ON4CRD

Jilid 05

Menghitung Filter



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Pemberitahuan hukum

Jilid 05 · Menghitung Filter

Penerbit situs web : Radio Club Durnal ON4CRD

Manajer publikasi : Komite Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Pemberitahuan hukum

Kekayaan intelektual

Teks, gambar, dokumen, logo, dan materi yang dipublikasikan di situs tetap menjadi milik penulisnya masing-masing atau milik klub. Setiap reproduksi atau penggunaan kembali harus menghormati sumber, hak yang berlaku, dan izin penulis.

Tanggung jawab

Klub berupaya untuk mempublikasikan informasi yang berguna dan terverifikasi, namun tidak menjamin tidak adanya kesalahan, kelalaian atau gangguan. Informasi teknis atau peraturan harus dibandingkan dengan sumber resmi jika informasi tersebut mendukung suatu keputusan.

Ilustrasi dibuat dengan bantuan kecerdasan buatan.

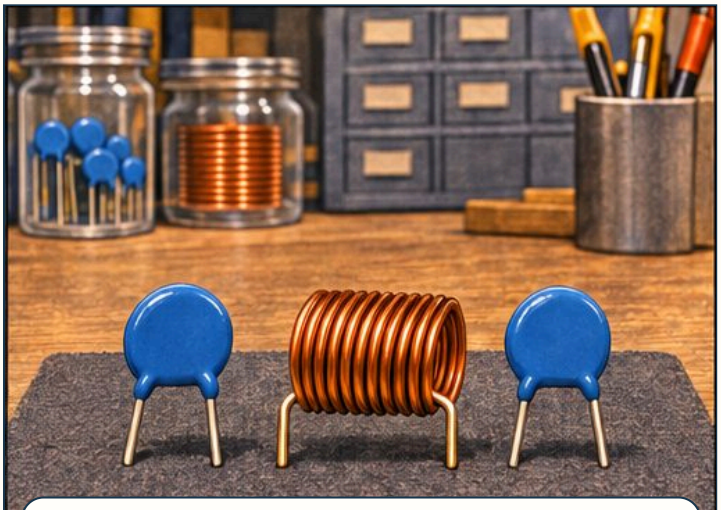
Misi baru



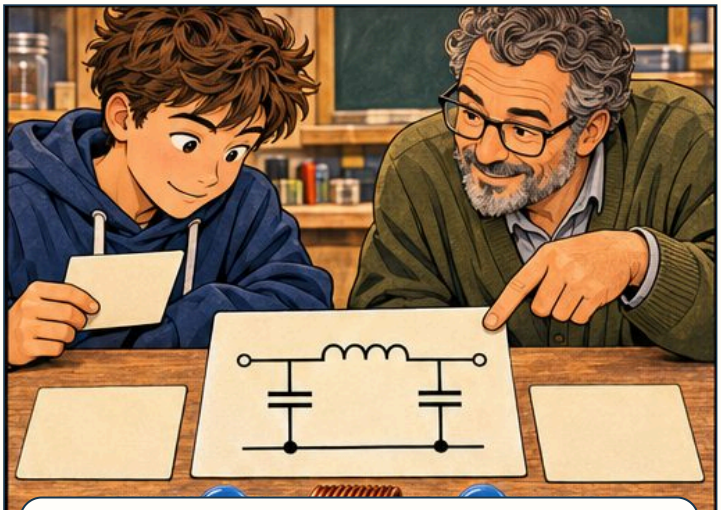
Di klub, Lucas menemukan buku catatannya seusai lokakarya listrik.



Henri menyiapkan peragaan tentang kualitas sinyal.



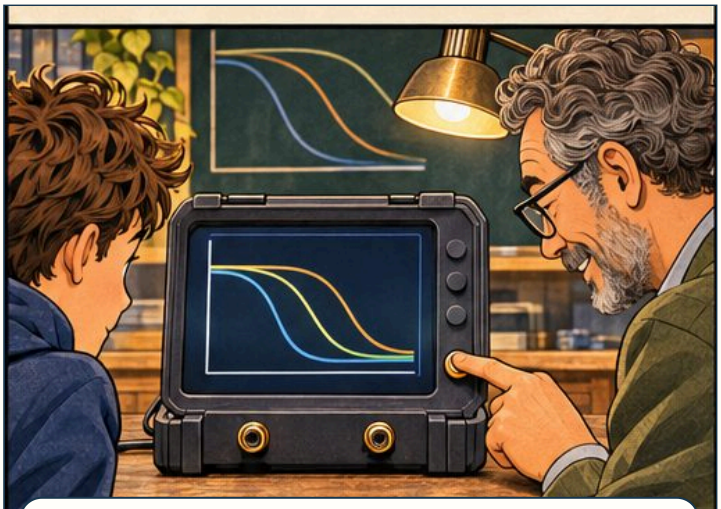
Dua kapasitor dan sebuah kumparan menunggu di meja.



Tantangannya: memahami, menghitung, lalu mengukur filter lolos-rendah.

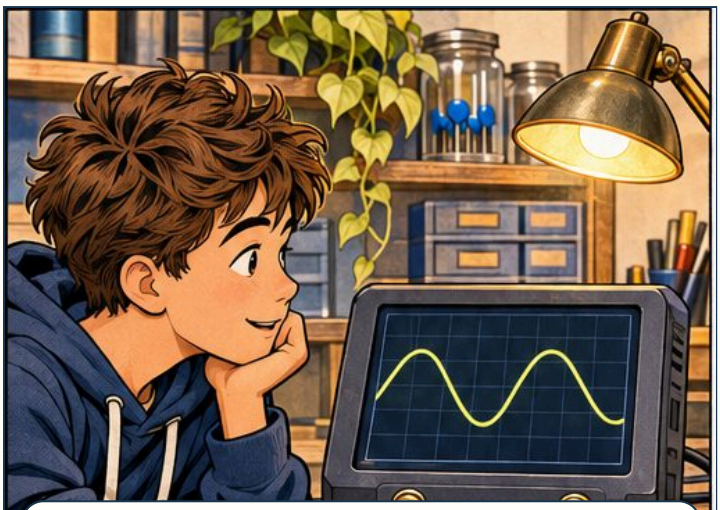


Pemuda itu ingin tahu mengapa tiga komponen dapat mengubah segalanya.

