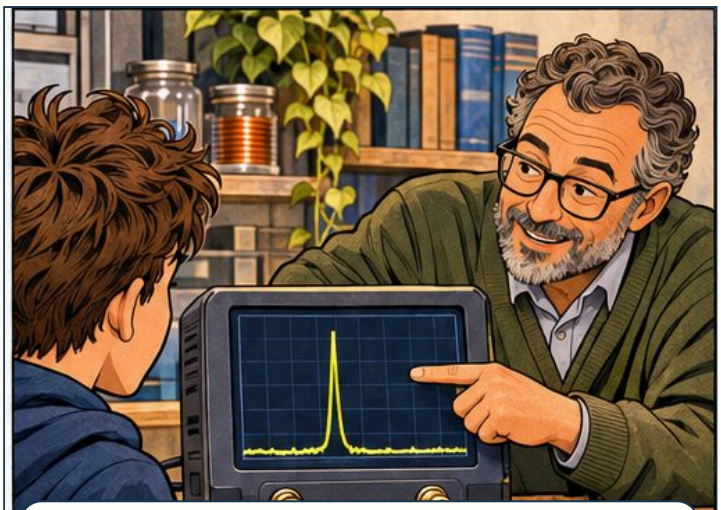


Zaczynają od sprawdzenia, co zawiera sygnał.

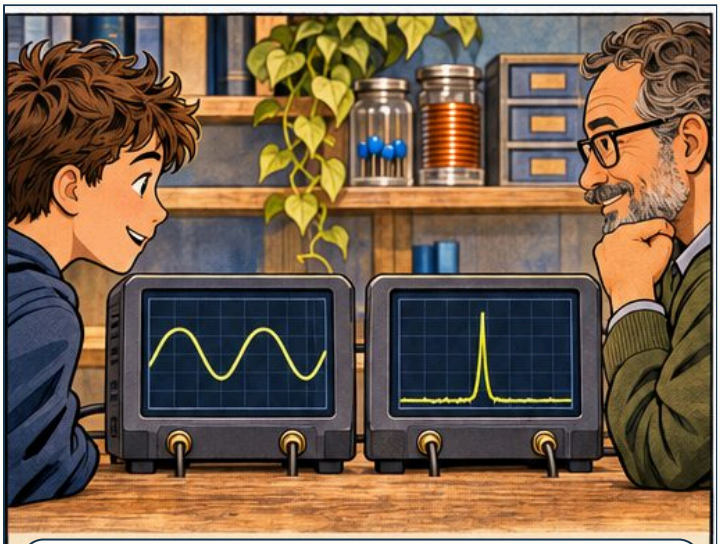
Sygnał i jego obraz



Wykres w czasie pokazuje, jak sygnał się zmienia.



Widmo przedstawia jego składowe według częstotliwości.



Oba obrazy inaczej opisują ten sam sygnał.



Idealna sinusoida ma tylko jedną częstotliwość.

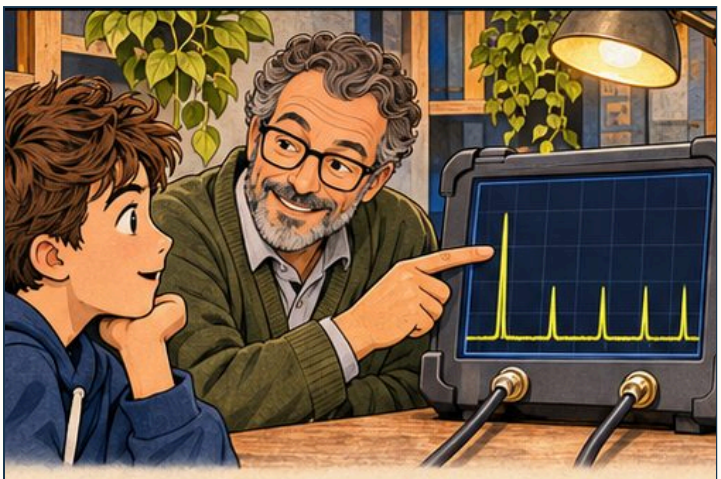


Zniekształcony przebieg może zawierać kilka składowych.



Adept odkrywa obraz, którego wcześniej nie umiał odczytać.

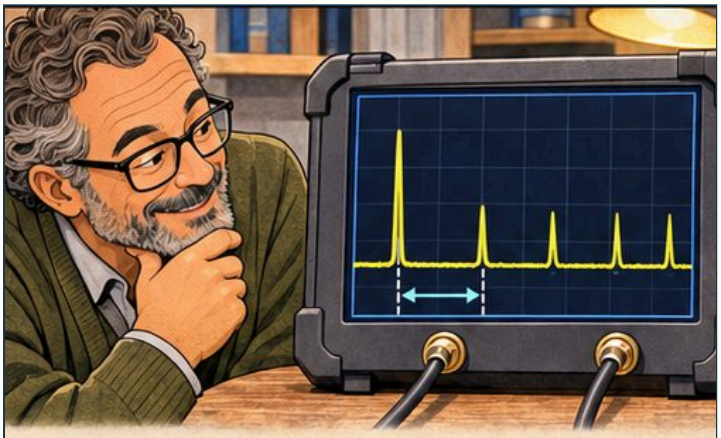
Ujawniają się harmoniczne



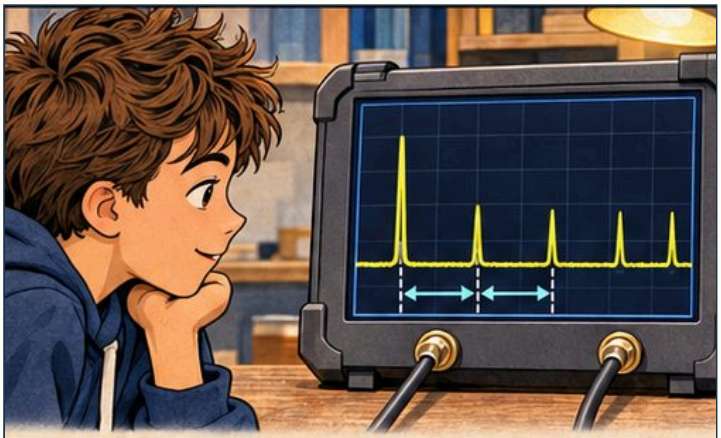
Częstotliwość podstawowa stanowi pierwszy punkt odniesienia sygnału okresowego.



Jego harmoniczne są całkowitymi wielokrotnościami tej częstotliwości.



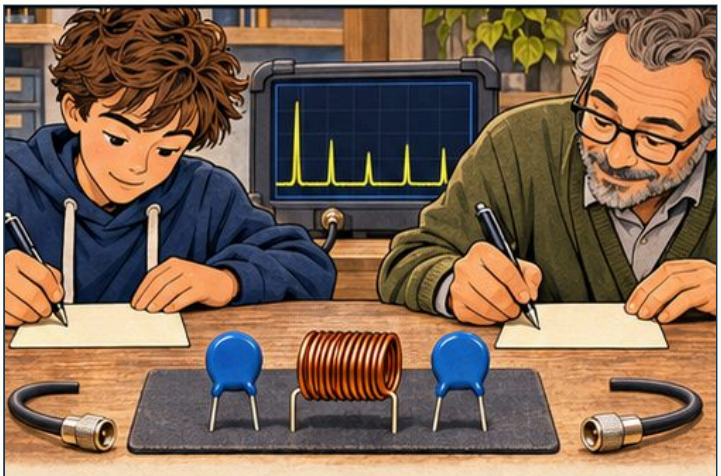
Druga harmoniczna ma dwukrotną częstotliwość podstawową.



Trzecia ma częstotliwość trzykrotnie większą.

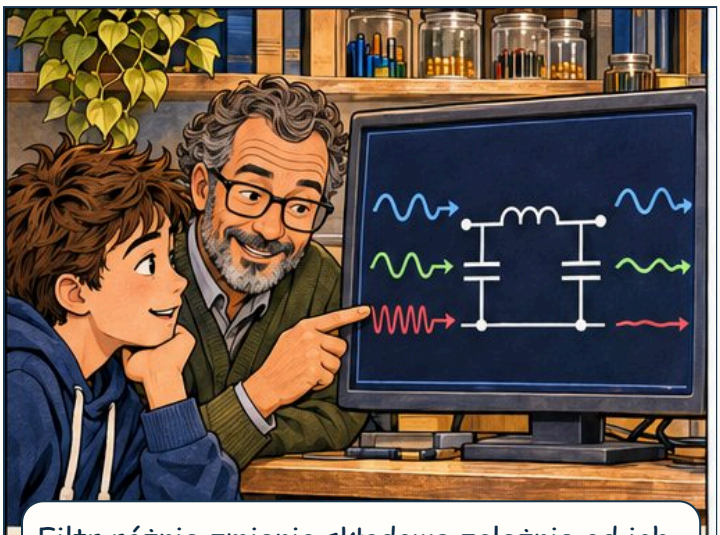


Jednak nie wszystkie niepożądane składowe są harmonicznymi.

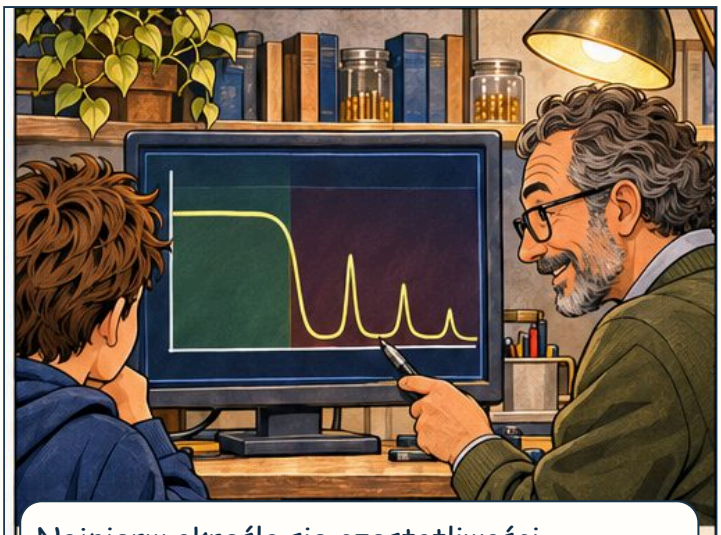


Filtr musi odpowiadać ściśle określonej potrzebie.

Wybrać, co zachować



Filtr różnie zmienia składowe zależnie od ich częstotliwości.



Najpierw określa się częstotliwości użyteczne i zakłócające.



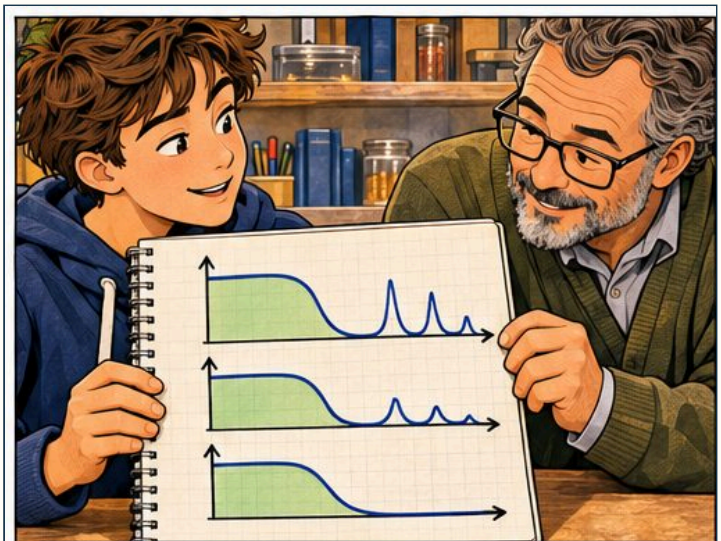
Ustala się również wymagane tłumienia.



Bez tych celów obliczanie elementów nie miałoby większego sensu.

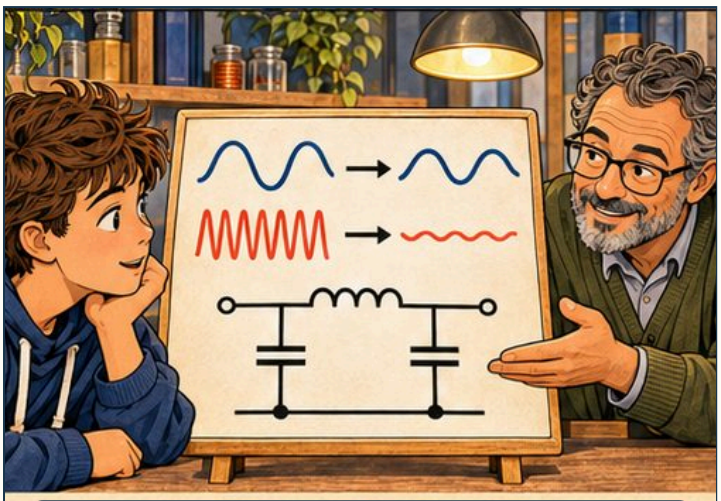


Adept zakreśla użyteczny obszar przykładowego widma.



Jego zeszyt staje się specyfikacją wymagań.

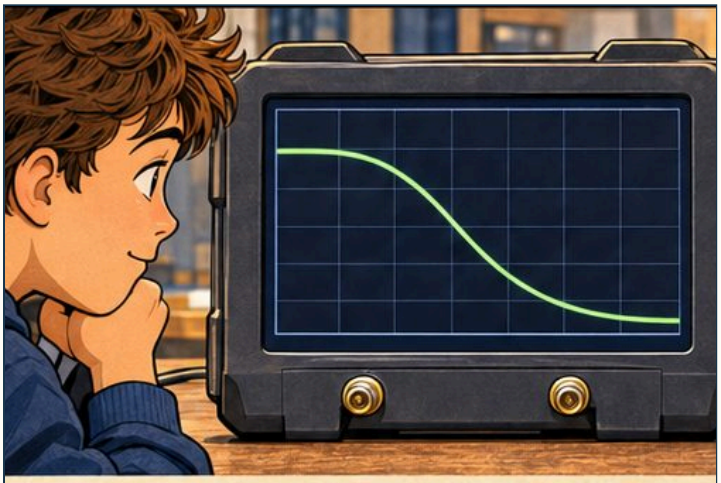
Wybór filtru dolnoprzepustowego



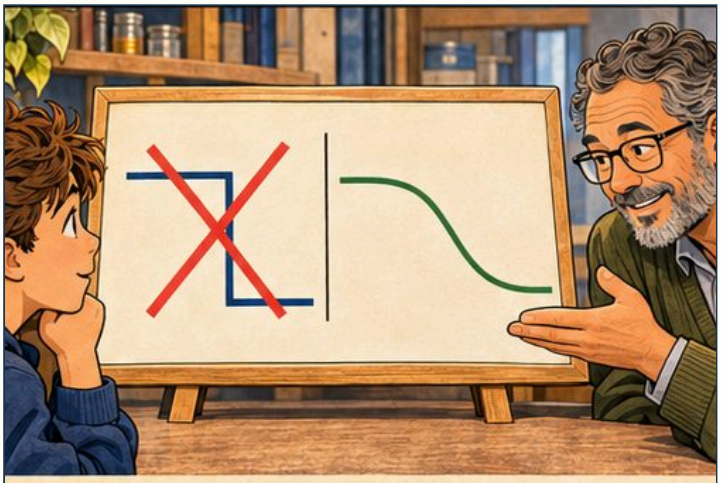
Filtr dolnoprzepustowy lepiej przepuszcza niskie częstotliwości niż wysokie.



Jego pasmo przepustowe leży po stronie niskich częstotliwości.



Wyżej tłumienie stopniowo wzrasta.



Rzeczywiste przejście nigdy nie jest idealną pionową ścianą.



Ten typ odpowiada dzisiejszemu pokazowi.



Adept rysuje zbocze zamiast bariery.

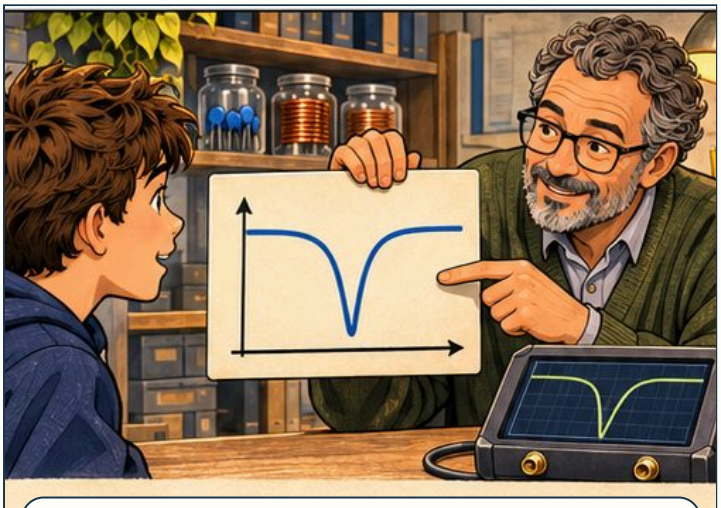
Inne możliwe drogi



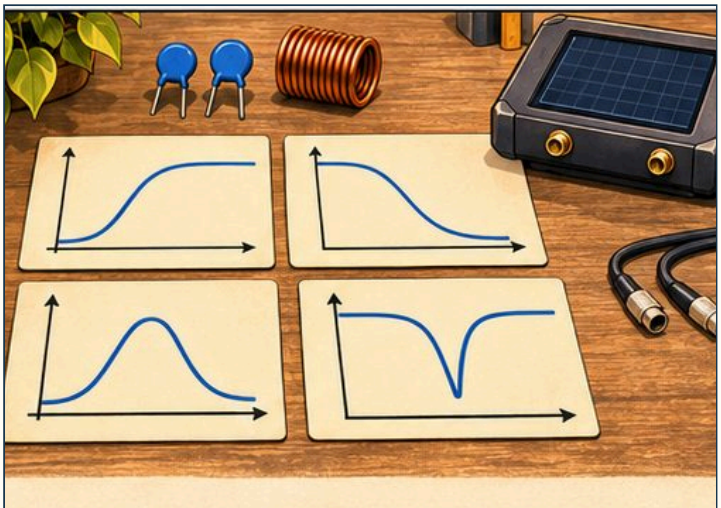
Filtr górnoprzepustowy tłumi niskie częstotliwości, zachowując wysokie.



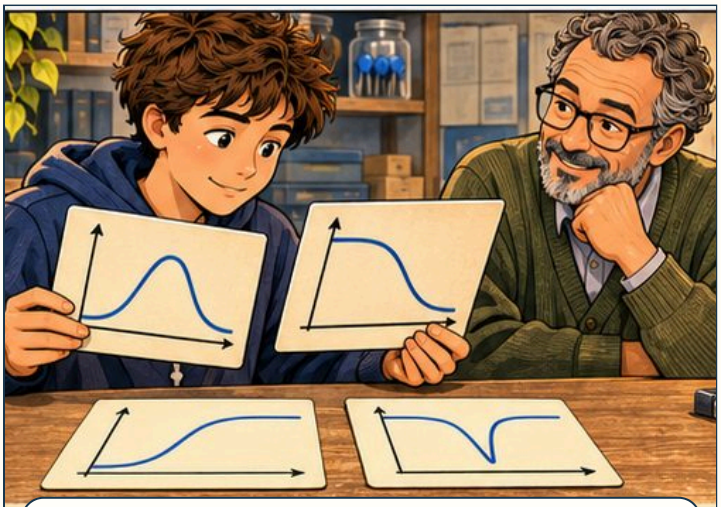
Filtr pasmowoprzepustowy wyróżnia zakres między dwiema granicami.



Filtr pasmowozaporowy przeciwnie: tłumi wybrany zakres.



Te rodziny służą różnym potrzebom.



Nazwa opisuje charakterystykę, a nie uniwersalną jakość.



Adept odkłada trzy karty na następne zajęcia.

Granica, która nadal przepuszcza



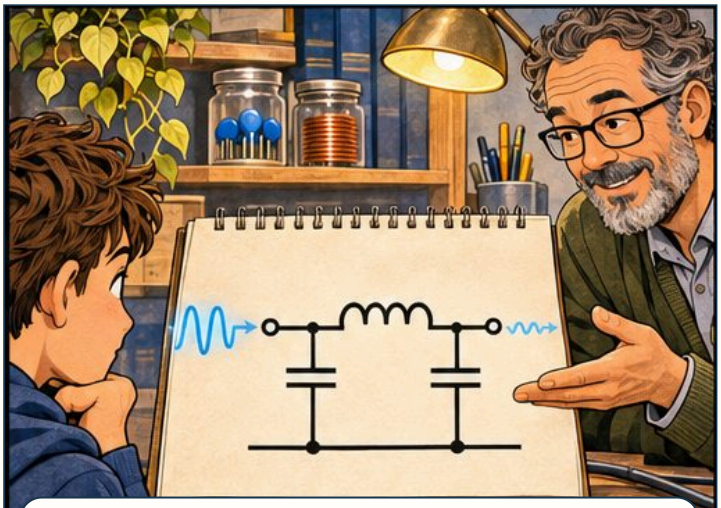
Częstotliwość graniczna oznacza tutaj poziom odniesienia.



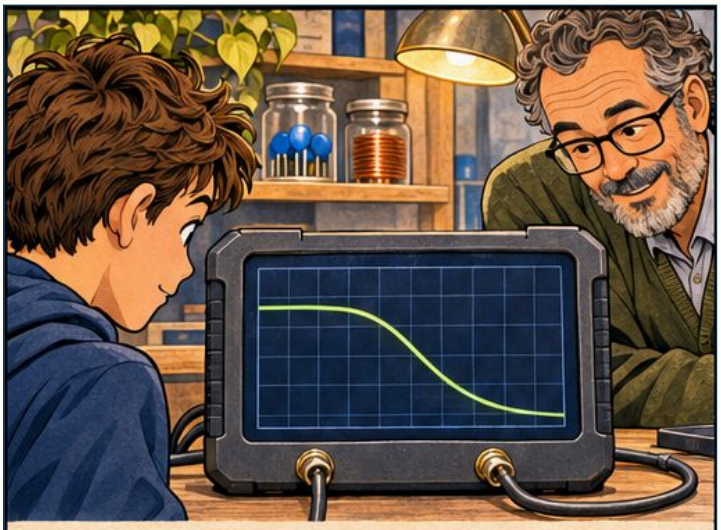
Nie oznacza nagłego zaniku sygnału.



Dla ich idealnego filtru Butterwortha odpowiada około −3 dB.



Filtr nadal więc przekazuje energię przy tej częstotliwości.



Powyżej tłumienie będzie nadal wzrastać.

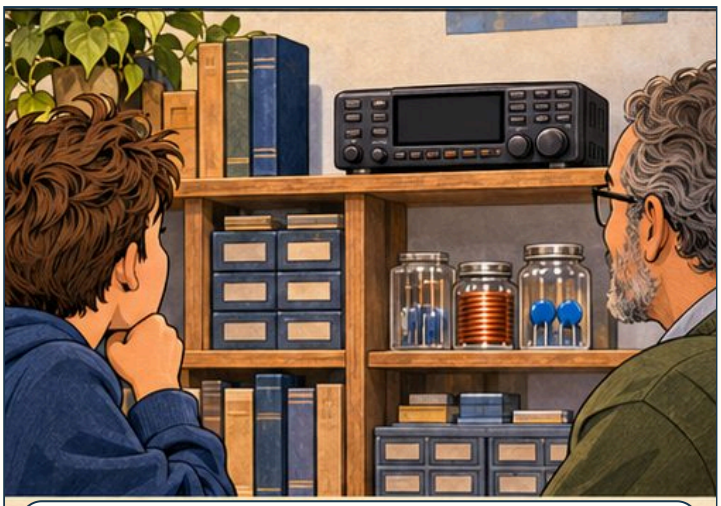


To uściślenie zapobiega pierwszemu błędnemu wyobrażeniu.