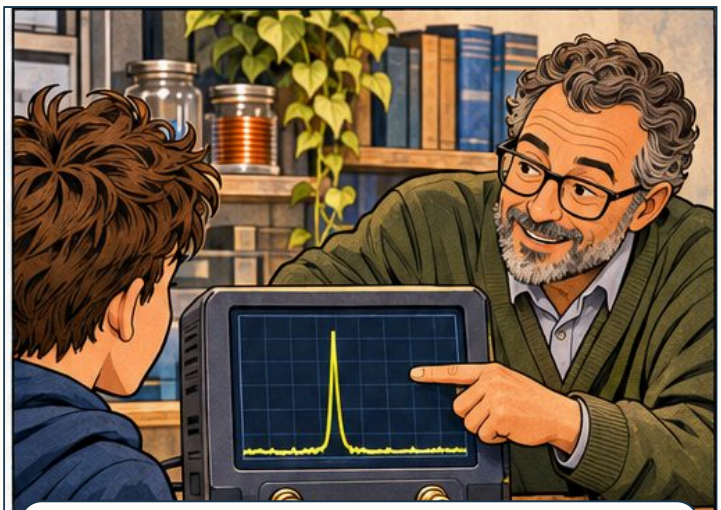


Mereka mulai dengan mengamati isi sebuah sinyal.

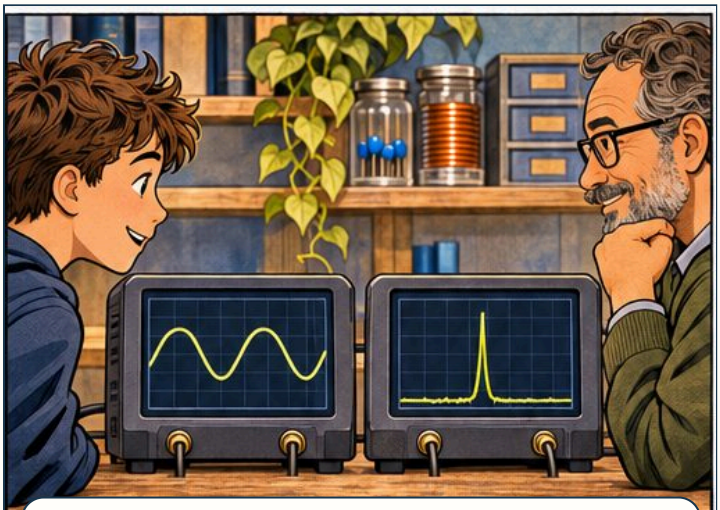
Sinyal dan potretnya



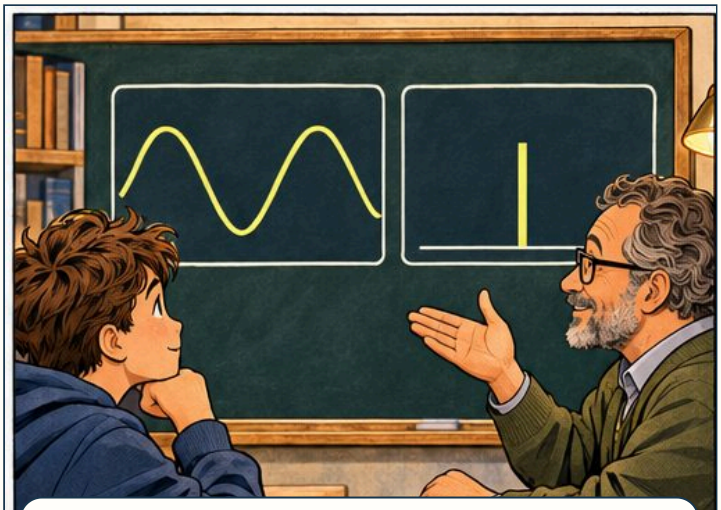
Kurva terhadap waktu menunjukkan perubahan sebuah sinyal.



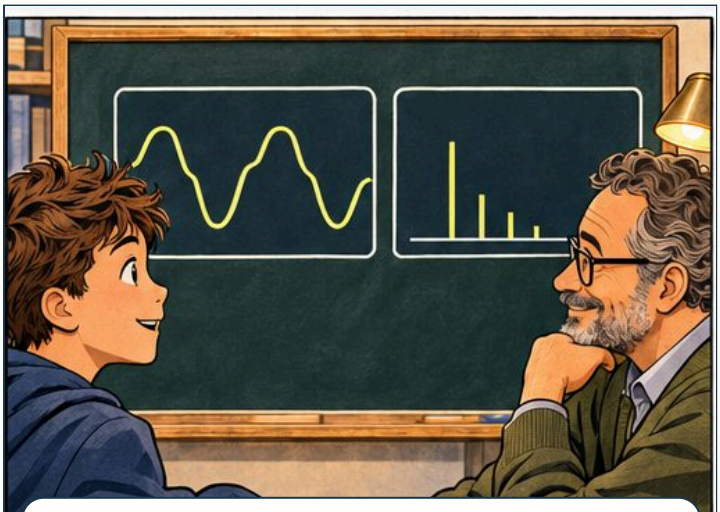
Spektrum menampilkan komponennya menurut frekuensi.



Kedua tampilan menggambarkan sinyal yang sama secara berbeda.



Gelombang sinus ideal hanya memiliki satu frekuensi.

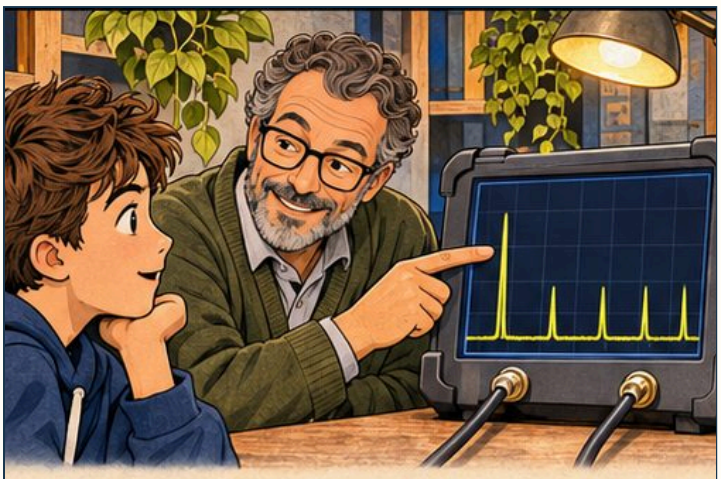


Bentuk gelombang terdistorsi dapat mengandung beberapa komponen.



Pemuda itu menemukan potret yang sebelumnya belum bisa dibacanya.

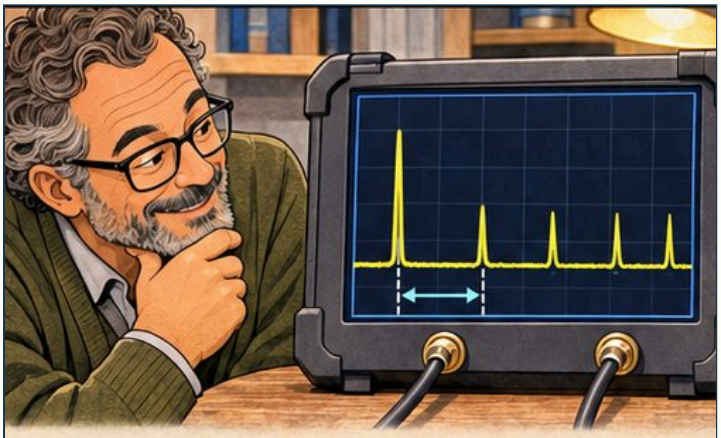
Harmonisa terungkap



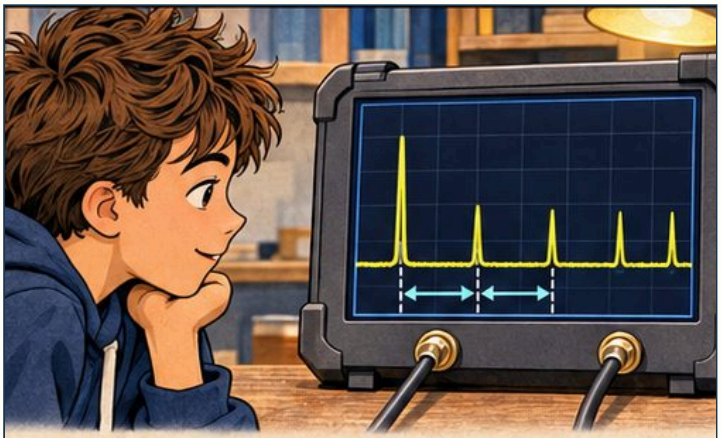
Frekuensi dasar menjadi acuan pertama bagi sinyal periodik.



Harmonisanya merupakan kelipatan bulat frekuensi tersebut.



Harmonisa kedua berada pada dua kali frekuensi dasar.



Harmonisa ketiga berada pada tiga kali frekuensi itu.

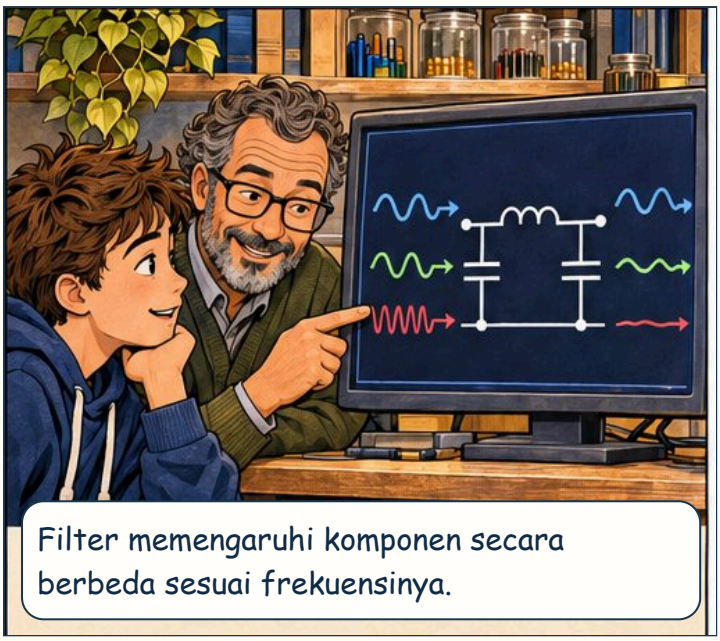


Namun, tidak semua komponen yang tidak diinginkan merupakan harmonisa.

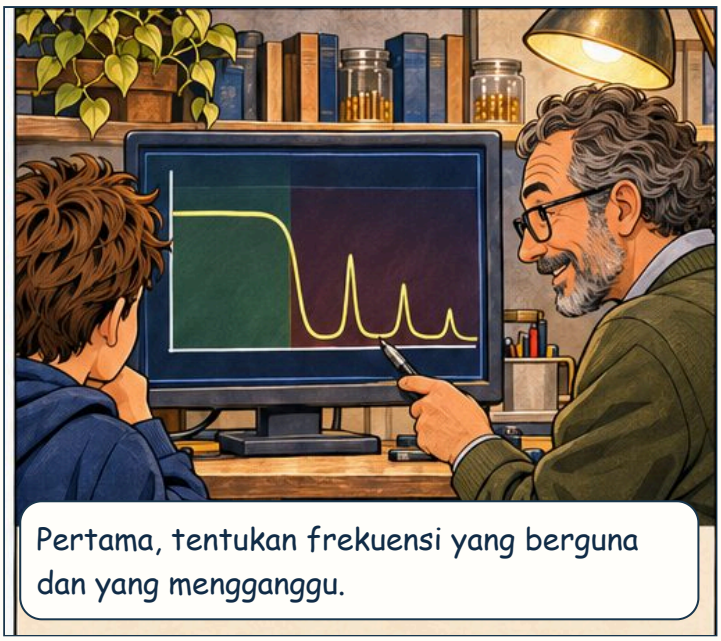


Filter harus memenuhi kebutuhan yang ditentukan dengan jelas.