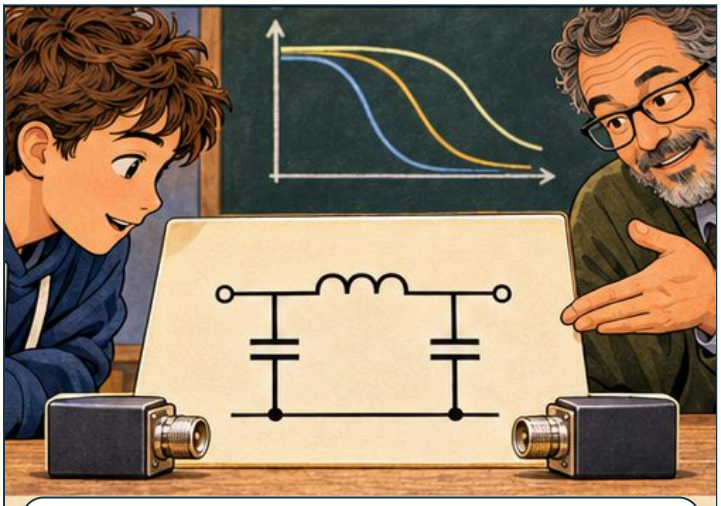
Przykład laboratoryjny



Wybierają teoretyczną częstotliwość graniczną 10 MHz.



Ta wartość służy nauce i nie wyznacza częstotliwości nadawania.



Źródło i obciążenie odniesienia będą miały 50 Ω.



Układ zbadają na stanowisku słabym sygnałem.



Nie podłączą anteny ani nadajnika.

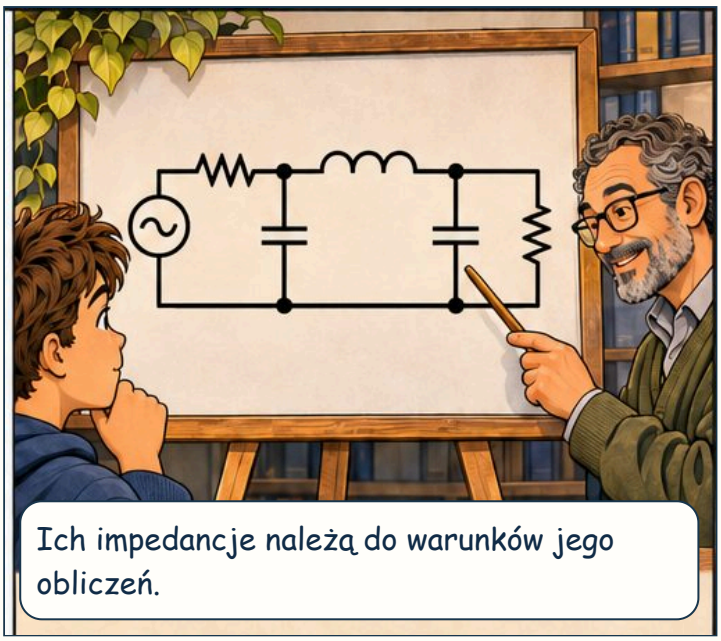


Celem jest mierzalna charakterystyka, a nie łączność radiowa.

Dlaczego podawać 50 omów?



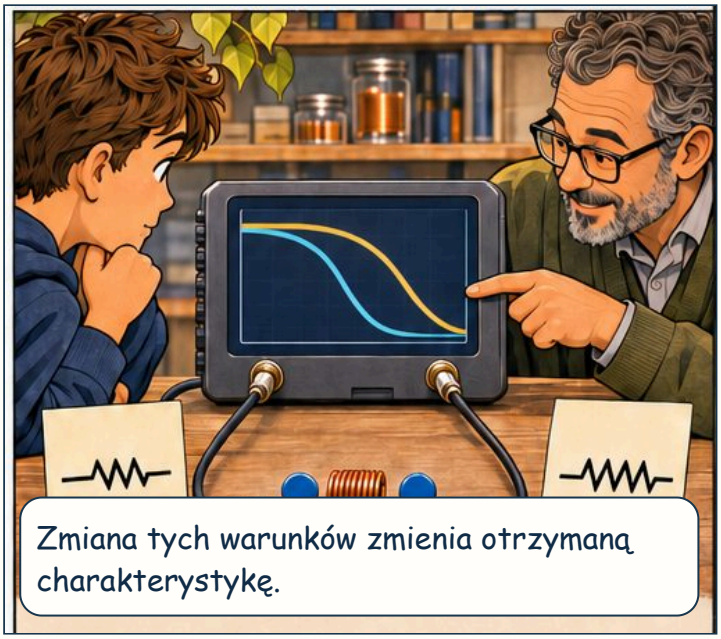
Filtr pracuje między źródłem a obciążeniem.



Ich impedancje należą do warunków jego obliczeń.



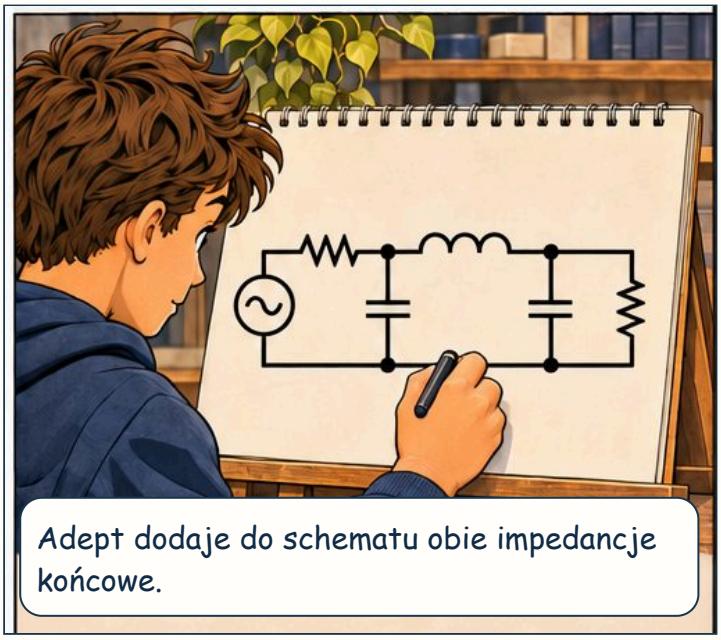
Tutaj każda ma idealnie 50 Ω i charakter rezystancyjny.



Zmiana tych warunków zmienia otrzymaną charakterystykę.



Nie wystarczy więc przepisać trzech wartości.



Adept dodaje do schematu obie impedancje końcowe.

Model i rzeczywisty układ



Obliczenia rozpoczną od idealnych elementów bez strat.



Rzeczywisty układ będzie miał rezystancje i efekty pasożytnicze.



Model pozwala przewidzieć wstępną charakterystykę.



Pomiary pozwolą następnie zbadać różnice.

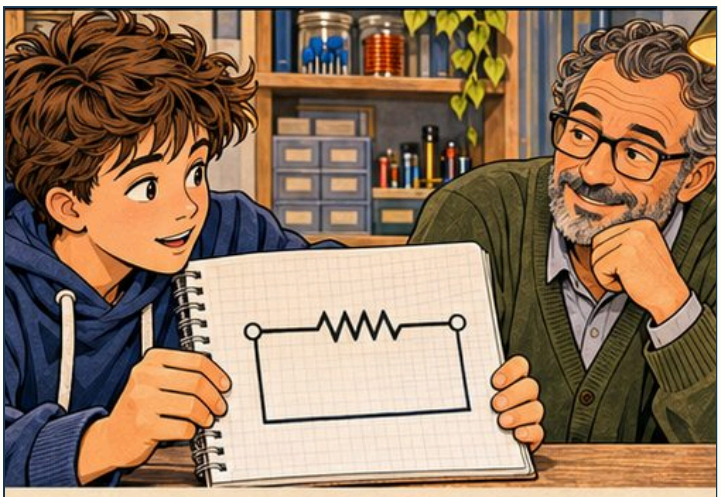


Mylenie przewidywania z wynikiem uniemożliwiłoby zrozumienie odchyleń.

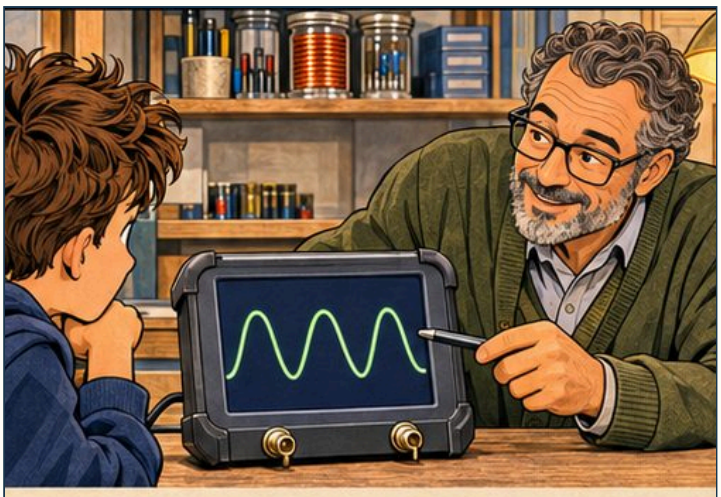


W zeszycie każde z nich ma osobne miejsce.

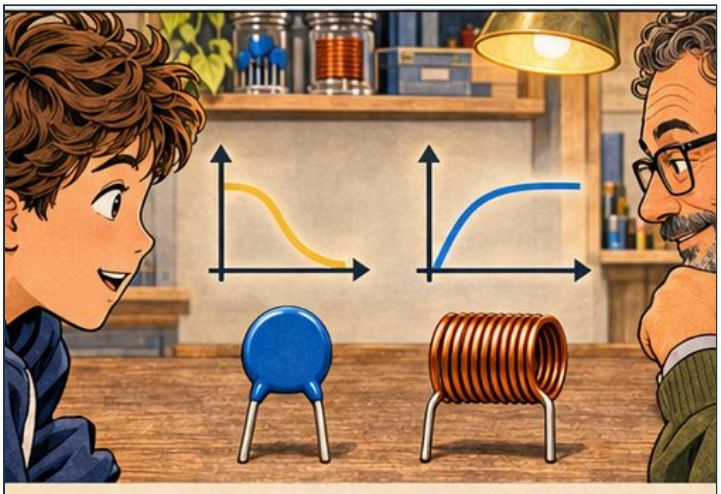
Sama rezystancja już nie wystarcza



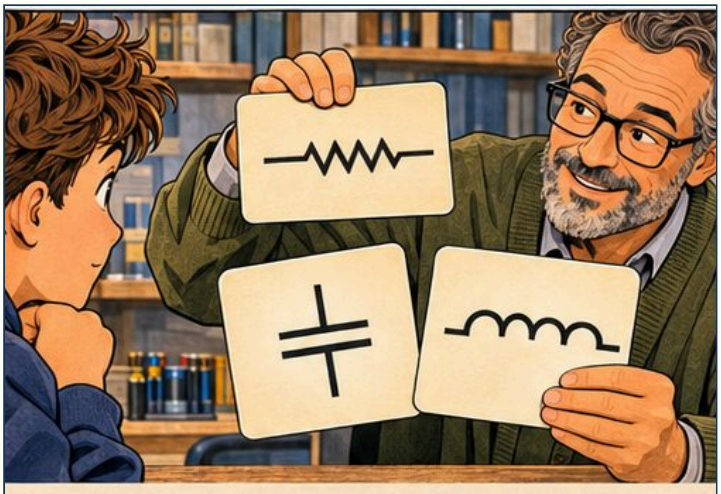
Poprzedni tom wiązał napięcie, prąd i rezystancję w obwodzie stałoprądowym.



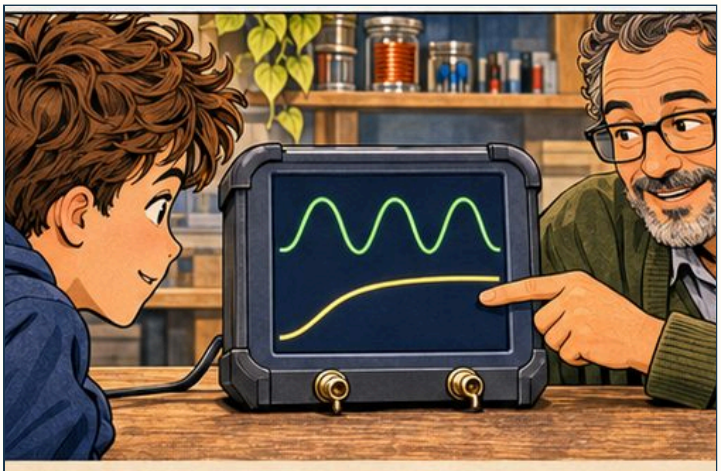
Tutaj sygnał szybko się zmienia i jego częstotliwość ma znaczenie.



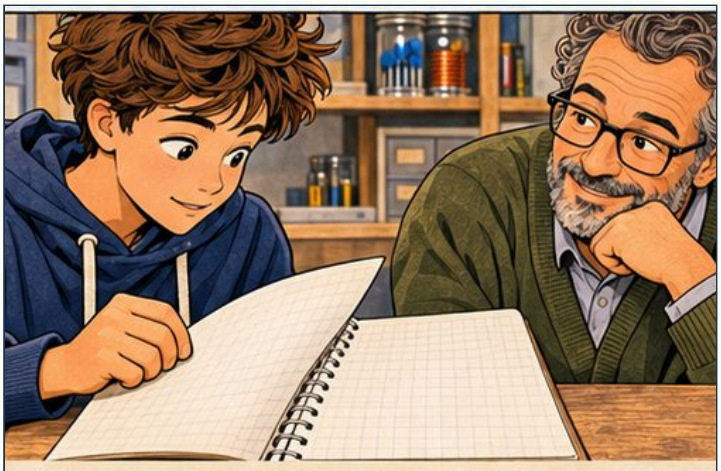
Kondensatory i cewki stawiają opór zależny od częstotliwości.



Tej reaktancji nie należy utożsamiać ze zwykłą rezystancją.



Impedancja szerzej opisuje zachowanie elektryczne przy prądzie przemiennym.

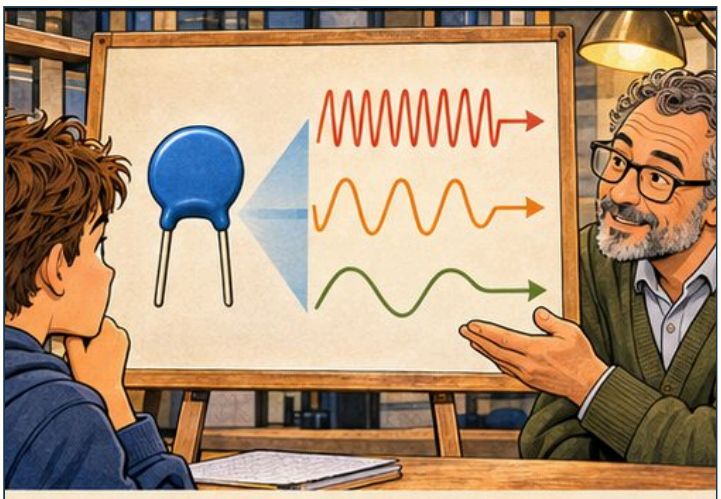


Adept rozumie, dlaczego potrzebny jest nowy model.

Rola kondensatora



Pojemność oznaczamy C i wyrażamy w faradach, F.



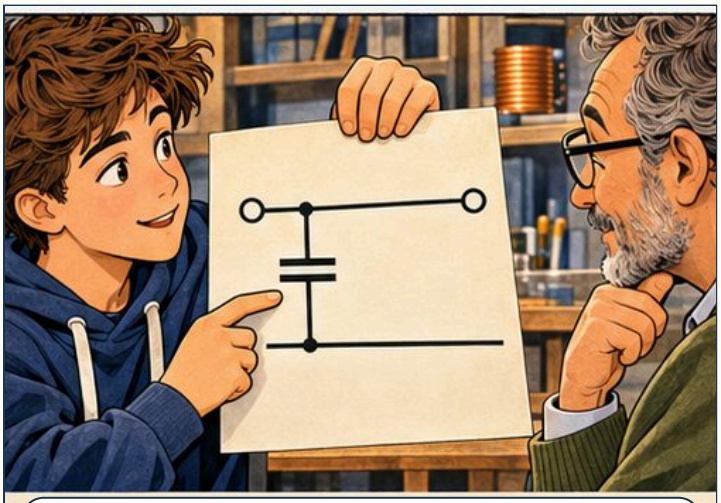
Reaktancja idealnego kondensatora maleje wraz ze wzrostem częstotliwości.



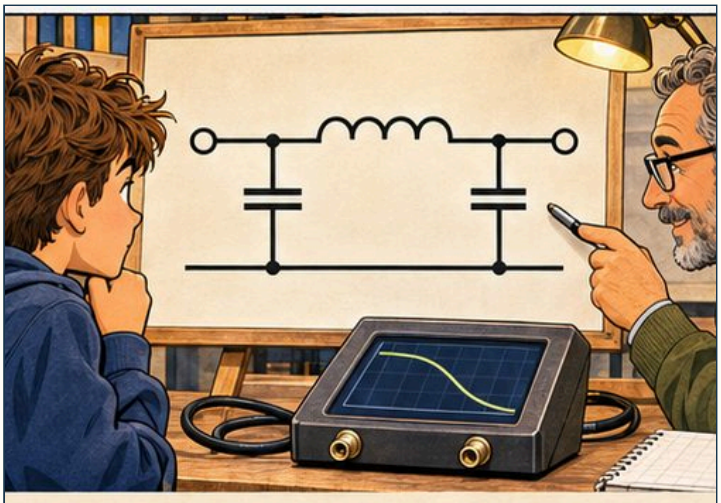
Jej wartość bezwzględna wynosi Xc = 1/(2πfC).



Przy tej samej pojemności wyższe częstotliwości napotykają mniejszą reaktancję.



W ich filtrze kondensatory będą połączone z masą.

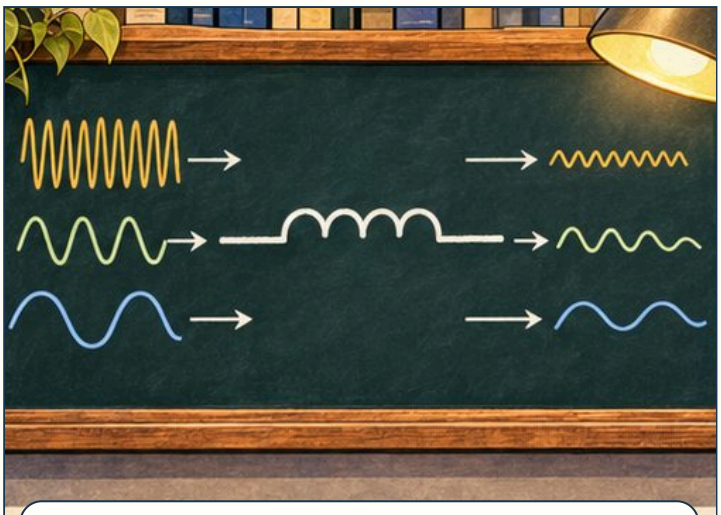


Ich rola zależy również od reszty obwodu.

Rola cewki



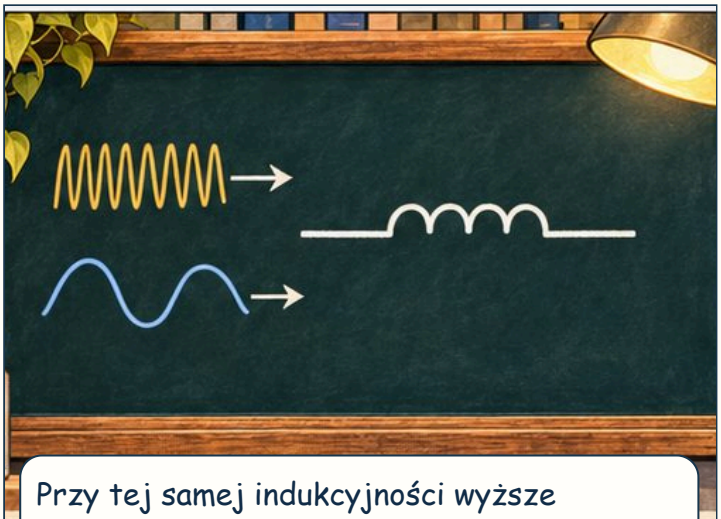
Indukcyjność oznaczamy L i wyrażamy w henrach, H.



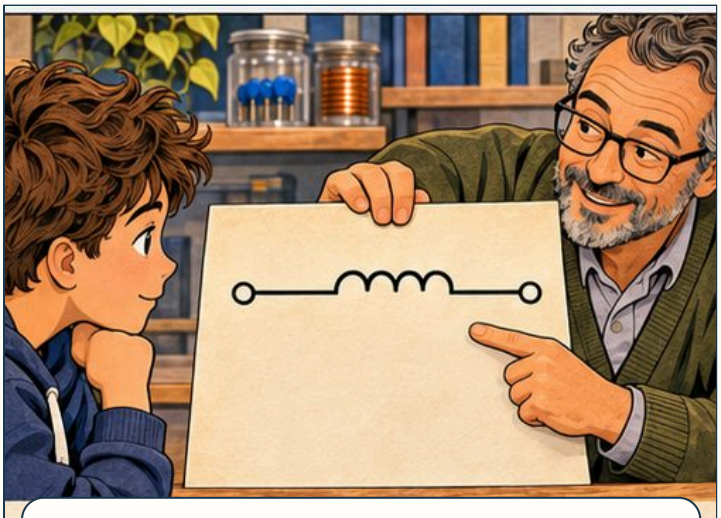
Reaktancja idealnej cewki wzrasta wraz z częstotliwością.



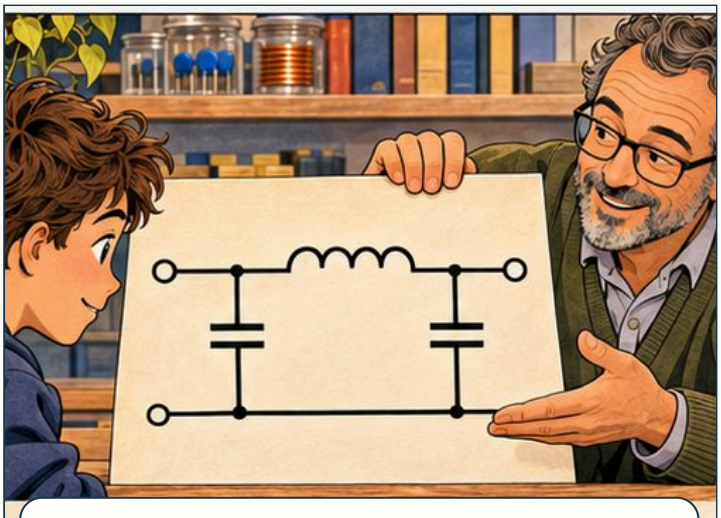
Jej wartość bezwzględna wynosi XL = 2πfL.



Przy tej samej indukcyjności wyższe częstotliwości napotykają większą reaktancję.

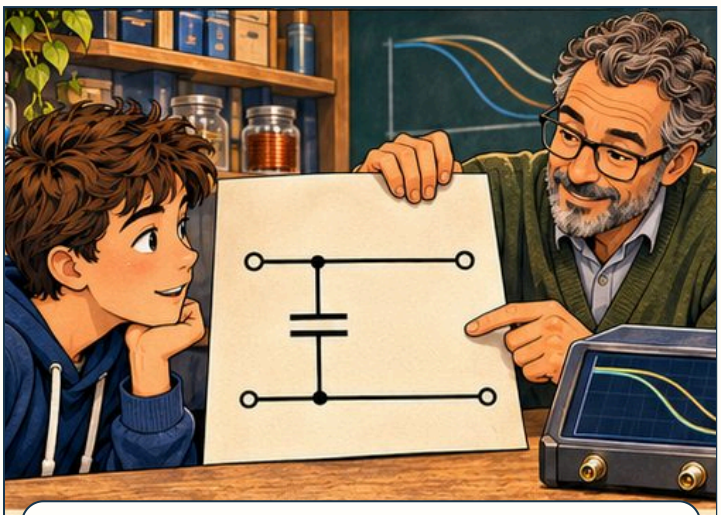


W ich filtrze cewka znajdzie się na drodze sygnału.