Memilih yang dipertahankan



Filter memengaruhi komponen secara berbeda sesuai frekuensinya.



Pertama, tentukan frekuensi yang berguna dan yang mengganggu.



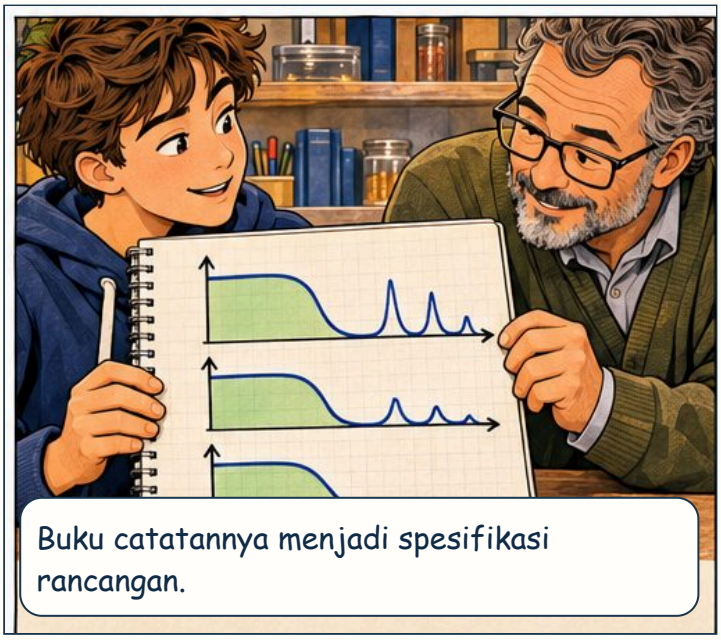
Tentukan pula redaman yang diinginkan.



Tanpa sasaran itu, menghitung komponen kurang berarti.

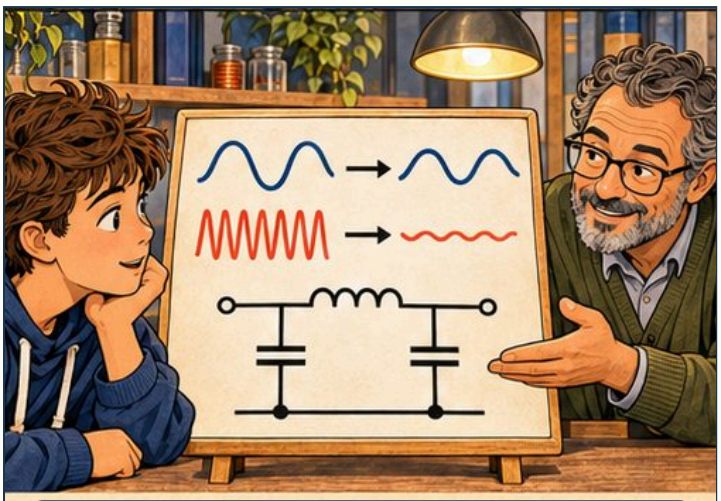


Pemuda itu melingkari wilayah berguna pada contoh spektrum.



Buku catatannya menjadi spesifikasi rancangan.

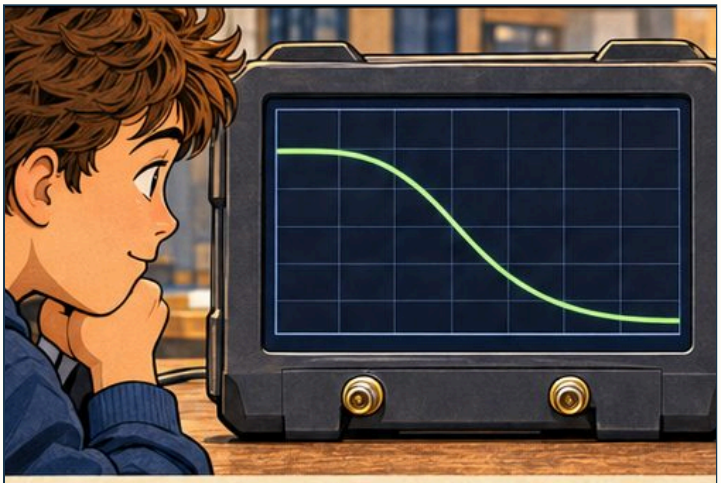
Memilih filter lolos-rendah



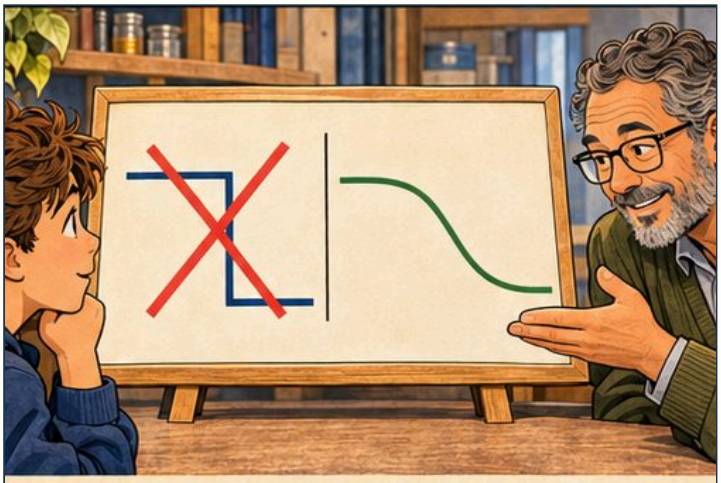
Filter lolos-rendah lebih baik melewatkan frekuensi rendah daripada tinggi.



Pita lolosnya berada di sisi frekuensi rendah.



Di atasnya, redaman meningkat secara bertahap.



Transisi nyata tidak pernah berupa dinding vertikal sempurna.



Jenis ini cocok untuk peragaan hari ini.



Pemuda itu menggambar lereng, bukan penghalang.

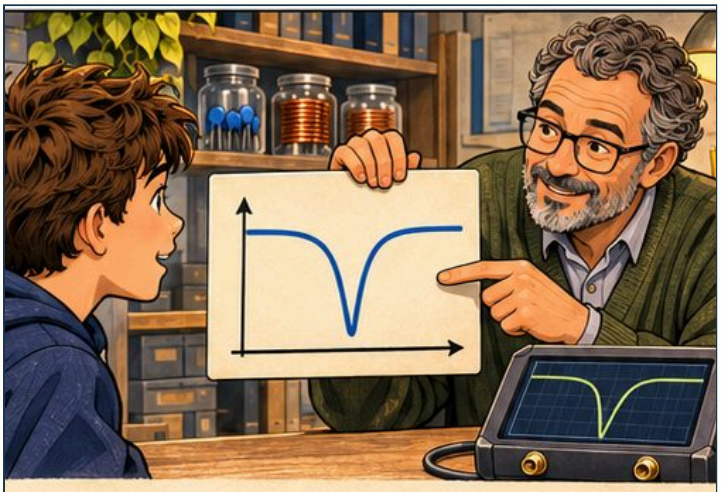
Jalur lain yang mungkin



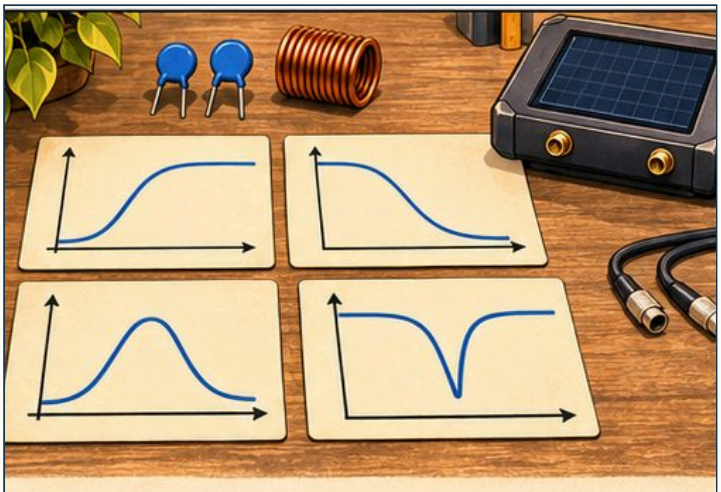
Filter lolos-tinggi meredam frekuensi rendah dan melewatkan frekuensi tinggi.



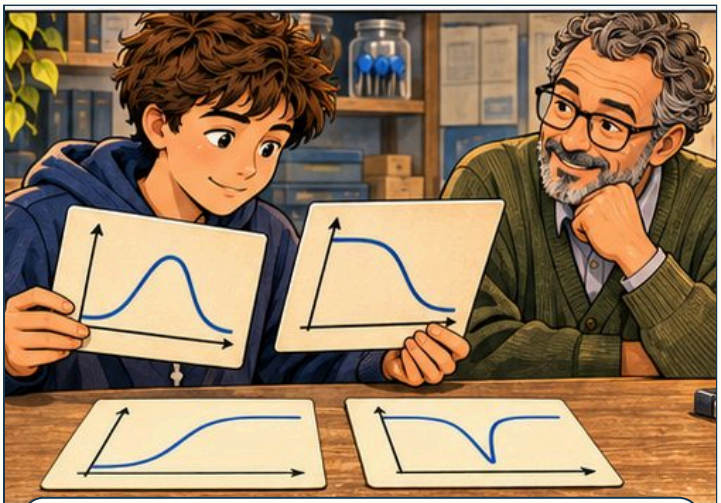
Filter lolos-pita mengutamakan rentang di antara dua batas.



Sebaliknya, filter tolak-pita meredam rentang terpilih.



Kelompok-kelompok ini memenuhi kebutuhan berbeda.

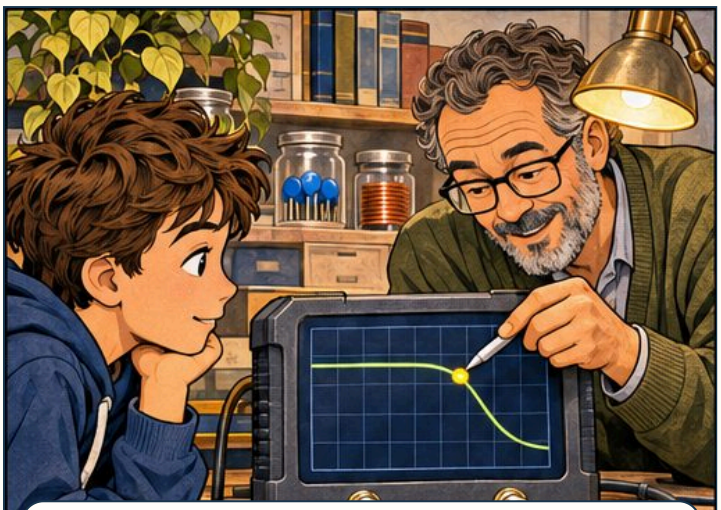


Namanya menjelaskan respons, bukan mutu yang berlaku universal.



Pemuda itu menyimpan tiga kartu untuk lokakarya berikutnya.

Batas yang masih melewatkan sinyal



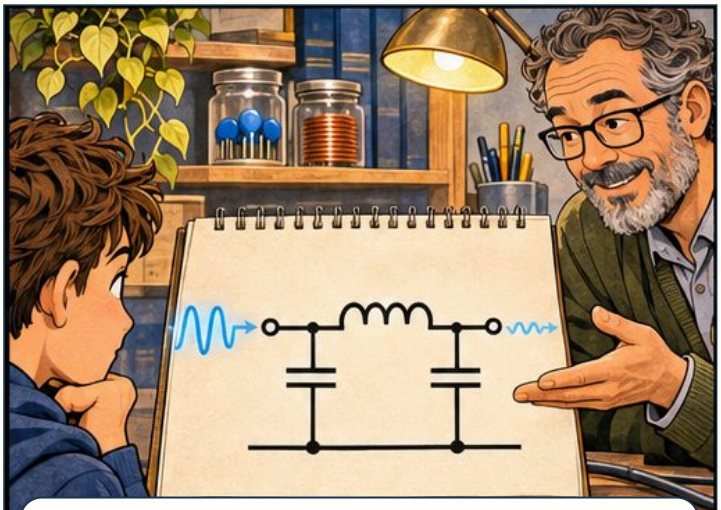
Frekuensi potong di sini menandai suatu tingkat acuan.