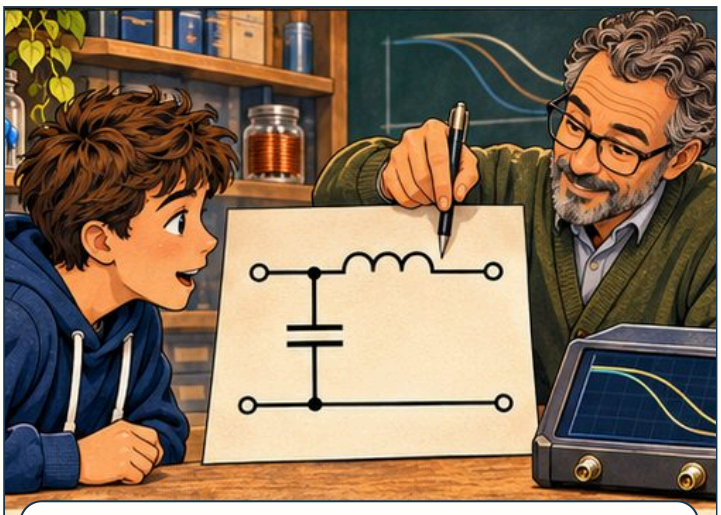


Oba rodzaje elementów będą działały wspólnie.

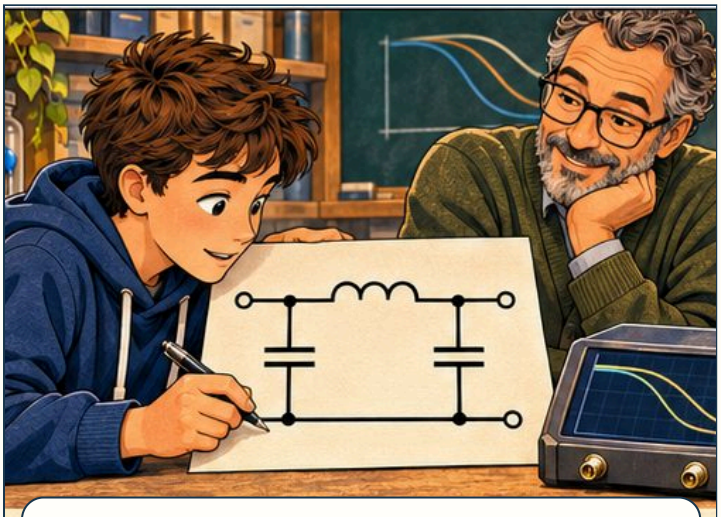
Schemat przybiera kształt π



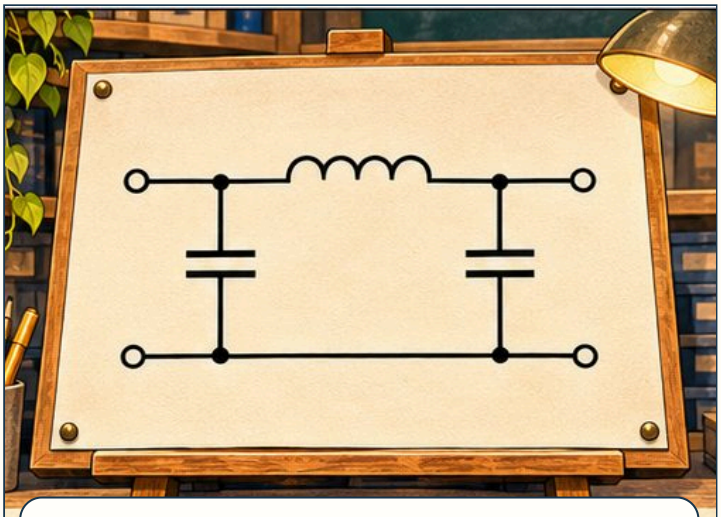
Wejście łączy się z pierwszym kondensatorem do masy.



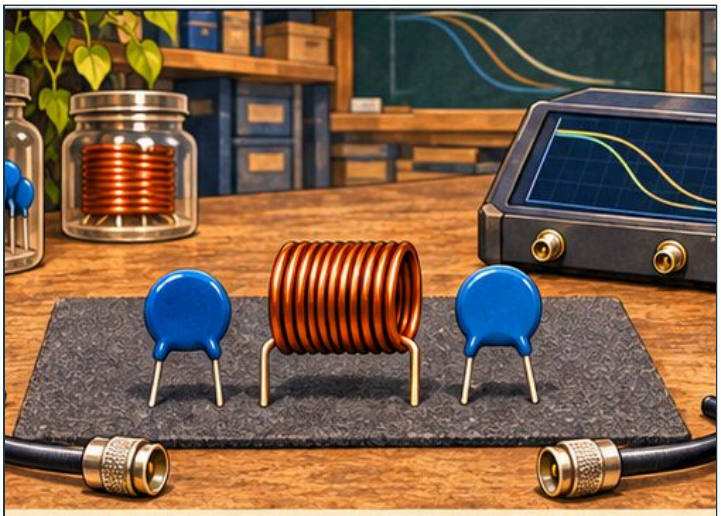
Następnie cewka szeregowo łączy wejście z wyjściem.



Drugi kondensator łączy wyjście z tą samą masą.



Po obu stronach cewki odchodzą w dół dwie gałęzie.

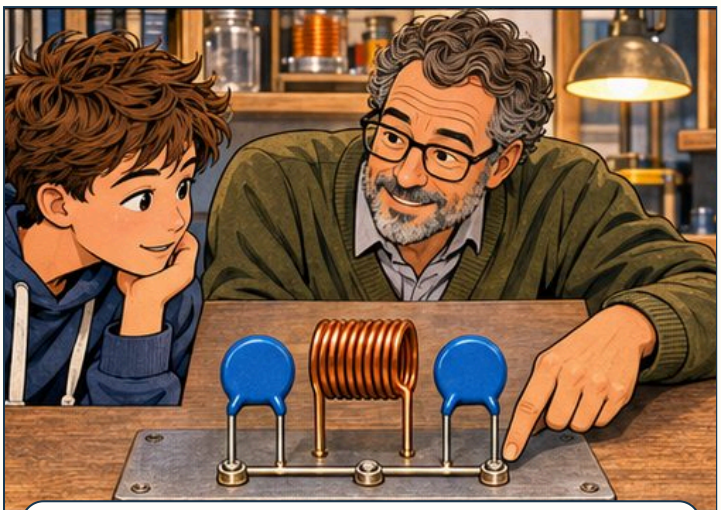


Ten układ przypomina grecką literę π.

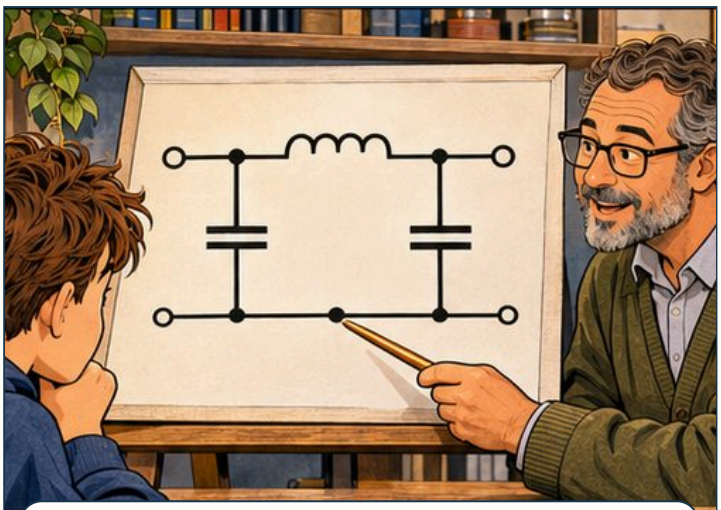


Adept śledzi ołówkiem każde połączenie.

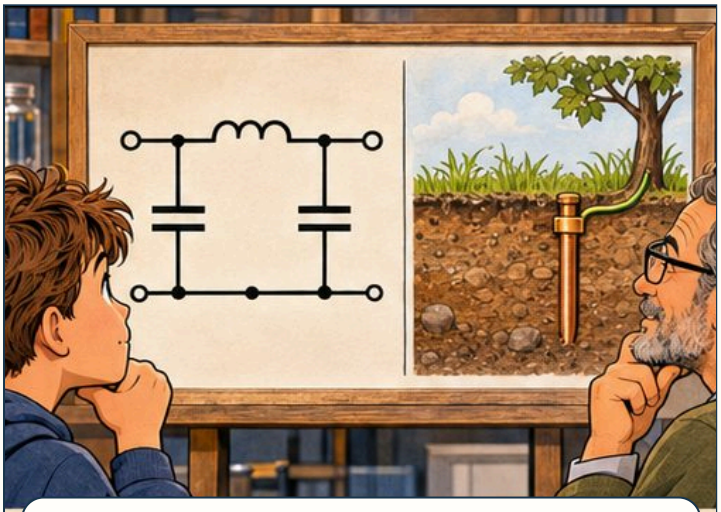
Masa na schemacie



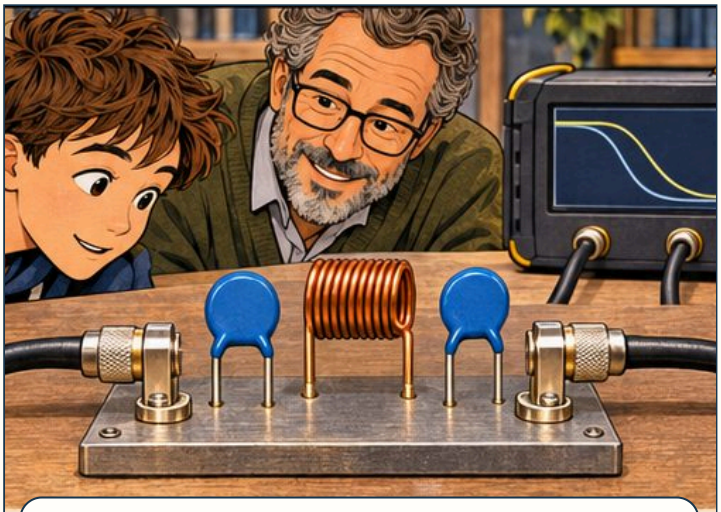
Oba kondensatory mają wspólny elektryczny punkt odniesienia.



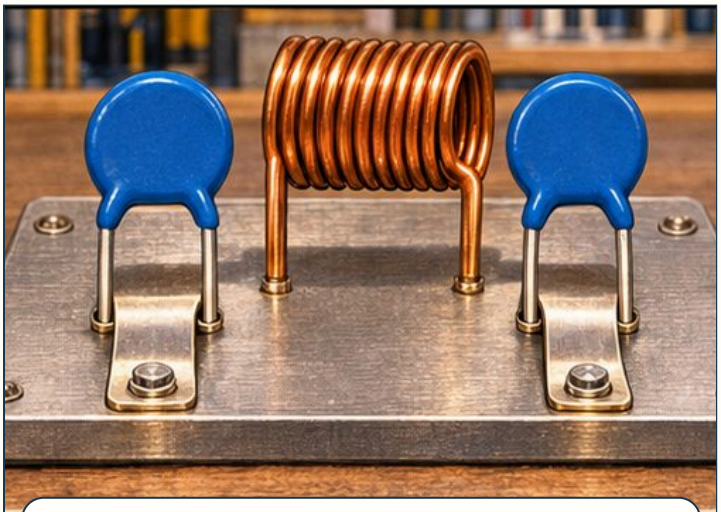
Symbol masy oznacza tutaj właśnie to odniesienie układu.



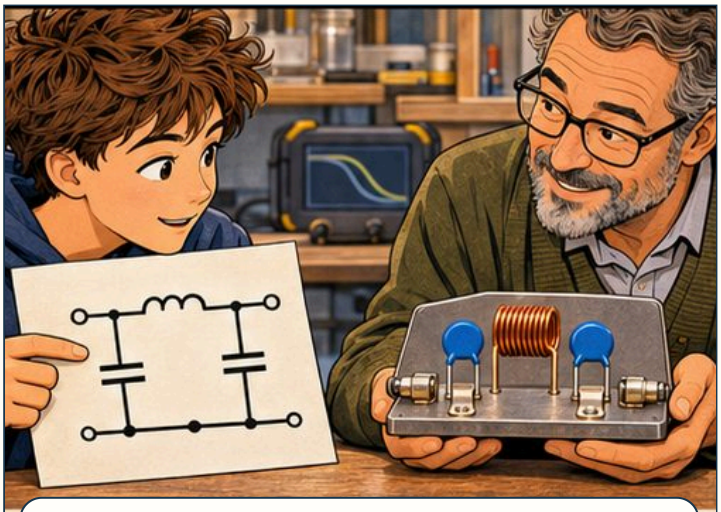
Nie oznacza automatycznie połączenia z ziemią.



Ekrany kabli koncentrycznych łączą się z tą masą zgodnie ze schematem.



Krótkie połączenie ogranicza niektóre efekty pasożytnicze.

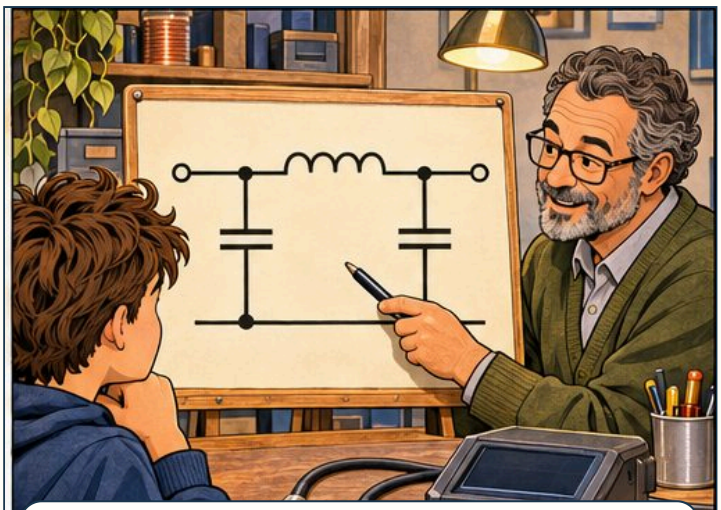


Adept odróżnia symbol od jego praktycznej realizacji.

Trzy elementy i rząd



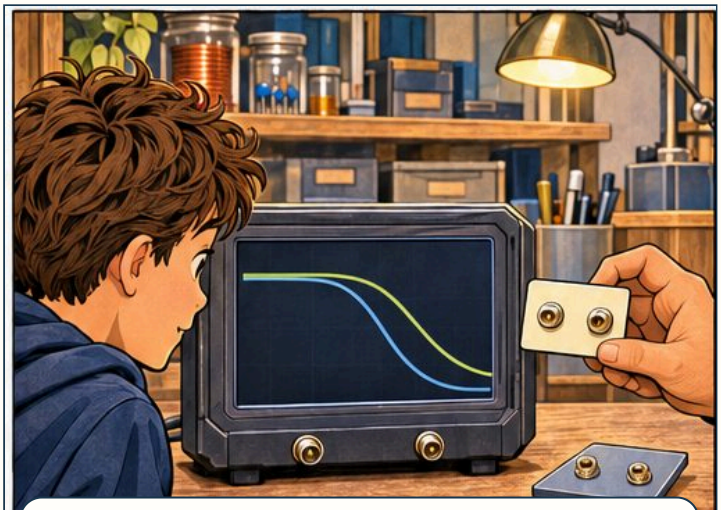
Ta idealna sieć ma trzy elementy reaktywne: C, L i C.



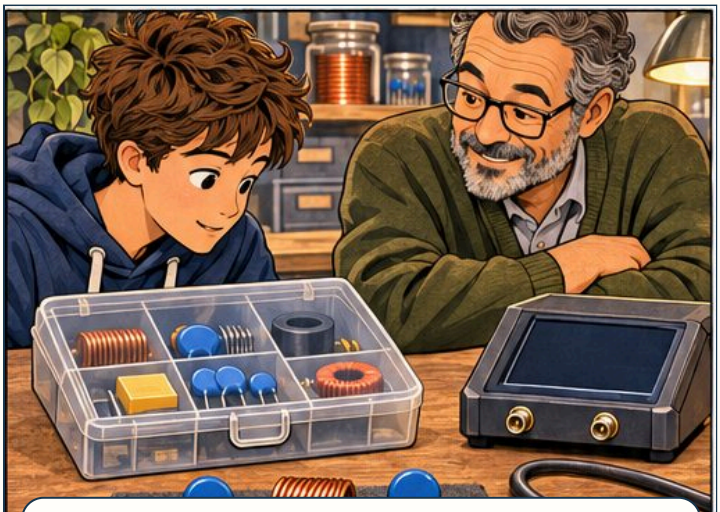
Tworzą one tutaj filtr dolnoprzepustowy trzeciego rzędu.



Rząd określa między innymi odległe nachylenie charakterystyki modelu.



Źle dobrana impedancja zmieniłaby jednak charakterystykę.



Losowe dodawanie elementów nie tworzy oczekiwanego filtru.

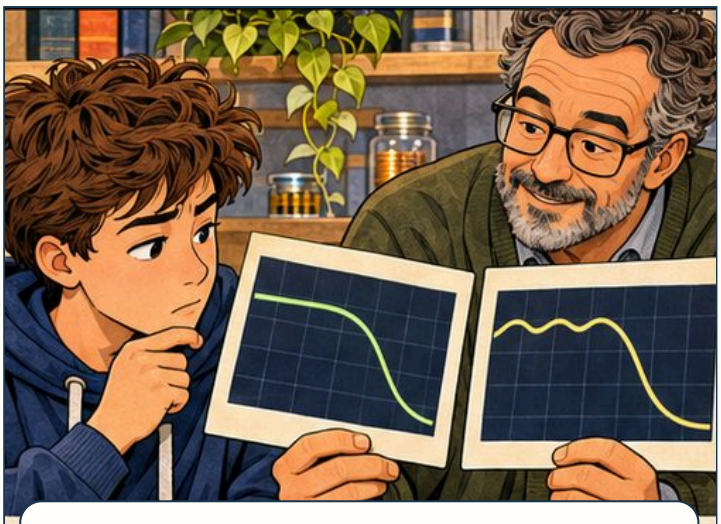


Kształt schematu musi odpowiadać obliczeniom.

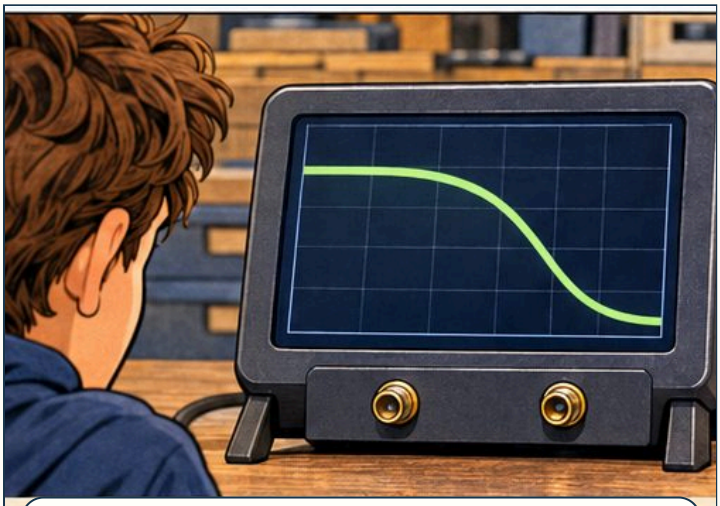
Dlaczego Butterworth?



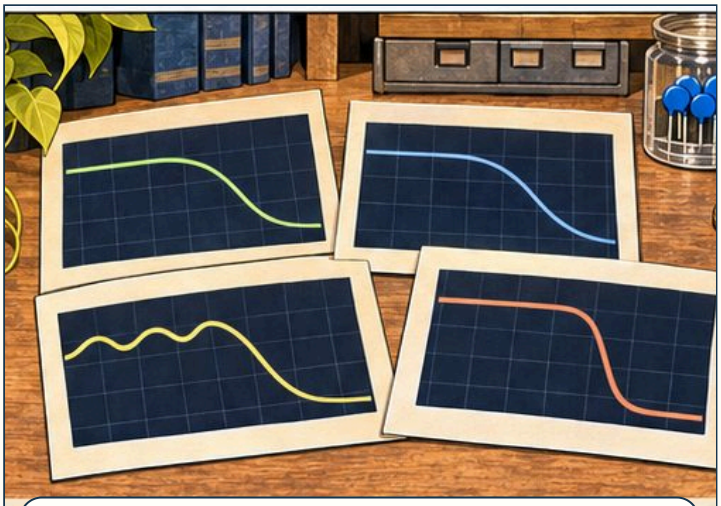
Charakterystyka Butterwortha jest maksymalnie płaska w paśmie przepustowym.



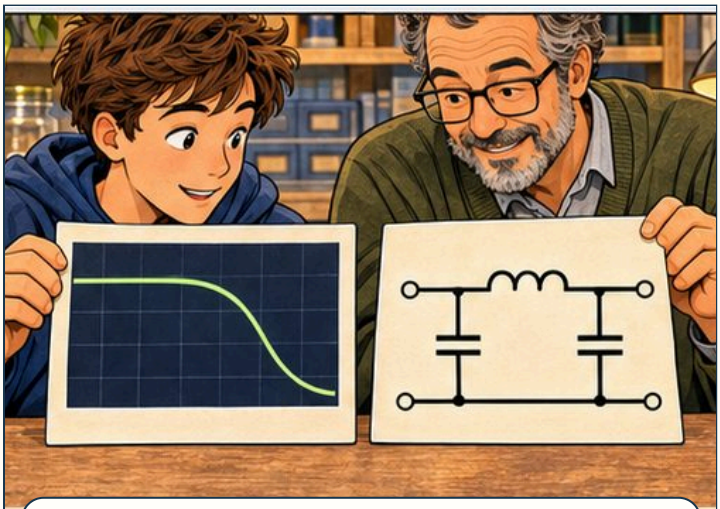
Jej idealny model nie ma w tym paśmie zafalowań.



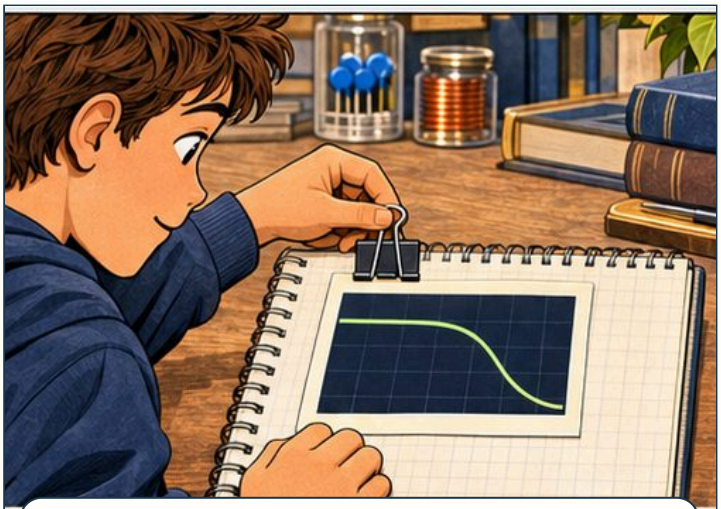
Przejście pozostaje stopniowe, z charakterystyczną krzywizną.



Inne charakterystyki przyjmują inne kompromisy.



Wybierają tę rodzinę do pierwszego przejrzystego projektu.