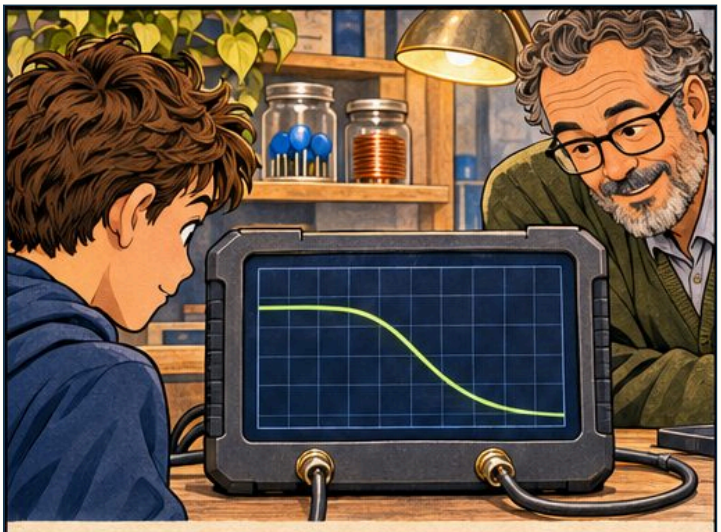
Istilah itu tidak berarti sinyal tiba-tiba hilang.



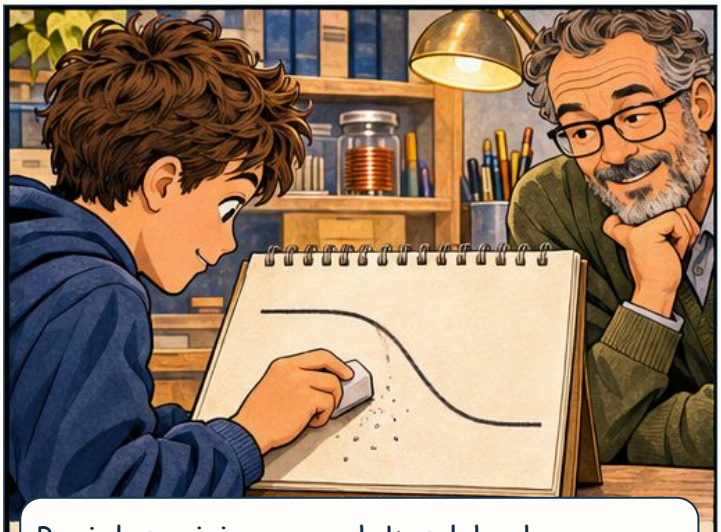
Untuk Butterworth ideal mereka, tingkatnya sekitar −3 dB.



Jadi, filter masih meneruskan energi pada frekuensi tersebut.



Di atasnya, redaman terus meningkat.

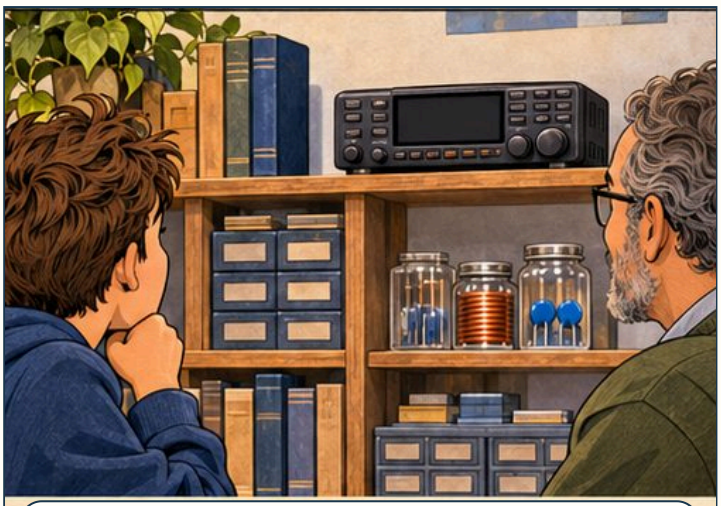


Penjelasan ini mencegah kesalahpahaman awal.

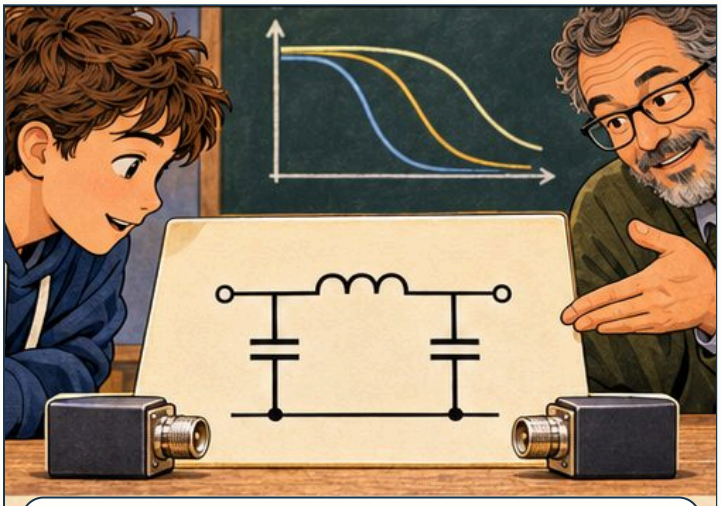
Contoh laboratorium



Mereka memilih frekuensi potong teoretis 10 MHz.



Nilai pembelajaran ini tidak menetapkan frekuensi pemancaran.



Sumber dan beban acuan masing-masing bernilai 50 Ω.



Rangkaian akan diteliti di meja ukur dengan sinyal kecil.



Tidak ada antena atau pemancar yang akan dihubungkan.