Nazwa mówi więc więcej niż samo określenie dolnoprzepustowy.

Zaczynamy od prototypu



Znormalizowany prototyp dostarcza współczynników projektowych.



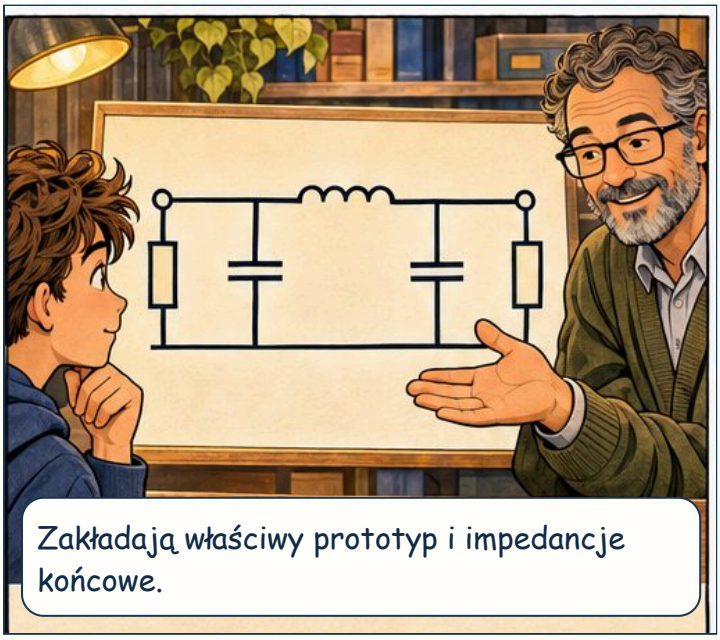
Dla tego filtru Butterwortha trzeciego rzędu wynoszą one 1, 2 i 1.



Odpowiadają kolejno kondensatorowi, cewce i kondensatorowi.



Te współczynniki nie są jeszcze wartościami kupowanych elementów.



Zakładają właściwy prototyp i impedancje końcowe.



Trzeba jeszcze ustalić skalę częstotliwości i impedancji.

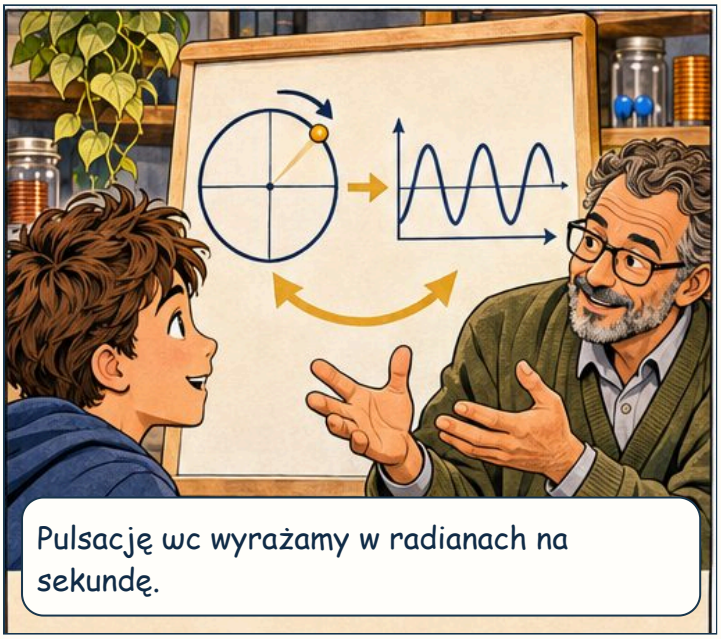
Zmiana skali



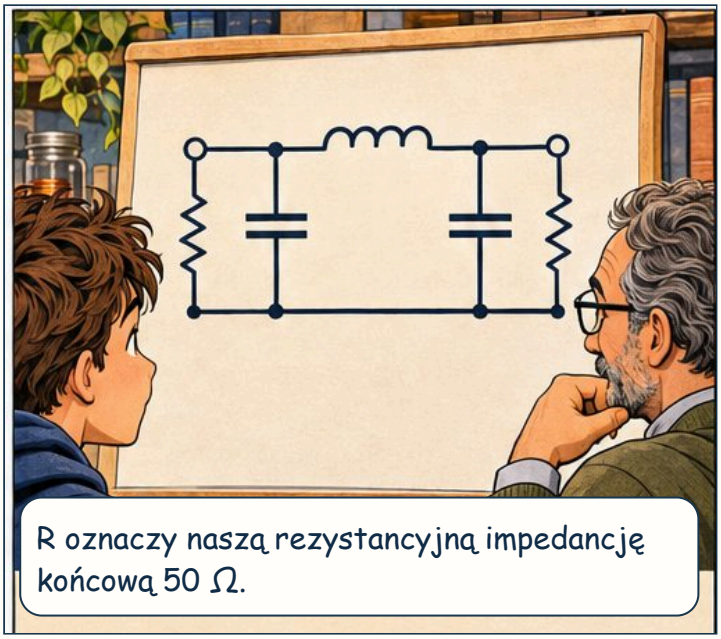
Pulsacja graniczna wynosi ωc = 2πfc.



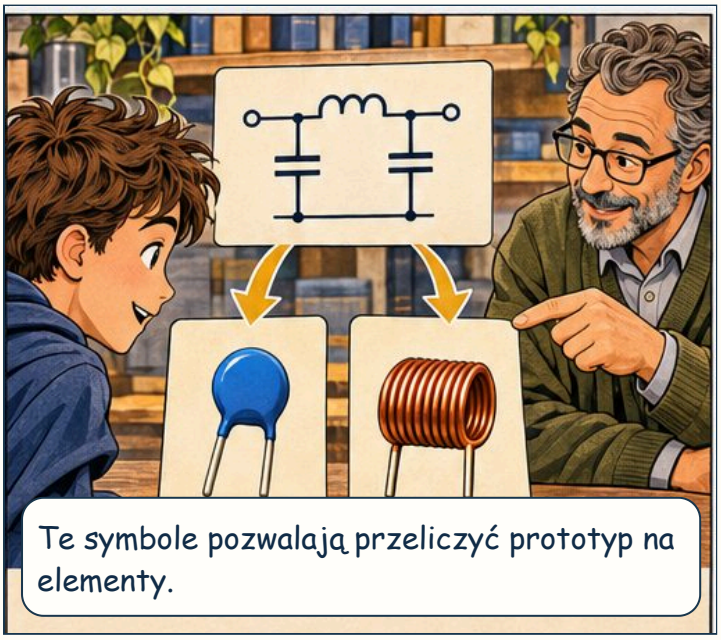
Tutaj fc oznacza częstotliwość graniczną w hercach.



Pulsację ωc wyrażamy w radianach na sekundę.



R oznaczy naszą rezystancyjną impedancję końcową 50 Ω.



Te symbole pozwalają przeliczyć prototyp na elementy.

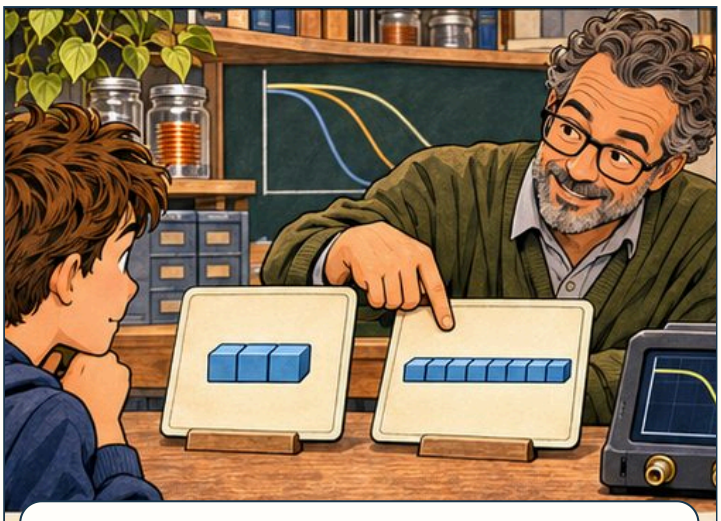


Adept przepisuje je, zanim wyjmie kalkulator.

Jednostki przed liczbami



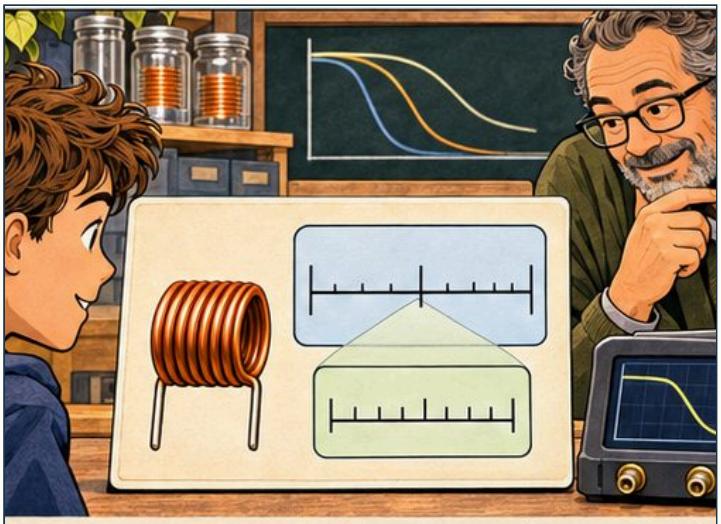
Jeden megaherc to milion herców.



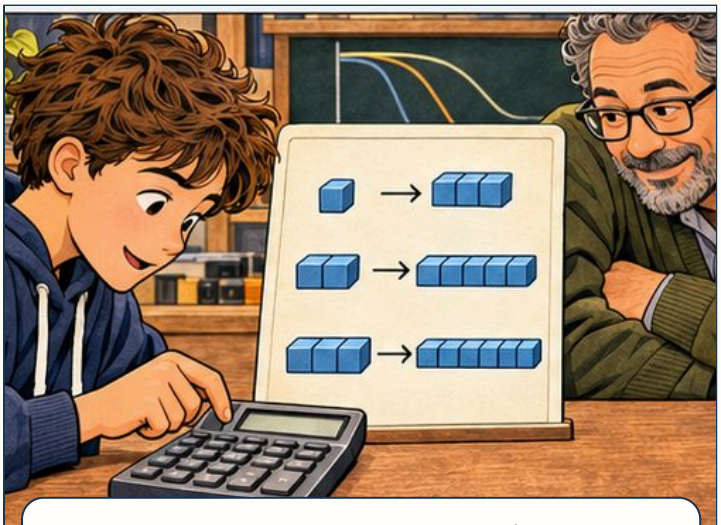
Ich graniczne 10 MHz to zatem 10 000 000 Hz.



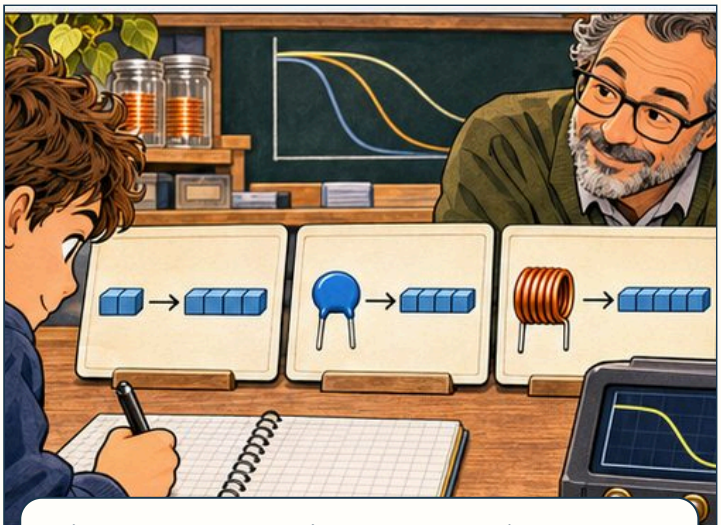
Jeden pikofarad to 10^{-12} F.



Jeden mikrohenr to 10^{-6} H.



Wzory najpierw wykorzystają jednostki podstawowe.

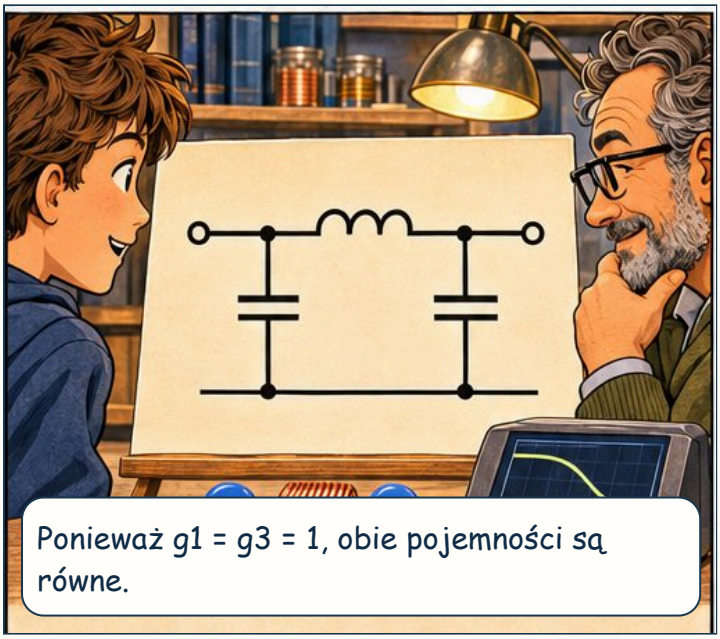


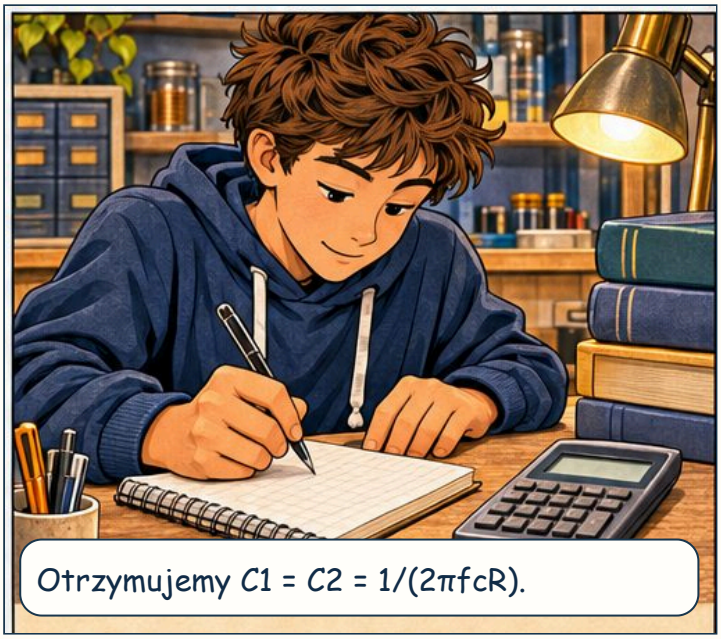
Adept trzyma przeliczenia na widoku obok obliczeń.

Wzór na kondensatory













Obliczanie pojemności



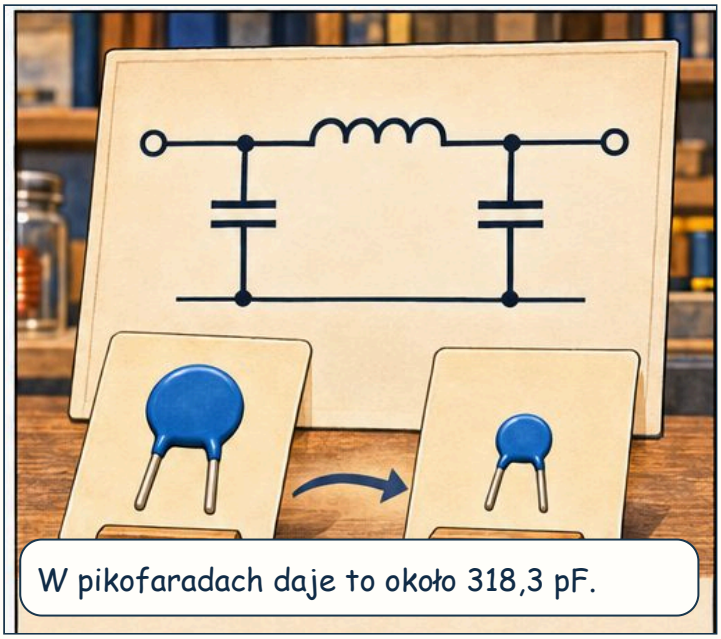
Podstawiają fc = 10 000 000 Hz oraz R = 50 Ω.



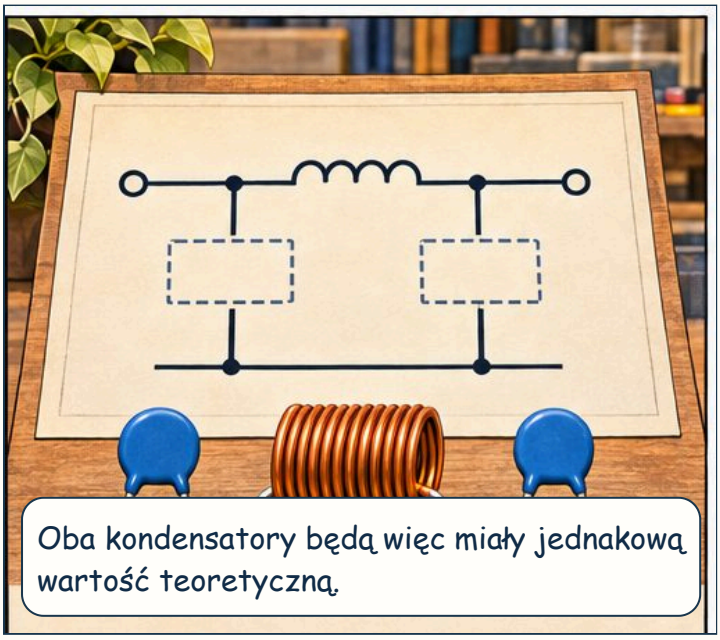
Mianownik wynosi około 3,142 × 10^{9}.



Każda idealna pojemność wynosi około 3,183 × 10^{-10} F.



W pikofaradach daje to około 318,3 pF.

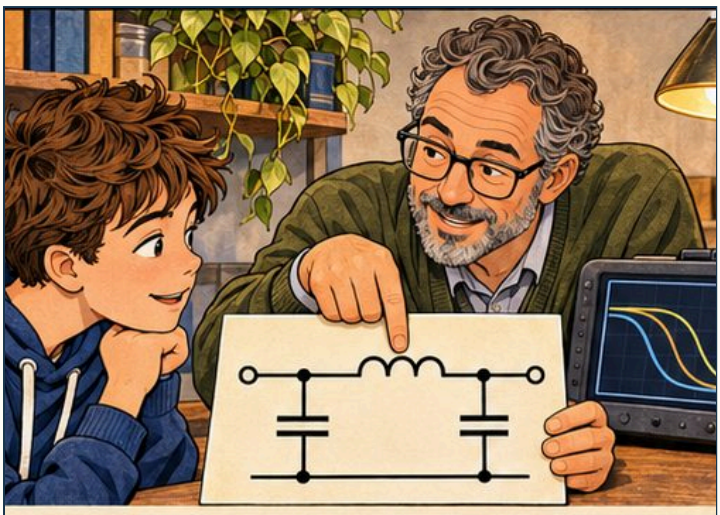


Oba kondensatory będą więc miały jednakową wartość teoretyczną.



Lucas zapisuje wynik wraz z jednostką.

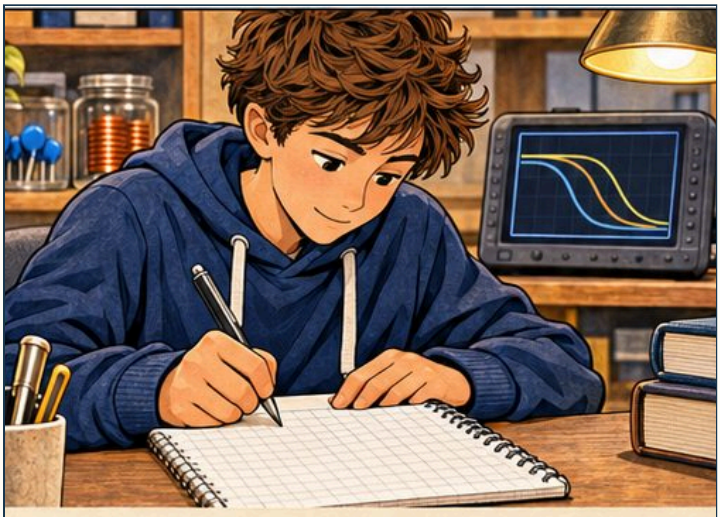
Wzór na cewkę



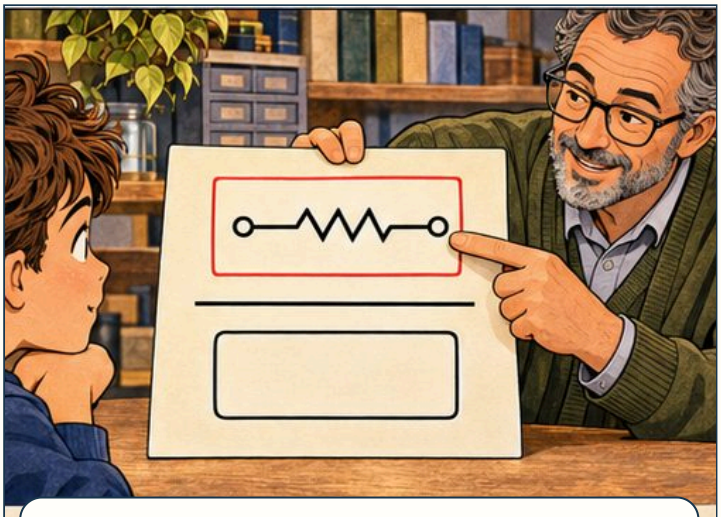
Dla cewki szeregowej L = g2R/ωc.



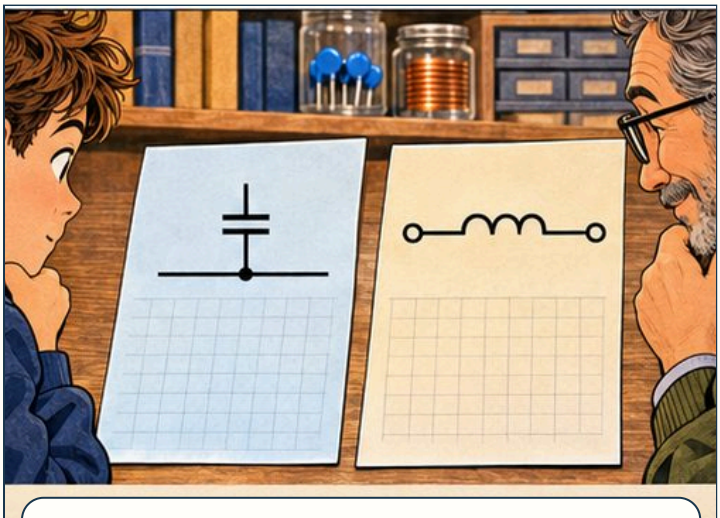
Środkowy współczynnik wynosi tutaj g2 = 2.



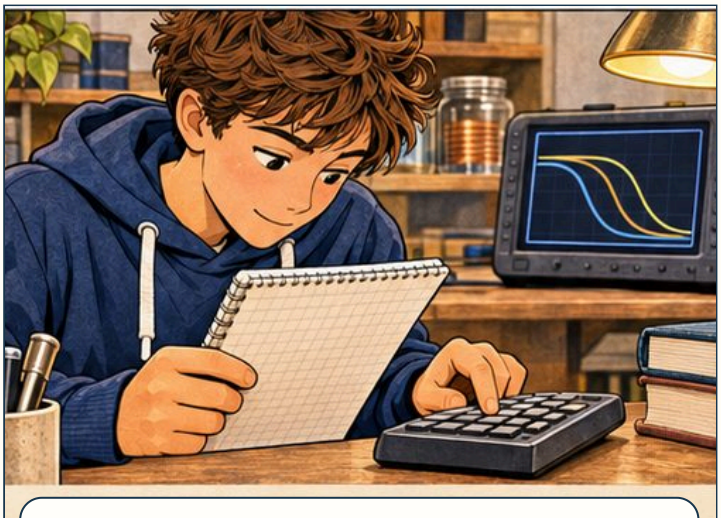
Otrzymujemy zatem L = 2R/(2πfc).



Tym razem rezystancja końcowa znajduje się w liczniku.



Adept porównuje ten wzór ze wzorem na kondensatory.

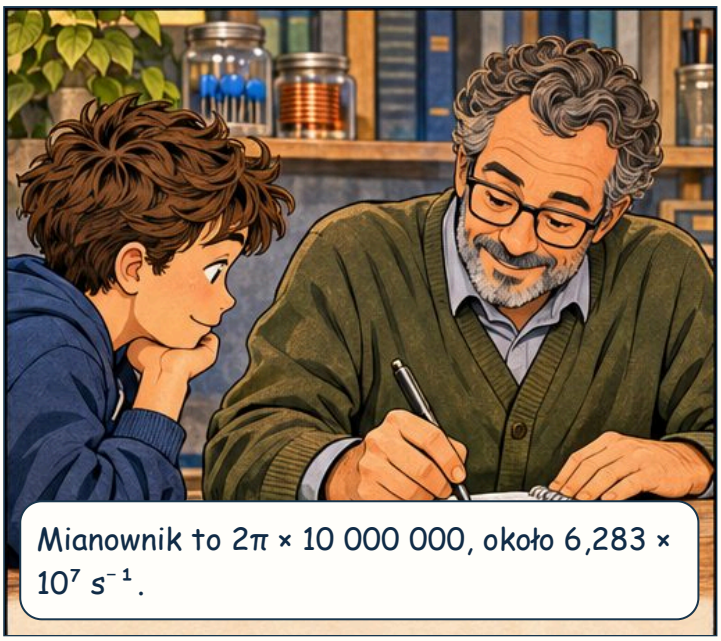


Podobny wygląd nie zwalnia z ponownego przeczytania.

Obliczanie indukcyjności



Licznik wynosi 2 × 50, czyli 100 Ω.



Mianownik to 2π × 10 000 000, około 6,283 × 10^{7} s^{-1}.



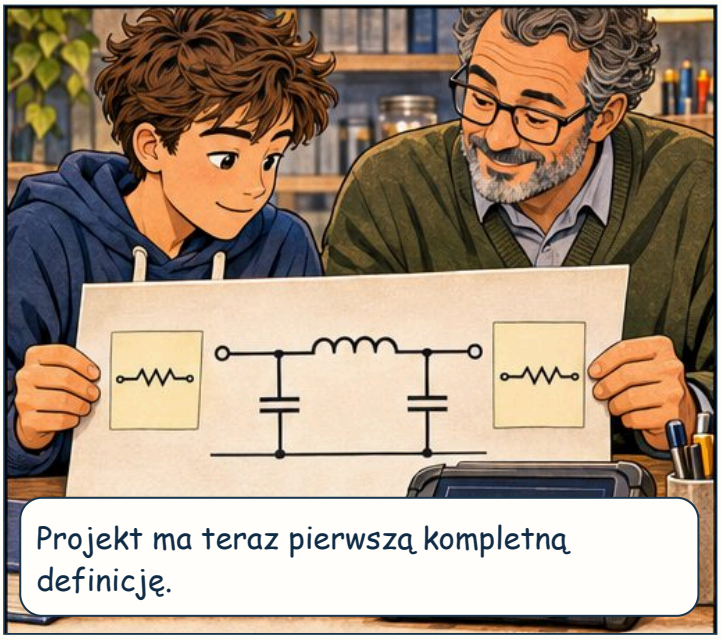
Obliczenie daje około 1,592 × 10^{-6} H.



Idealna cewka będzie więc miała indukcyjność około 1,59 μH.



Zbierają trzy wyniki na jednym schemacie.



Projekt ma teraz pierwszą kompletną definicję.

Błąd o milion



Adept próbuje szybko ponownie wprowadzić obliczenie.



Wpisuje 10 zamiast 10 000 000.



Wynik staje się milion razy za duży.



Porównanie z oczekiwanymi elementami natychmiast ujawnia problem.



Poprawia dane i ponownie oblicza niezależnie.

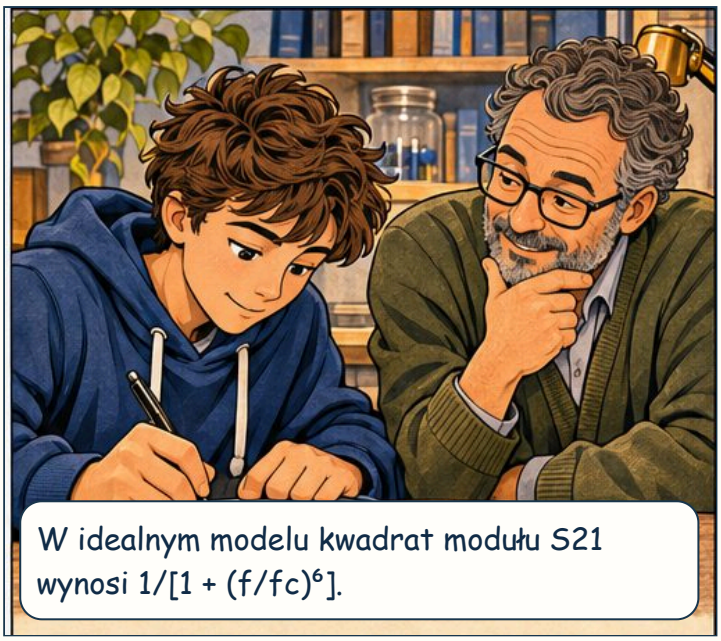


Sprawdzanie rzędu wielkości staje się przydatnym nawykiem.

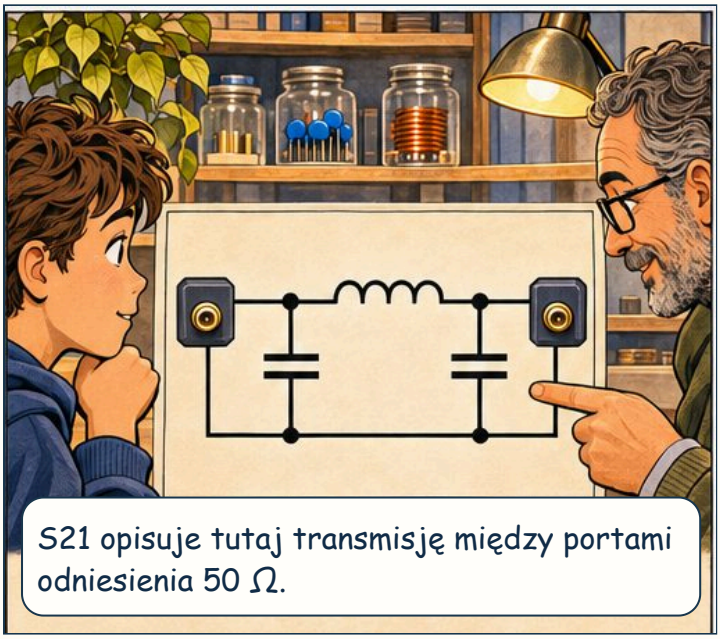
Przewidzieć całą krzywą



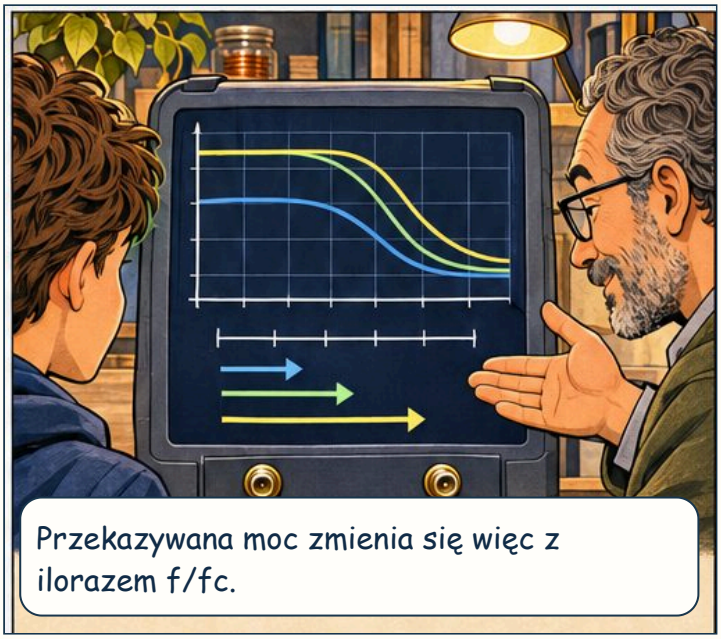
Trzy wartości nie opisują jeszcze całej charakterystyki.



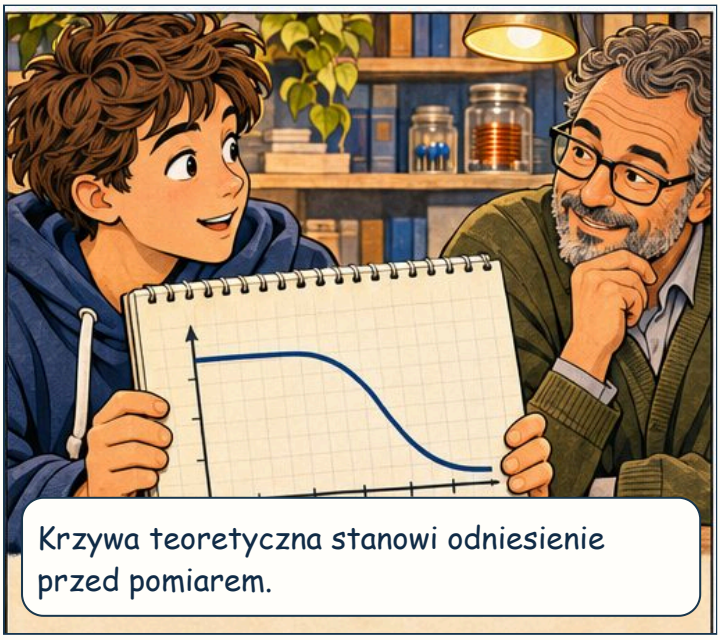
W idealnym modelu kwadrat modułu S21 wynosi $1/[1 + (f/fc)^6]$.



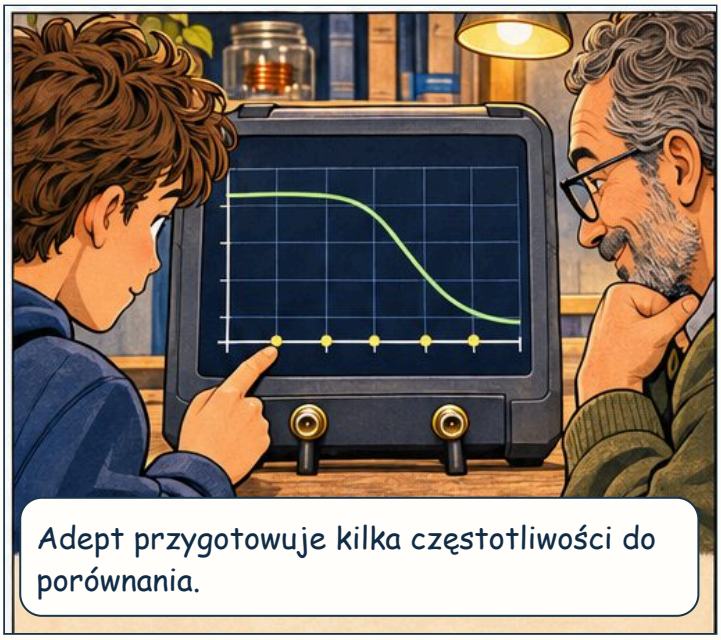
S21 opisuje tutaj transmisję między portami odniesienia 50 Ω.



Przekazywana moc zmienia się więc z ilorazem f/fc.



Krzywa teoretyczna stanowi odniesienie przed pomiarem.



Adept przygotowuje kilka częstotliwości do porównania.

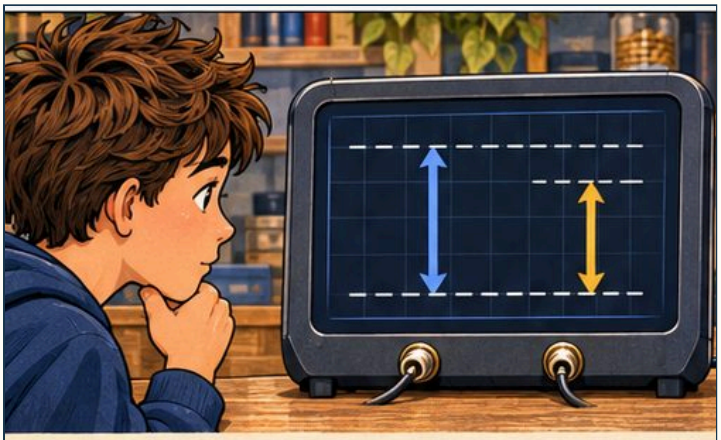
Co oznacza minus trzy decybele?



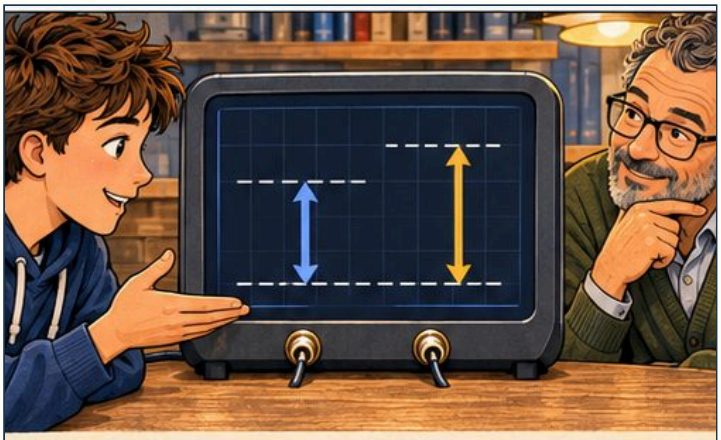
Przy f = fc idealny stosunek przekazywanej mocy wynosi 1/2.



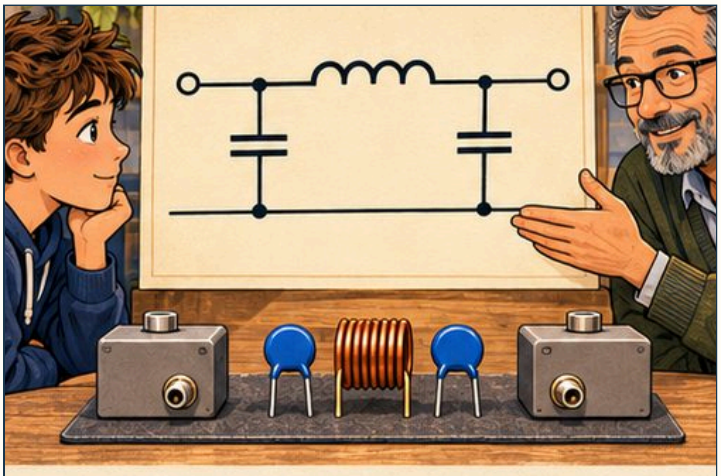
W decybelach 10 log10(1/2) daje około −3,01 dB.



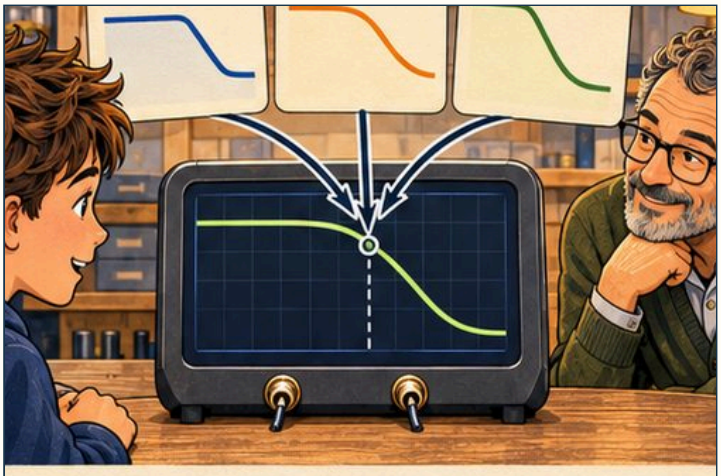
Moduł S21 wynosi wtedy około 0,707.



Ta amplituda nie jest więc połową.



Obliczenie wykorzystuje odpowiednie odniesienia 50 Ω.

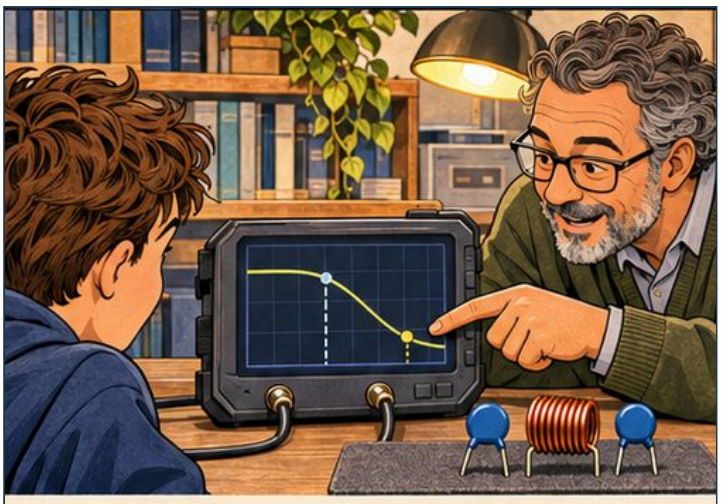


Adept łączy trzy zapisy tego samego punktu krzywej.

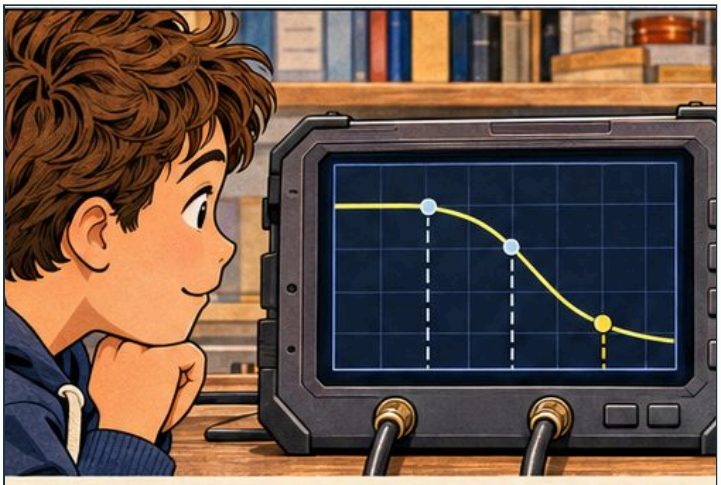
Powyżej częstotliwości granicznej



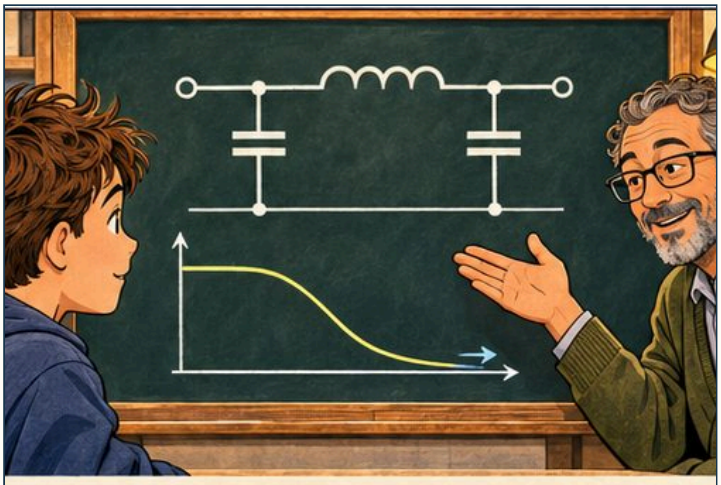
Przy 20 MHz iloraz f/fc wynosi 2.



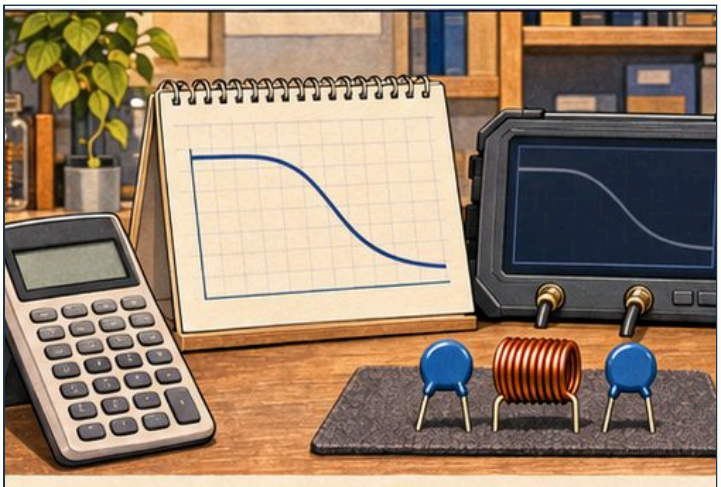
Idealna transmisja wynosi około −18,13 dB.



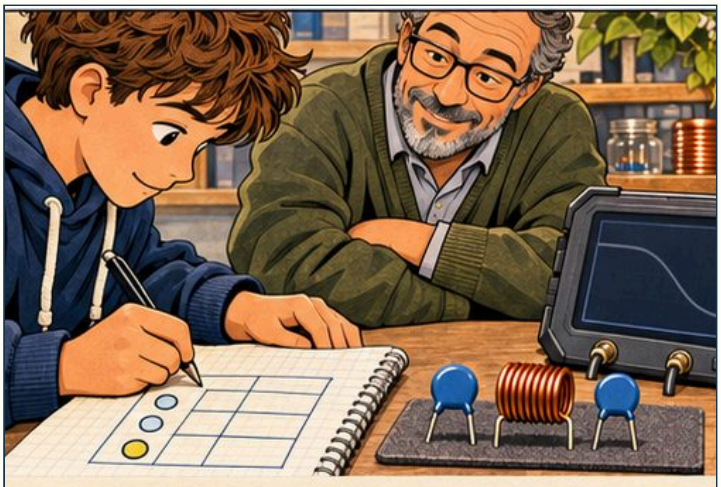
Przy 30 MHz f/fc wynosi 3: około −28,63 dB.



Tłumienie rośnie, ale pozostaje skończone.

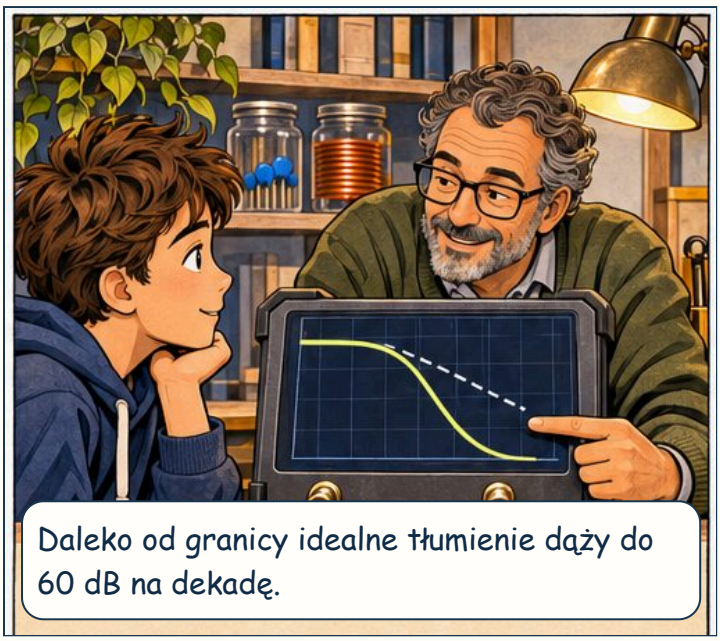


Te liczby obliczono, a nie zmierzono w ich układzie.