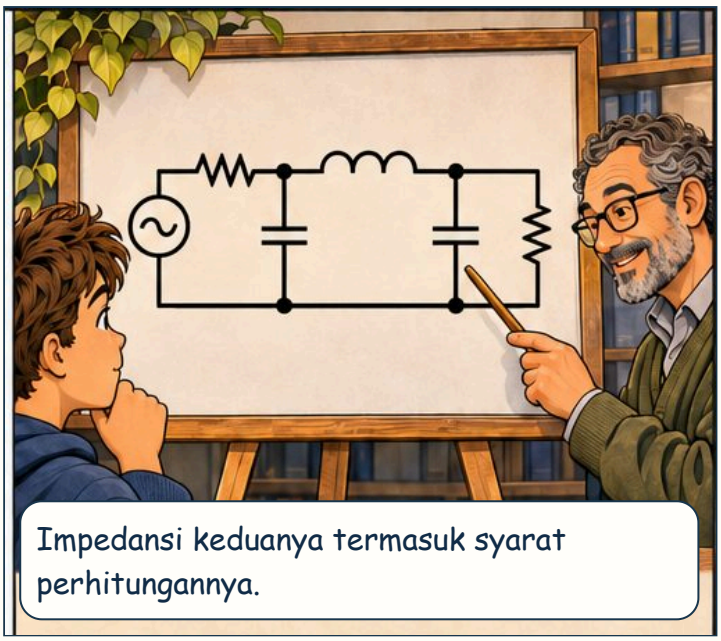


Tujuannya respons terukur, bukan kontak radio.

Mengapa harus menyebut 50 ohm?



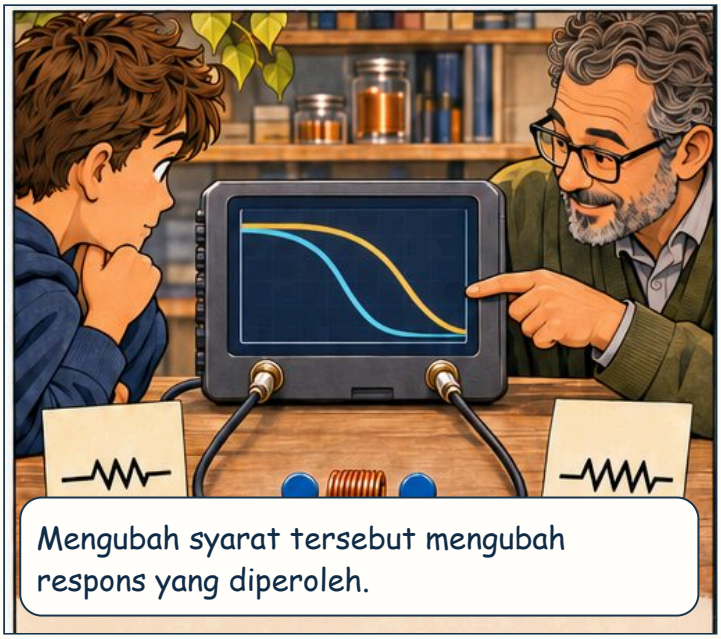
Filter bekerja di antara sumber dan beban.



Impedansi keduanya termasuk syarat perhitungannya.



Di sini masing-masing idealnya resistif murni sebesar 50 Ω.



Mengubah syarat tersebut mengubah respons yang diperoleh.



Jadi, sekadar menyalin tiga nilai tidak cukup.



Pemuda itu menambahkan kedua terminasi pada diagramnya.

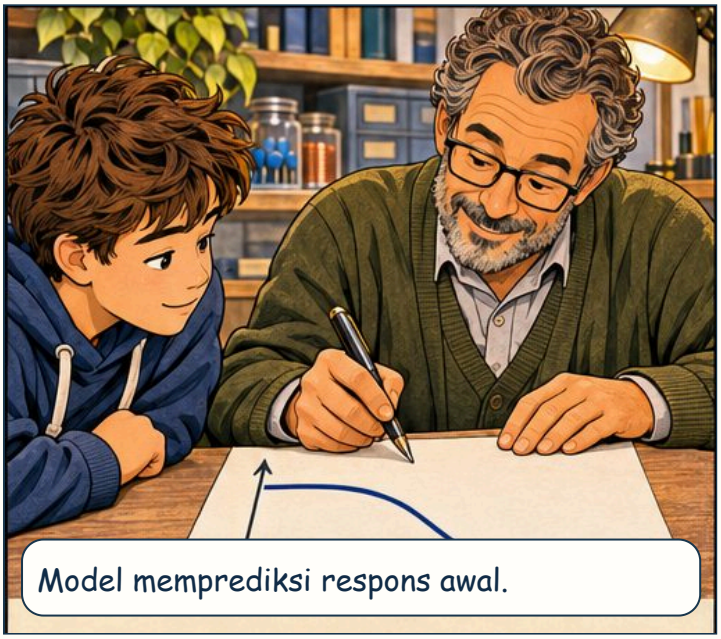
Model dan rangkaian



Perhitungan dimulai dengan komponen ideal tanpa rugi-rugi.



Rangkaian nyata memiliki resistansi dan efek parasitik.



Model memprediksi respons awal.



Pengukuran kemudian membantu meneliti perbedaannya.

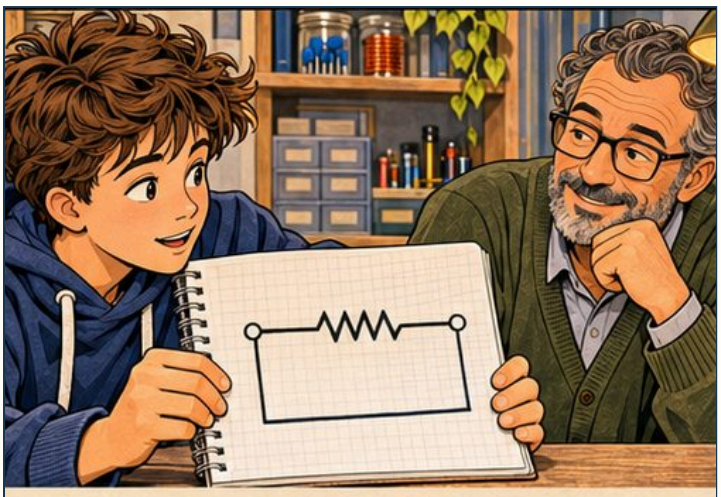


Mencampuradukkan prediksi dan hasil menghambat pemahaman selisihnya.