Adept umieszcza je w kolumnie przewidywań.

Nachylenie nie jest obietnicą



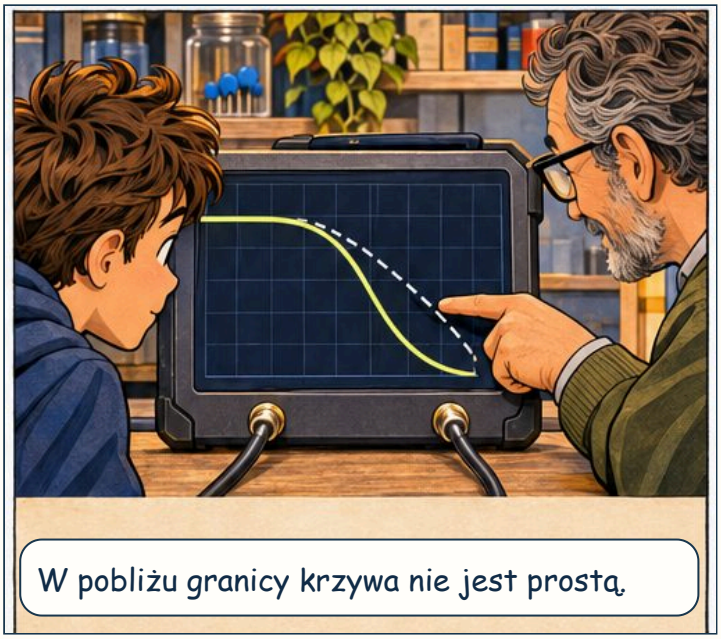
Daleko od granicy idealne tłumienie dąży do 60 dB na dekadę.



Dekada oznacza dziesięciokrotny wzrost częstotliwości.



To asymptotyczne nachylenie należy do modelu trzeciego rzędu.



W pobliżu granicy krzywa nie jest prostą.

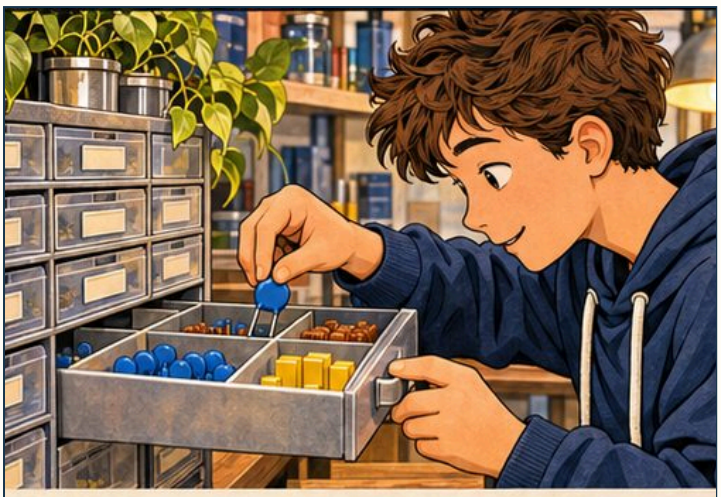


Rzeczywiste elementy również ograniczą tę tendencję.

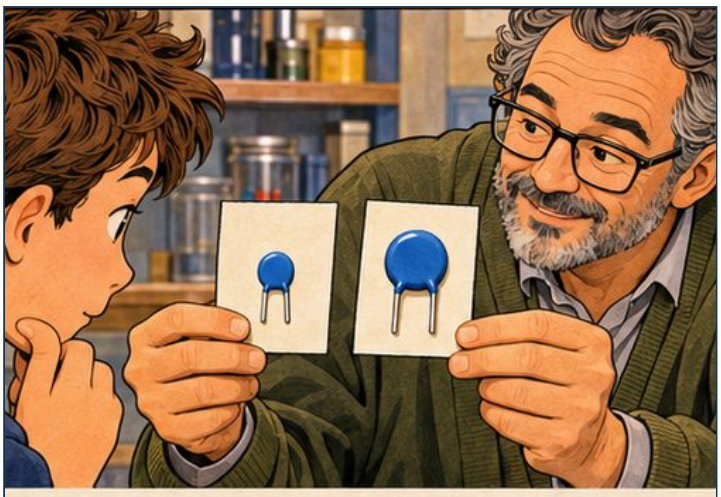


Adept nie rozciąga reguły poza warunki jej obowiązywania.

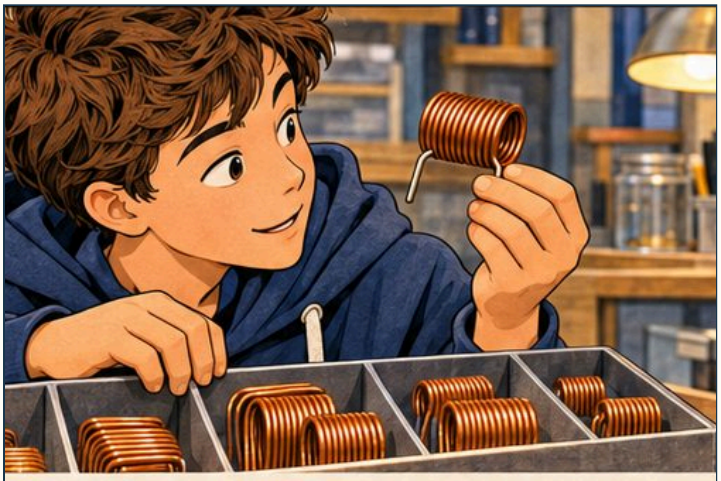
Dostępne wartości



W szufladzie niekoniecznie są kondensatory 318,3 pF.



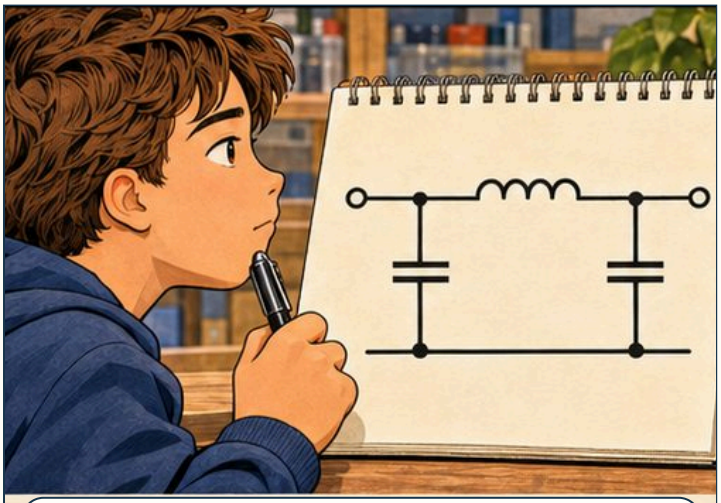
Popularna wartość 330 pF nie jest identyczna.



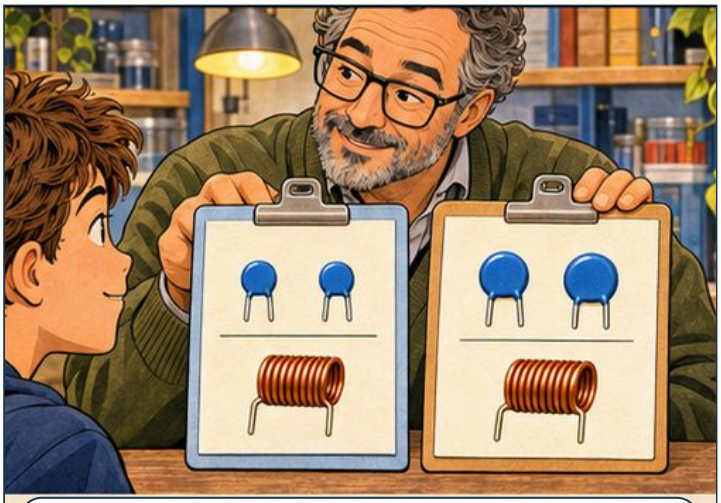
Cewka 1,6 µH jest bliska obliczonej wartości.



Wybór tych wartości wymaga przeliczenia lub symulacji charakterystyki.

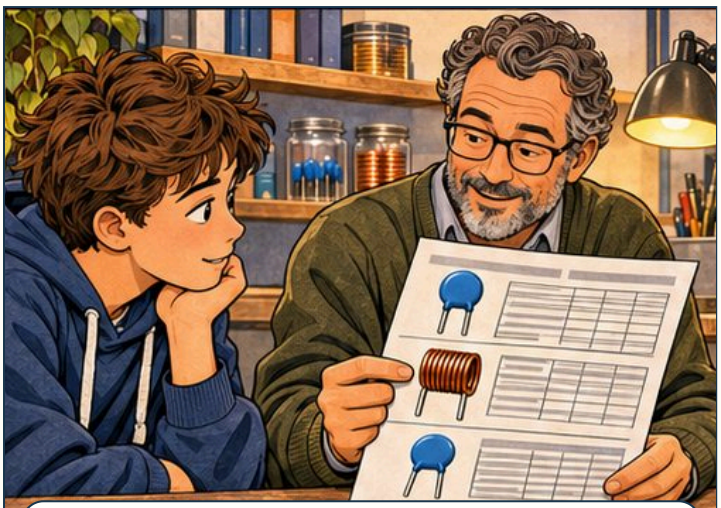


Nie można automatycznie nazwać tego układu dokładnie 10 MHz.



Adept osobno zachowuje wartości idealne i wybrane.

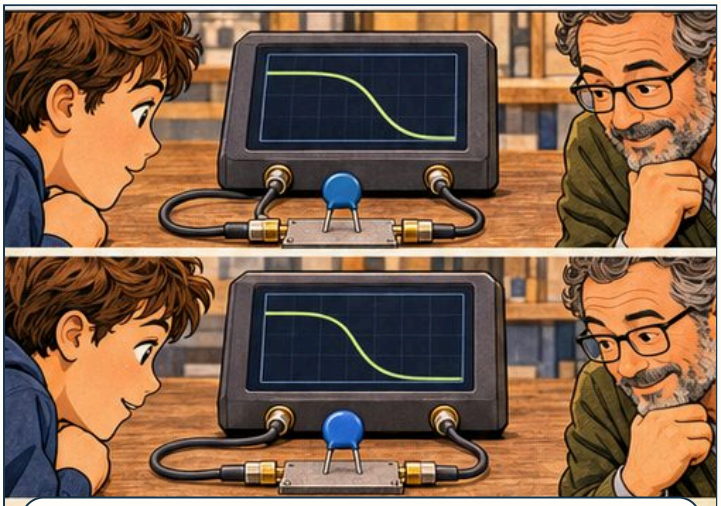
Każdy element ma tolerancję



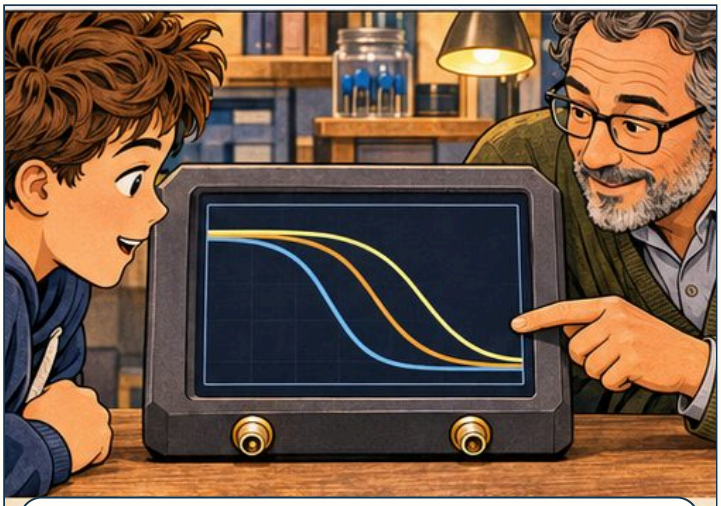
Wartość nominalna nie jest gwarantowaną wartością dokładną.



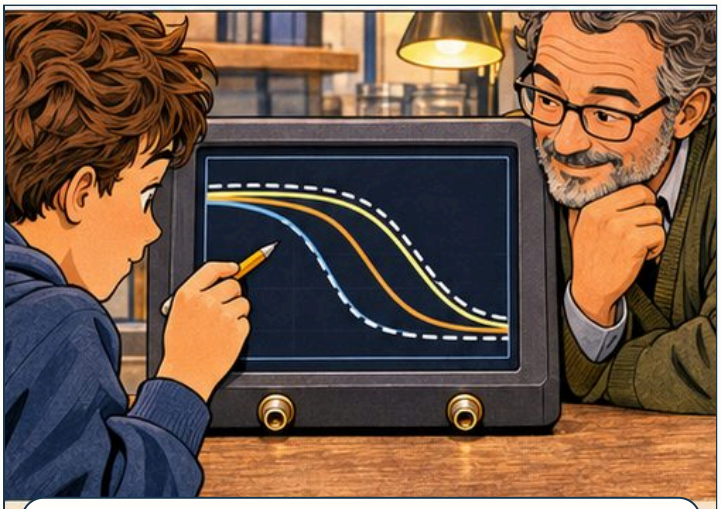
Tolerancje kondensatorów i cewki mają znaczenie.



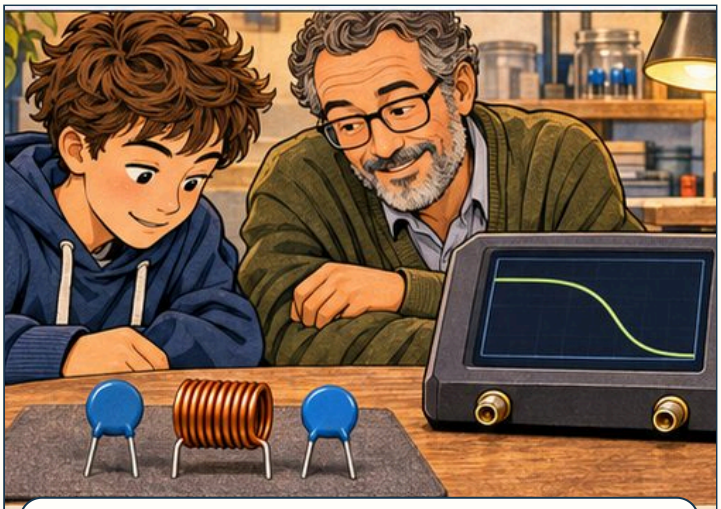
Dwa elementy z tym samym oznaczeniem mogą się nieco różnić.



Symulacja może zbadać różne kombinacje wartości.



Pomaga przewidzieć zakres możliwych charakterystyk.



Pomiar zbada następnie faktycznie użyte elementy.

Ukryte elementy



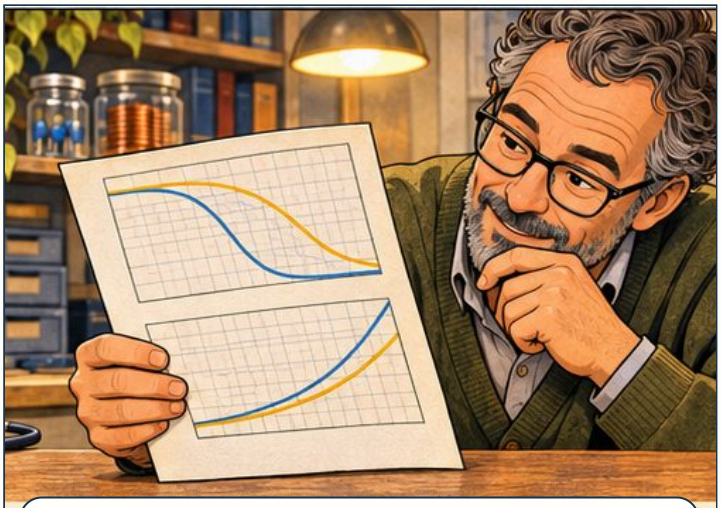
Rzeczywista cewka ma też rezystancję i pojemność pasożytniczą.



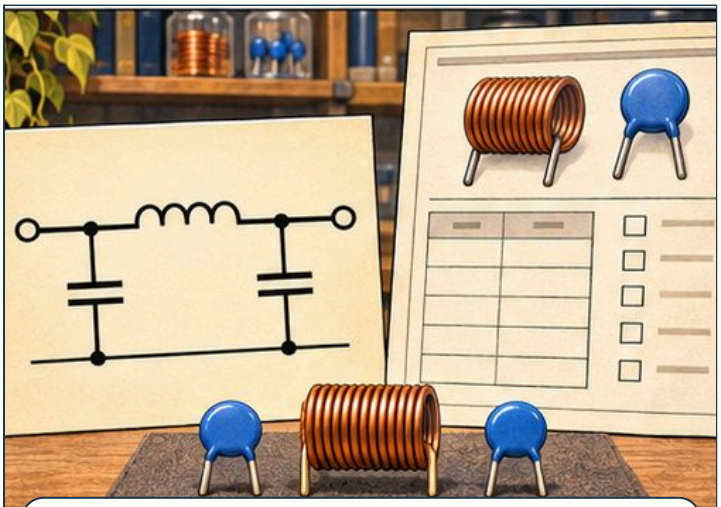
Kondensator ma między innymi straty i indukcyjność pasożytniczą.



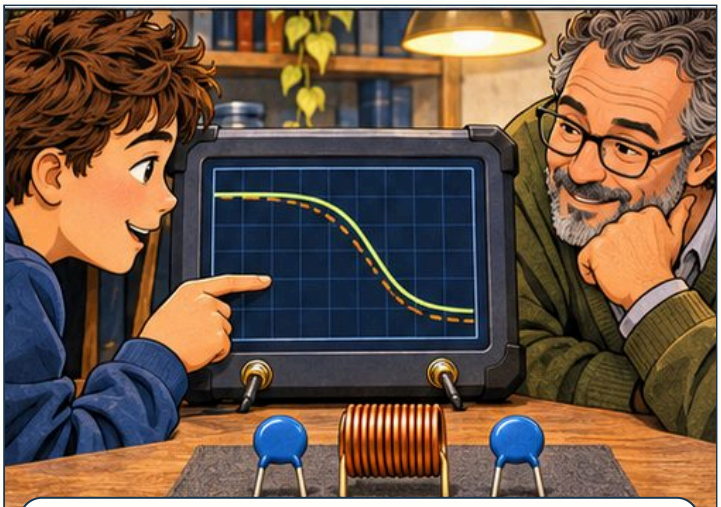
Ich zachowanie zmienia się w pobliżu pewnych rezonansów.



Karty katalogowe podają granice wymagające sprawdzenia.



Sama wartość w pikofaradach lub mikrohenrach nie wystarcza.



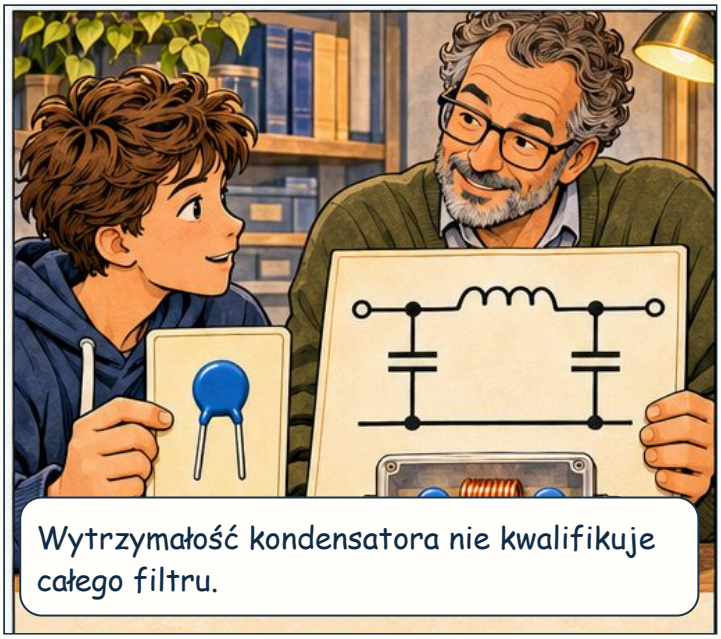
Adept uczy się czytać dalej niż pierwszą linijkę.

Stanowisko nie kwalifikuje nadajnika





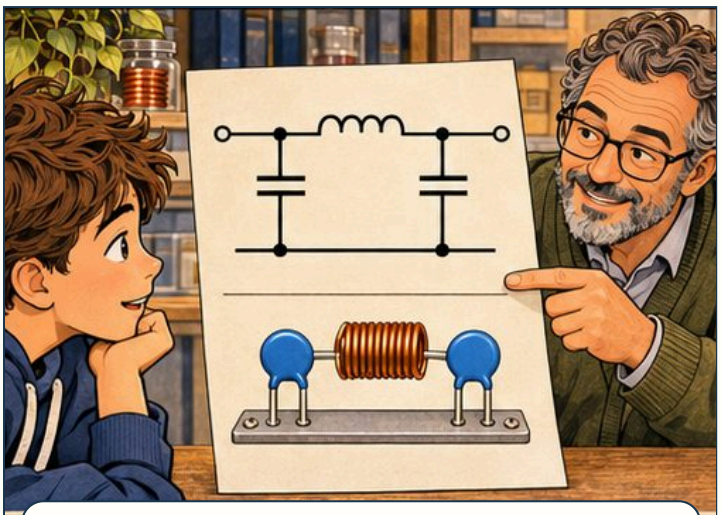




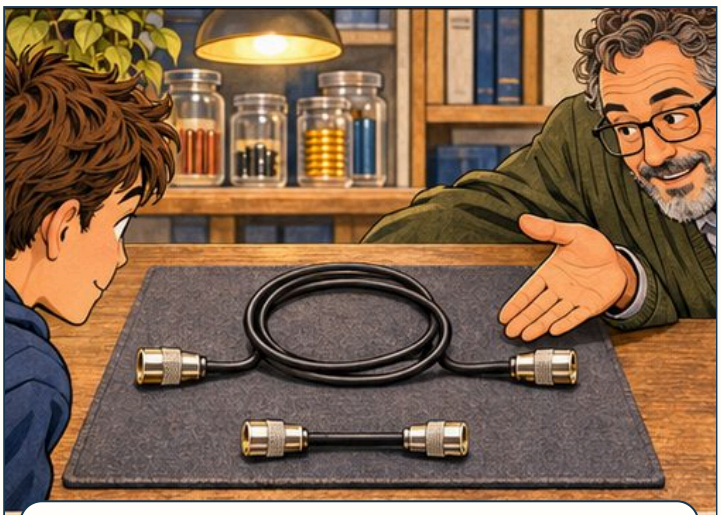




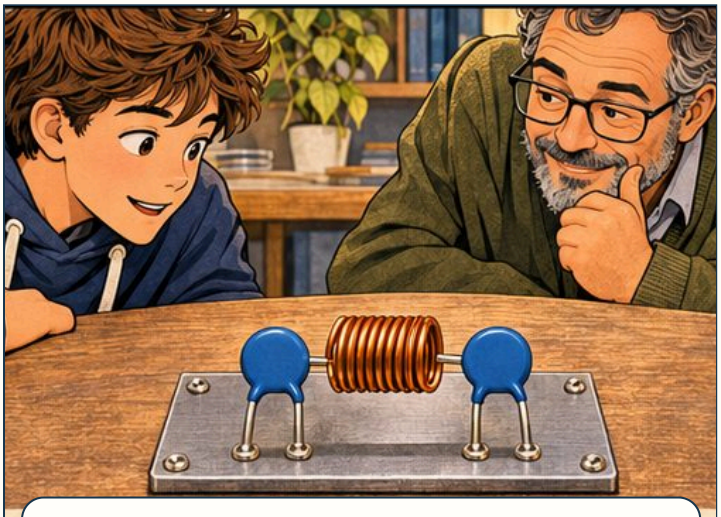
Rysowanie rozmieszczenia



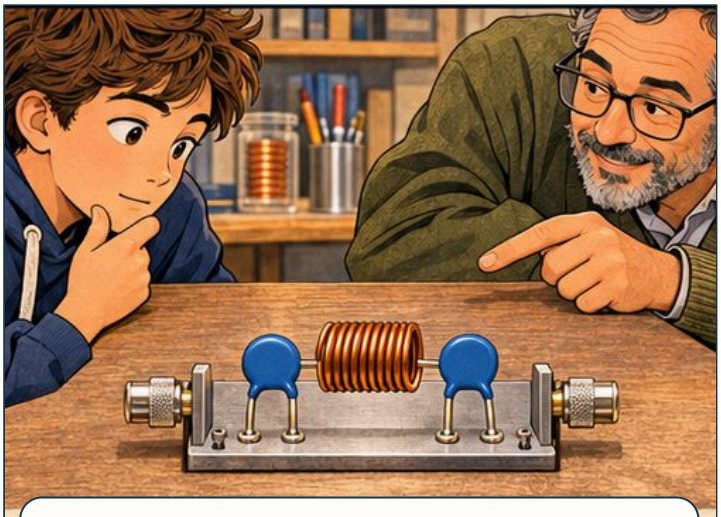
Schemat podaje połączenia, lecz nie całą ich geometrię.



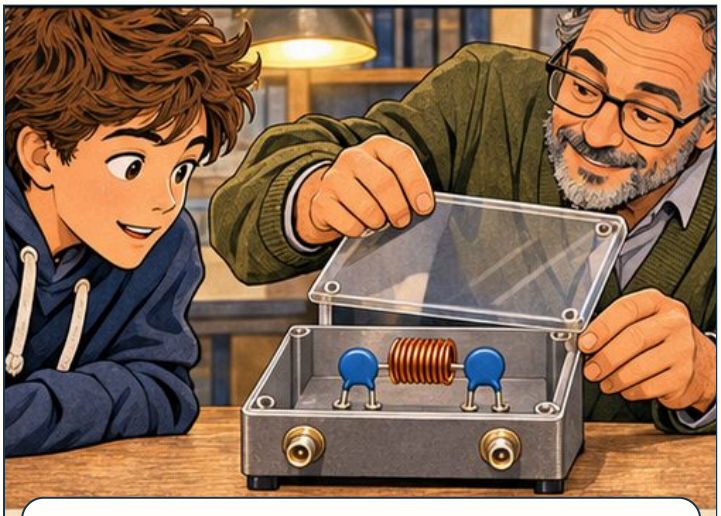
Przy tych częstotliwościach długość połączeń i rozmieszczenie mogą mieć znaczenie.



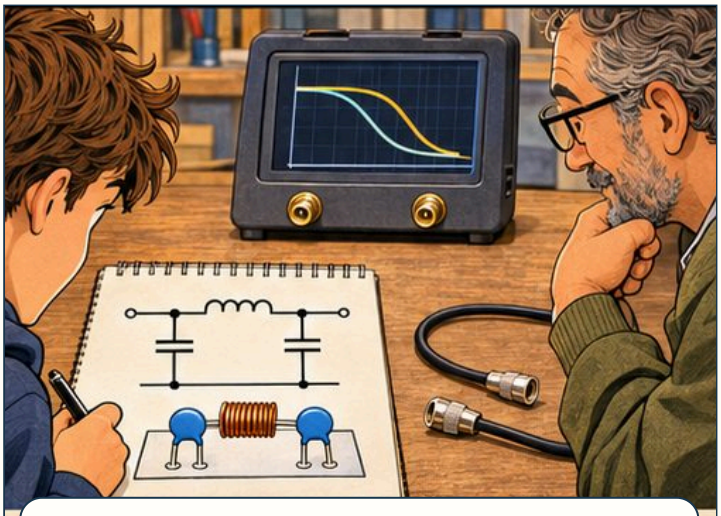
Przewidują wspólną masę oraz krótkie połączenia.



Odsuwają też drogi mogące sprzęgać się bezpośrednio.



Henri przygotowuje układ pokazowy odpowiedni do pomiaru.

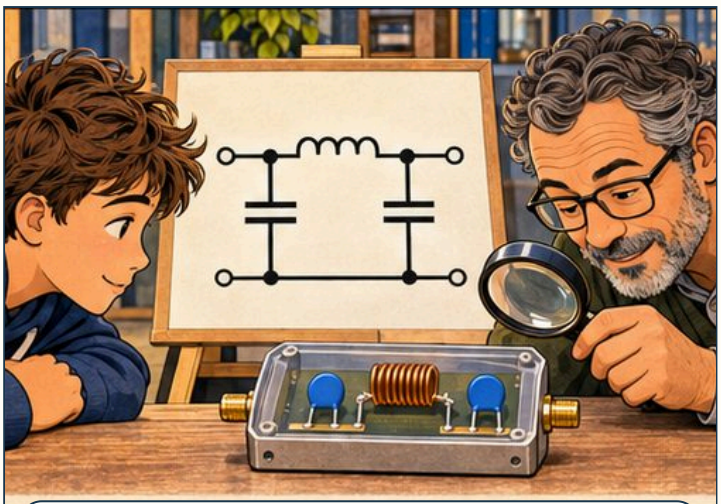


Lucas porównuje rozmieszczenie ze schematem, połączenie po połączeniu.

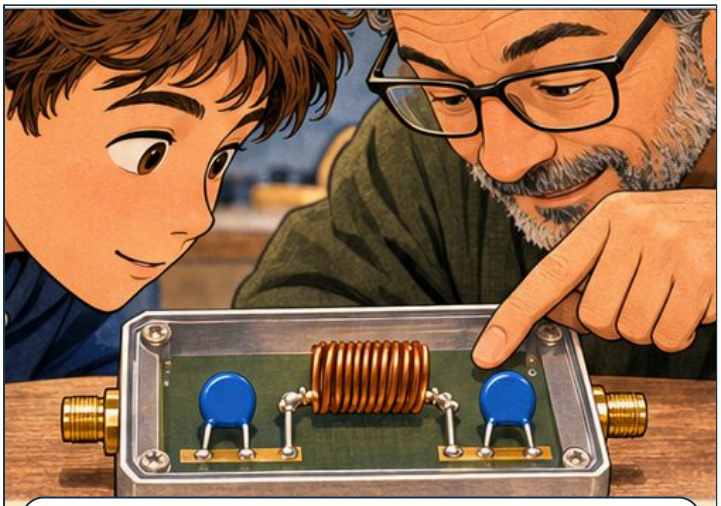
Sprawdzić przed podłączeniem



Podczas przygotowań źródło pomiarowe pozostaje wyłączone.



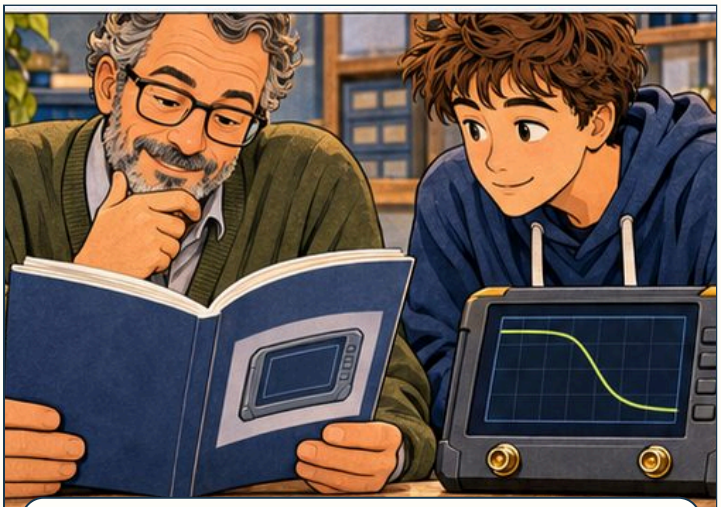
Sprawdzają połączenia, elementy i wspólną masę.



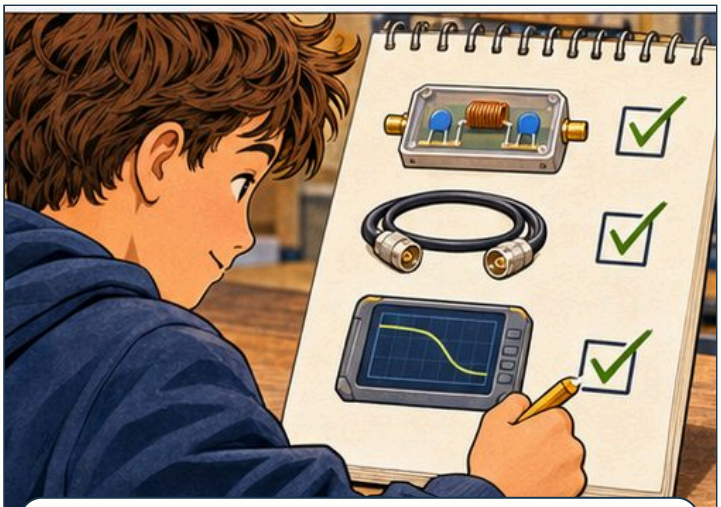
Szukają zwarć, błędnych połączeń i uszkodzonych części.



Oglądają również złącza i kable.



Mentor sprawdza dopuszczalne parametry wejścia przyrządu.

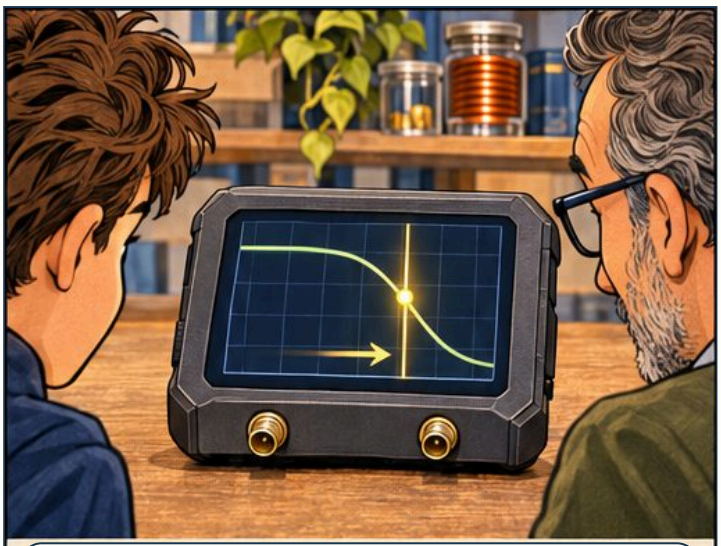


Adept kończy listę przed pierwszym przemiataniem częstotliwości.

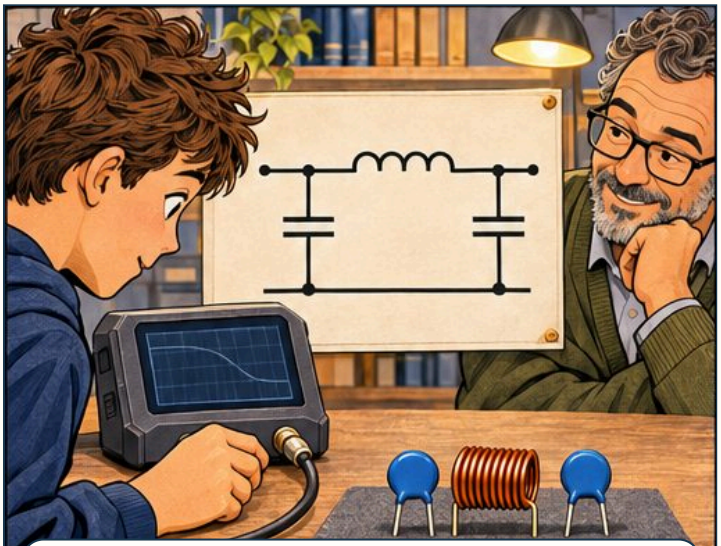
Analizator zadaje pytania



Analizator sieci wysyła znany słaby sygnał.



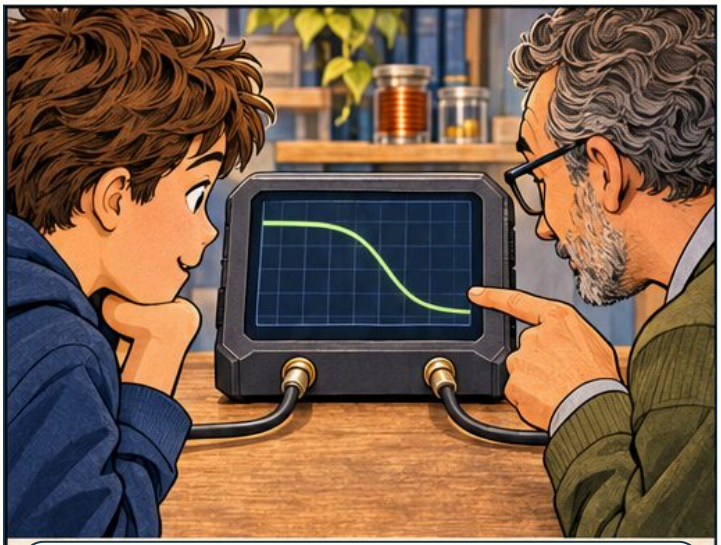
Przemiata wybrany zakres częstotliwości.



Port 1 zasila wejście filtru.



Port 2 obserwuje transmisję na jego wyjściu.



Parametr S21 pozwala śledzić tę transmisję.



Porty zapewniają przewidziane odniesienia 50 Ω.

Kalibracja we właściwym miejscu



Kable i adaptery uczestniczą w pomiarze.



Dlatego stosują procedurę kalibracji przewidzianą dla przyrządu.



Odpowiednie wzorce podłącza się zgodnie z instrukcją.



Płaszczyzny odniesienia umieszcza się na końcach kabli.



Po kalibracji te połączenia zachowuje się w miarę możliwości.



Adept zapisuje konfigurację i ustawienia przemiatania.

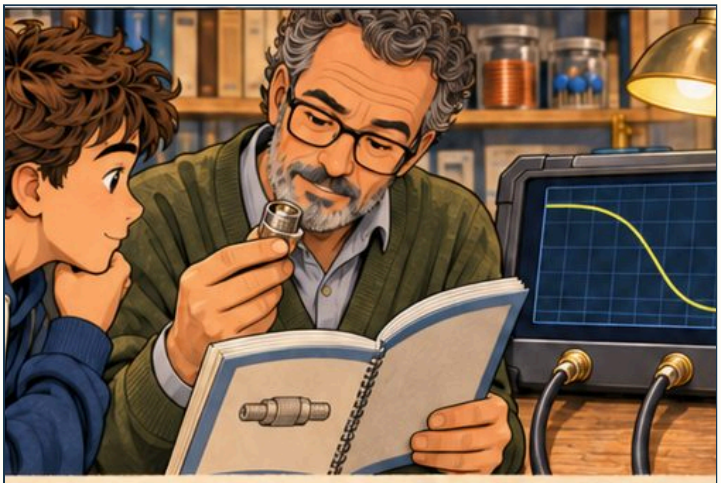
Sprawdzić tor bezpośredni



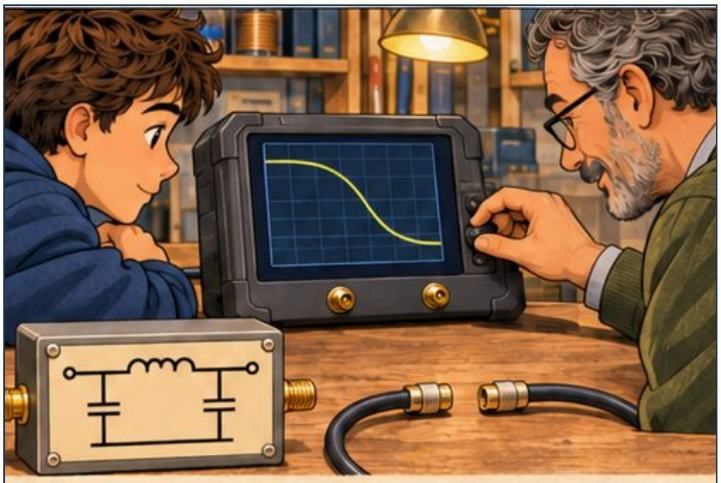
Przed filtrem bezpośrednie połączenie pozwala sprawdzić odniesienie.



Oczekiwana transmisja musi odpowiadać temu połączeniu.



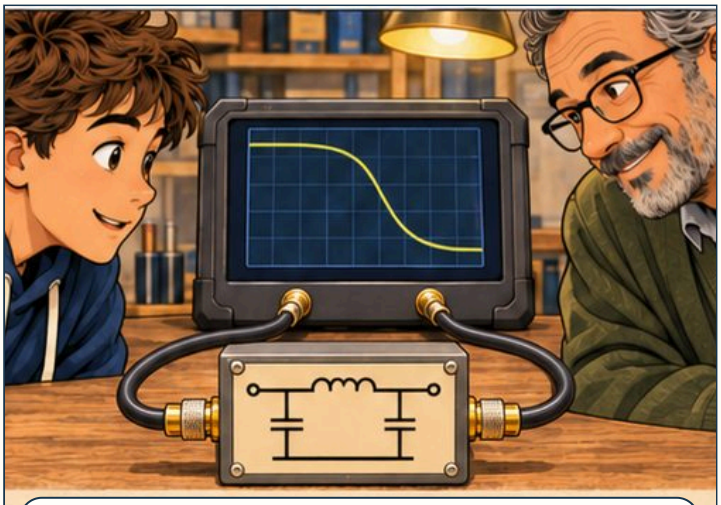
Anomalia wymaga sprawdzenia kabli, kalibracji i ustawień.



Nie poprawia się filtru, by ukryć wadę stanowiska.



Po sprawdzeniu źródło wyłącza się przed podłączeniem.

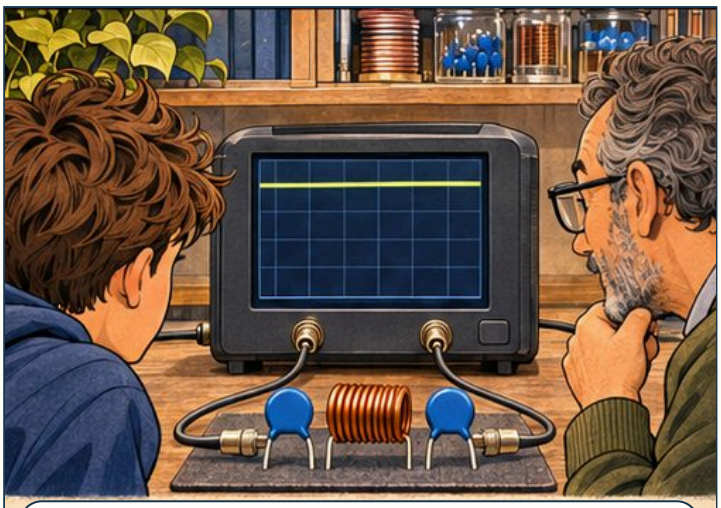


Następnie filtr zajmuje miejsce między dwoma kablami.

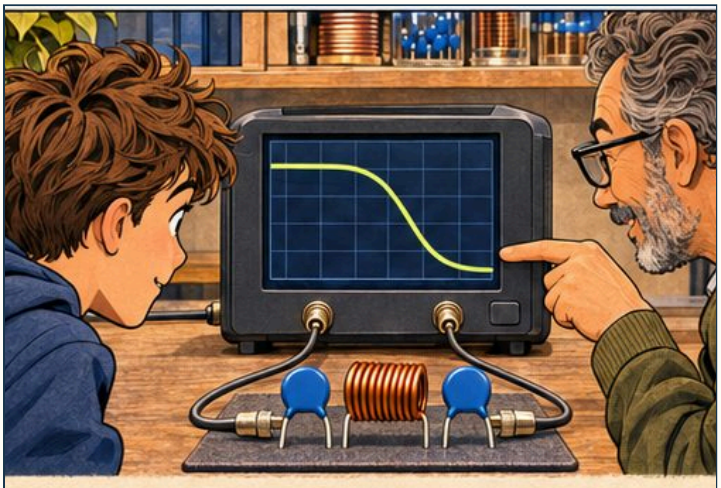
Pierwsze przemiatanie



Uruchamiają przemiatanie obejmujące użyteczne pasmo i przejście.



Przy niskich częstotliwościach przebieg pozostaje wyżej.



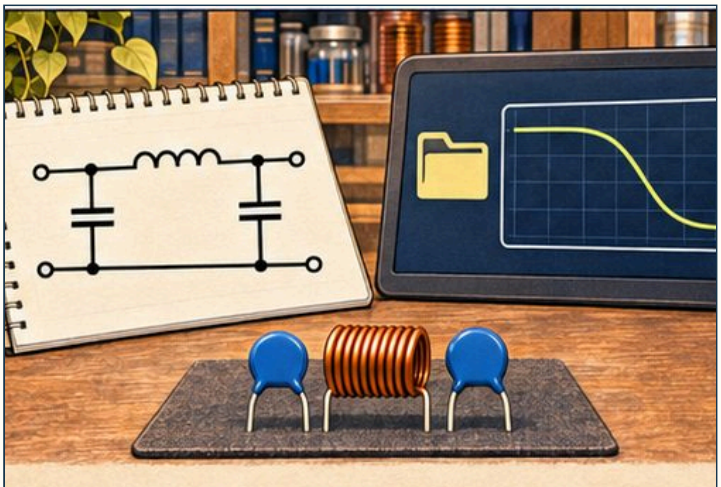
Potem opada wraz ze wzrostem częstotliwości.



Adept rozpoznaje przewidywany kształt, nie zakładając idealnej zgodności.



Zapisuje przebieg i warunki pomiaru.



Zachowany wynik pozwoli porównywać kolejne modyfikacje.

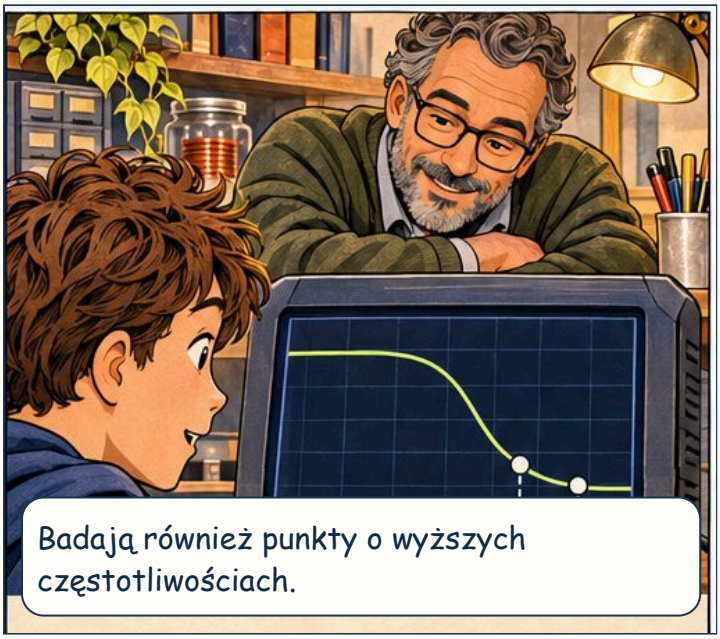
Odczytać konkretne punkty



Znaczniki wskazują częstotliwości wybrane podczas obliczeń.



Odczytują transmisję wokół oczekiwanej granicy.



Badają również punkty o wyższych częstotliwościach.



Faktycznie odczytane wartości trafiają do kolumny pomiarów.



Zachowują otrzymany odczyt, nawet gdy różni się od przewidywań.



Adept podaje również datę i konfigurację.

Zrozumieć odchylenie





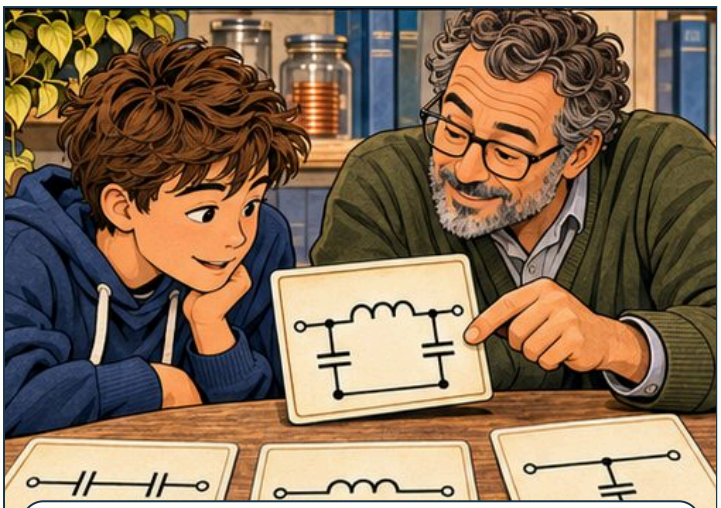




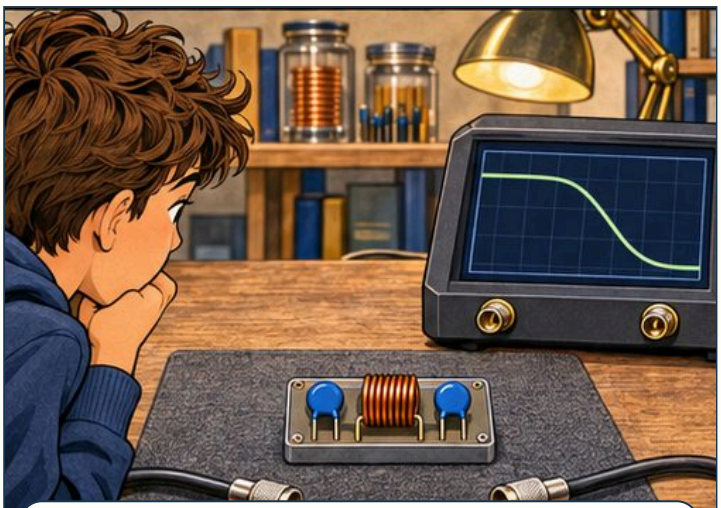




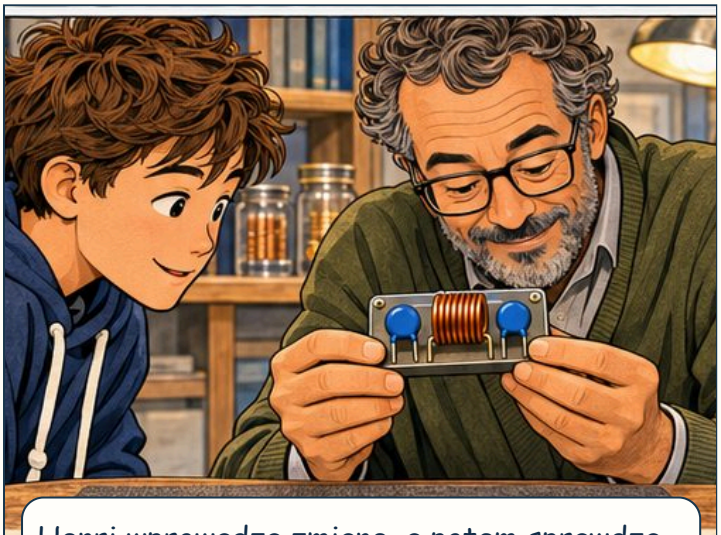
Jedna zmiana naraz



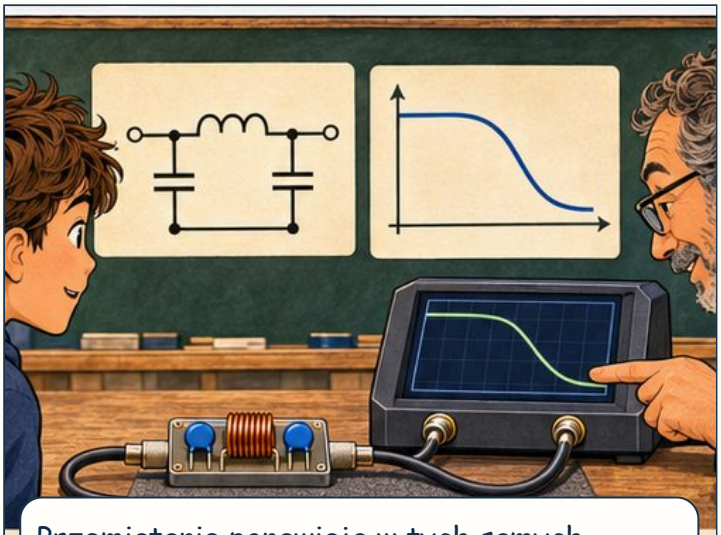
Wybierają jedną hipotezę i przygotowują uzasadnioną zmianę.



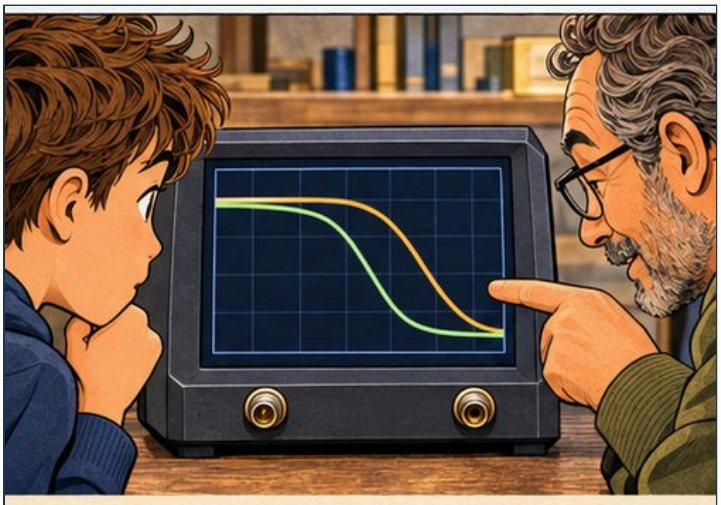
Przed pracą wyłączają źródło i odłączają moduł.



Henri wprowadza zmianę, a potem sprawdza układ.



Przemiatanie ponawiają w tych samych udokumentowanych warunkach.

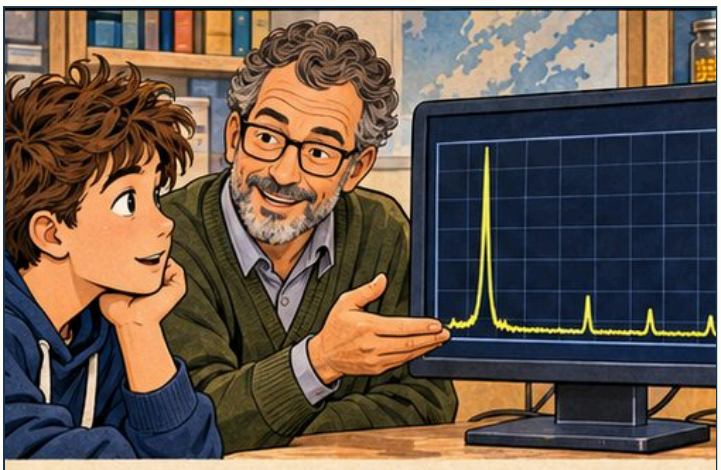


Porównują stary i nowy przebieg.

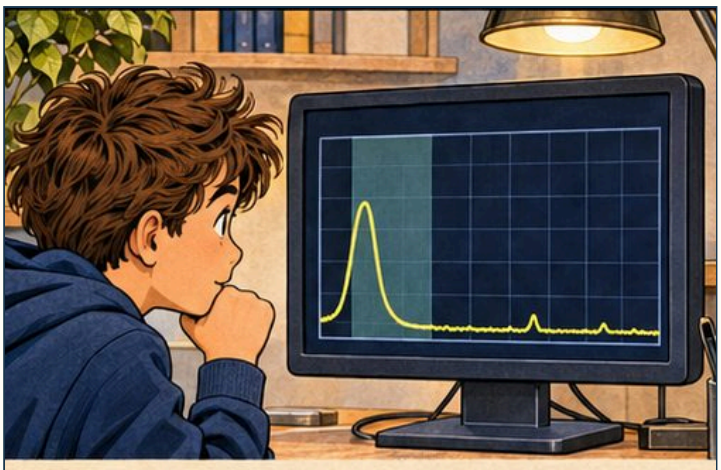


Metoda zapobiega mieszaniu kilku możliwych przyczyn.

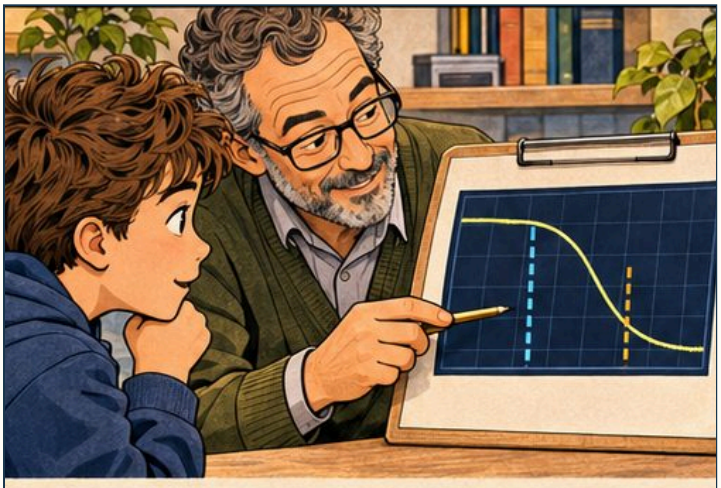
Tłumienie ma granice



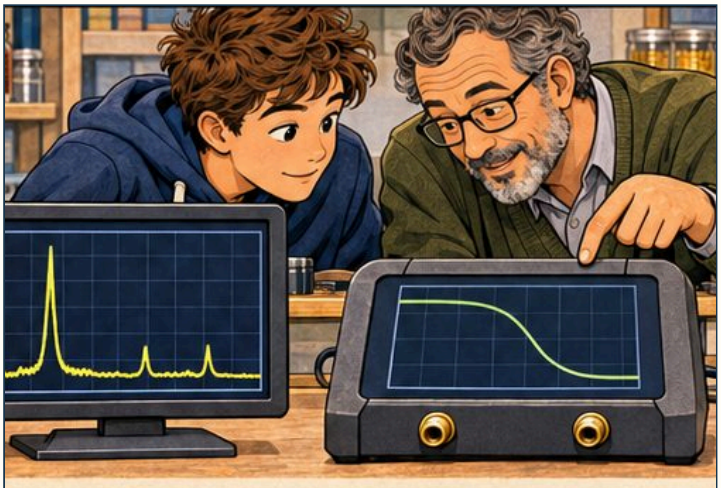
Filtr dolnoprzepustowy nie usuwa wszystkich niepożądanych składowych.



Składowa w jego paśmie przepustowym będzie słabo tłumiona.



Tłumienie zaporowe zależy od częstotliwości i realizacji.



Pełna kontrola widma wymagałaby dodatkowych odpowiednich pomiarów.

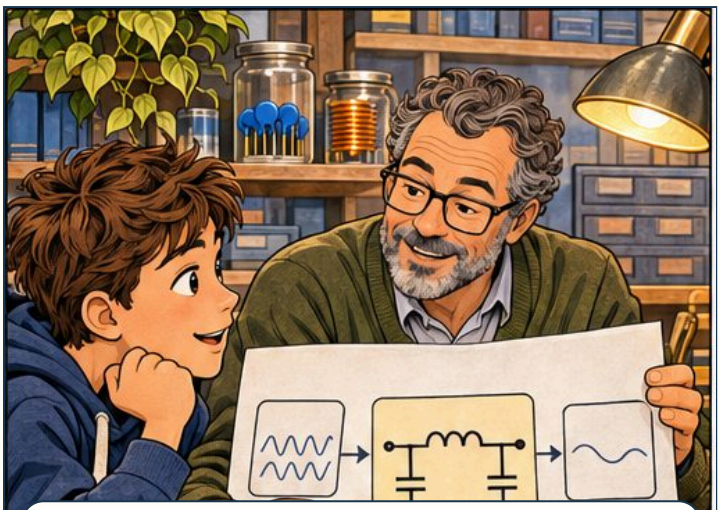


Obecność filtru nie dowodzi zgodności stacji z wymaganiami.

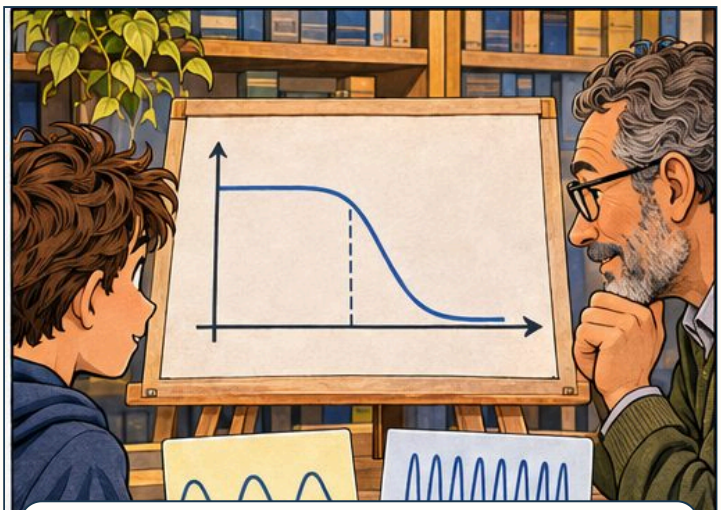


Adept odróżnia przydatną funkcję od ogólnej gwarancji.

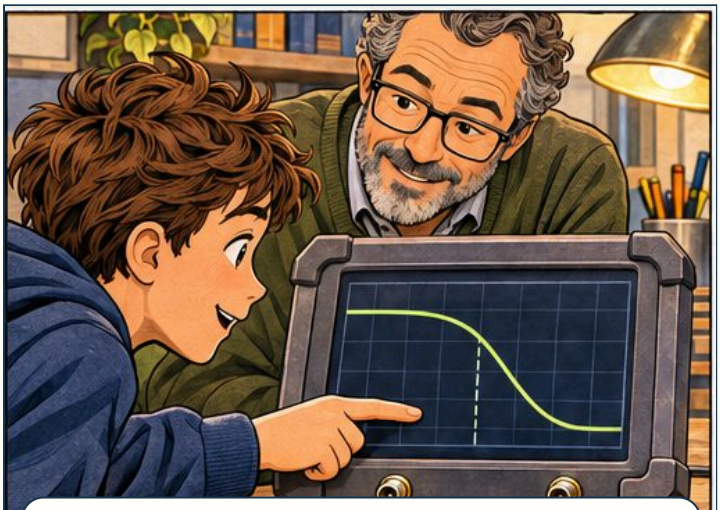
Użyteczna częstotliwość musi przejść



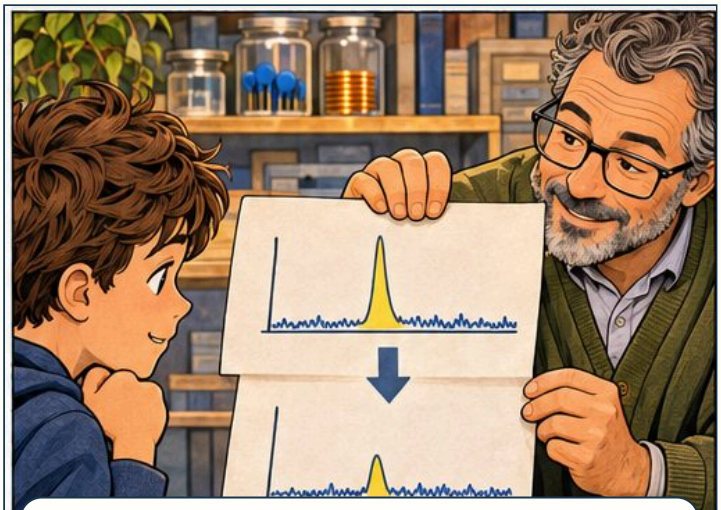
Na koniec mentor proponuje pułapkę na rysunku stacji.



Rysunek łączy 14,2 MHz z ich granicą 10 MHz.



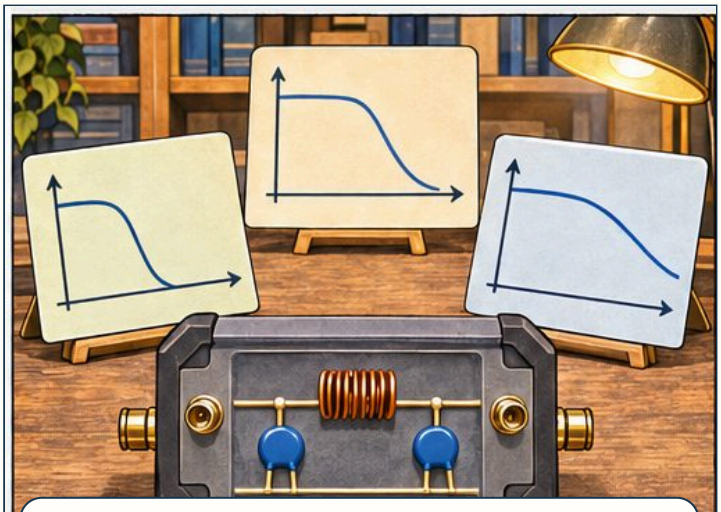
Adept zauważa, że 14,2 MHz leży powyżej tej granicy.



Ten wybór tłumiłby także sygnał, który chcą zachować.

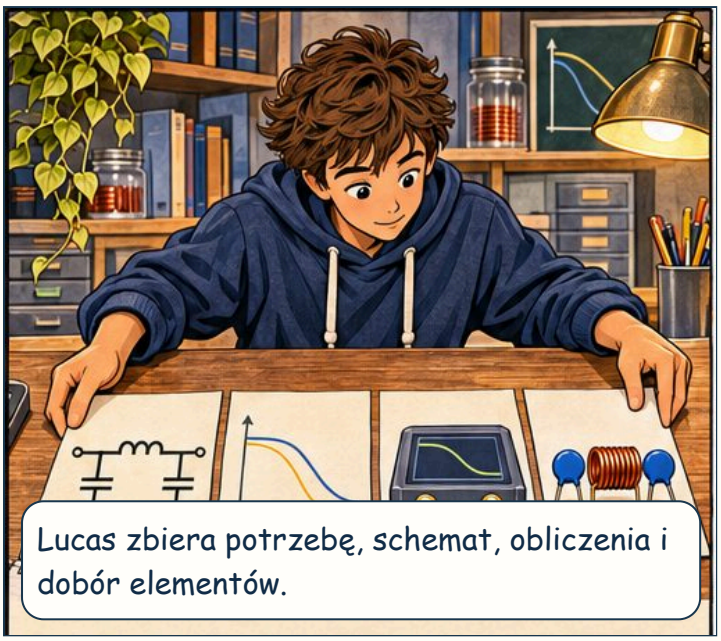


Przed użyciem trzeba wrócić do specyfikacji wymagań.

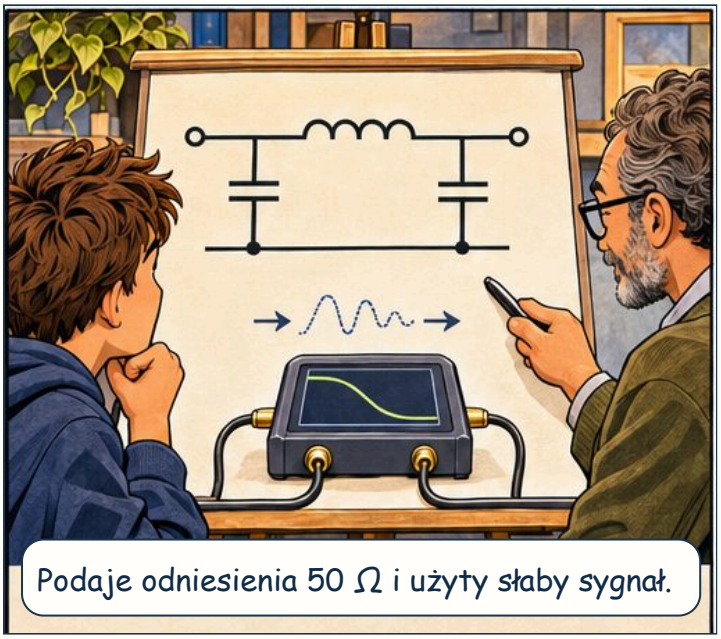


Przykład obliczeń nie jest filtrem uniwersalnym.

Przygotować wyjaśnienie dla innych













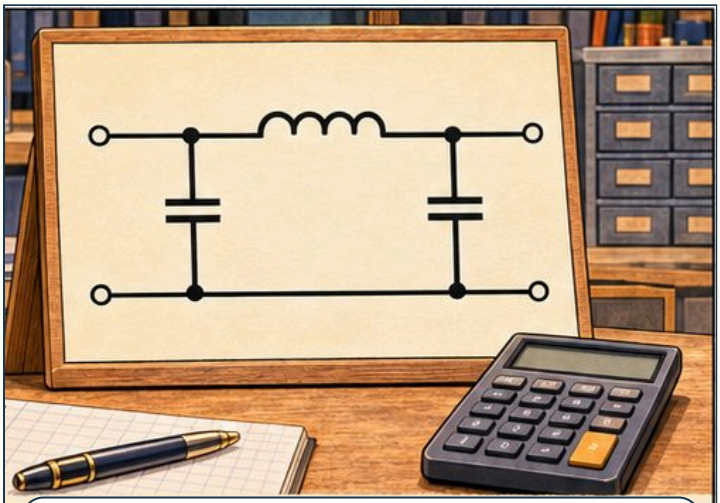
Zrozumieć, obliczyć, zmierzyć



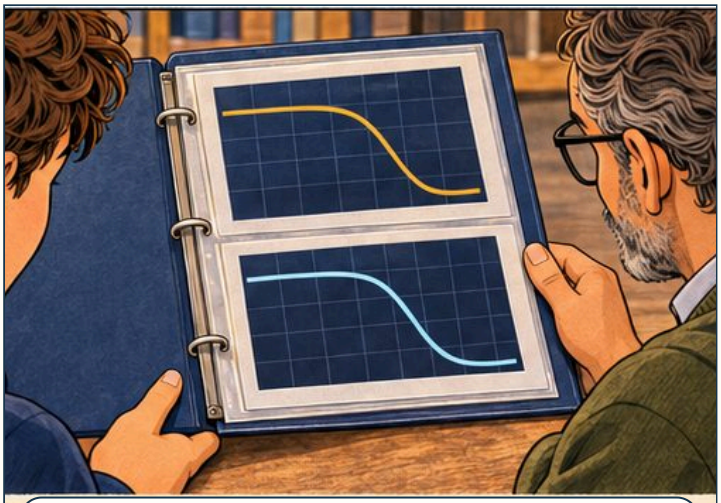
Trzy elementy wracają do pudełka dydaktycznego.



Adept umie już powiązać potrzebę z charakterystyką filtru.



Umie obliczyć ten filtr Butterwortha π i sprawdzić jednostki.



Potrafi też mierzyć, porównywać i badać odchylenia.



Zeszyt zachowuje metodę z jej założeniami i ograniczeniami.



W klubie następne odkrycie już zaczyna się pytaniem.