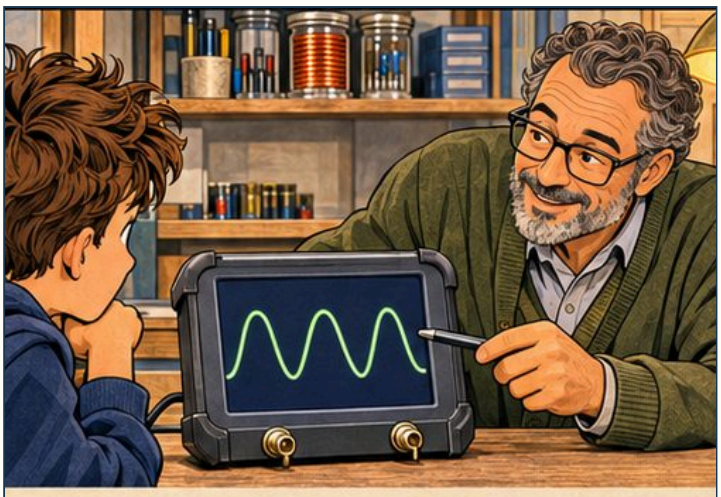


Buku catatan menyediakan tempat terpisah untuk keduanya.

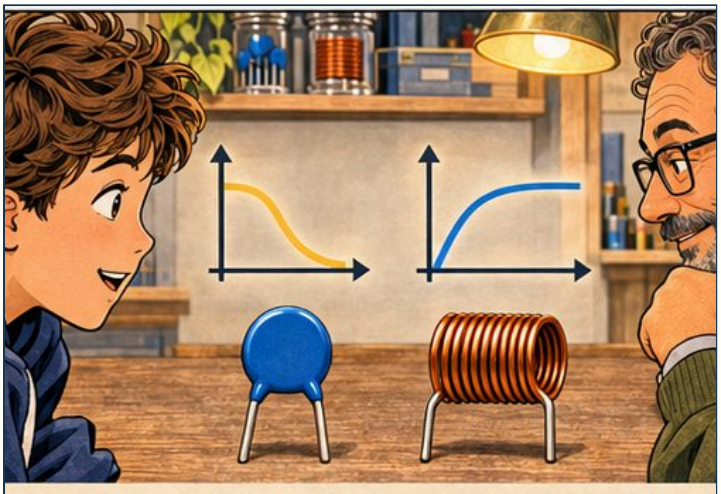
Resistansi saja tidak cukup



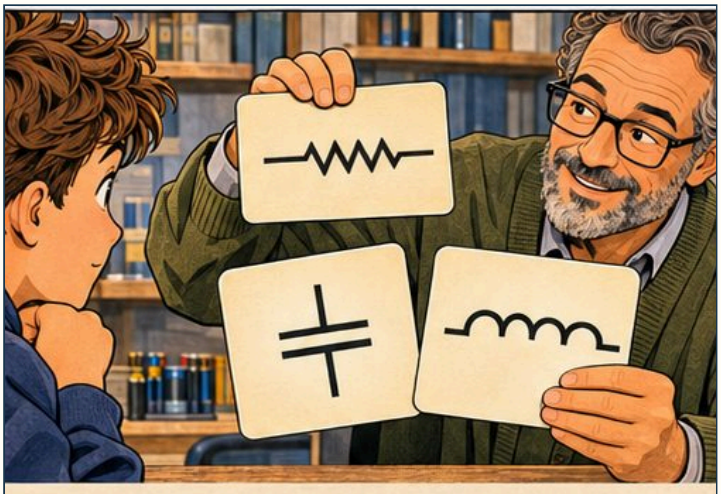
Jilid sebelumnya menghubungkan tegangan, arus, dan resistansi pada arus searah.



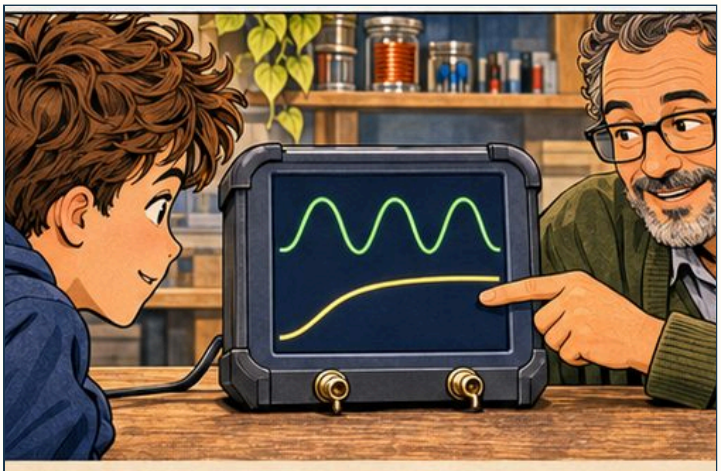
Di sini sinyal berubah cepat dan frekuensinya penting.



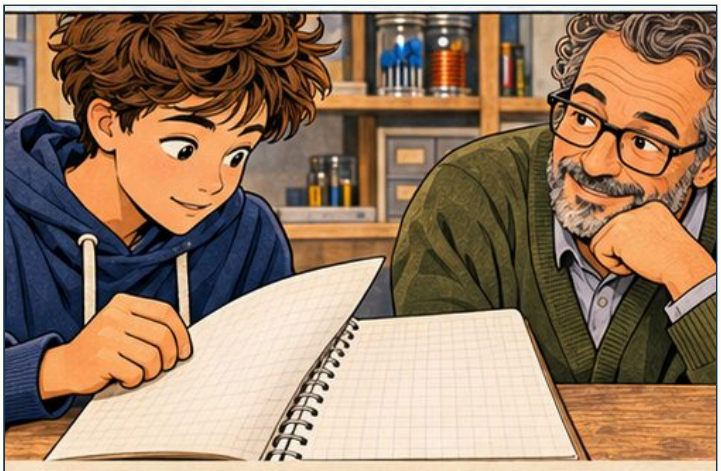
Kapasitor dan kumparan memberi hambatan yang bergantung pada frekuensi.



Reaktansi ini berbeda dari resistansi biasa.



Impedansi menggambarkan perilaku listrik arus bolak-balik secara lebih luas.

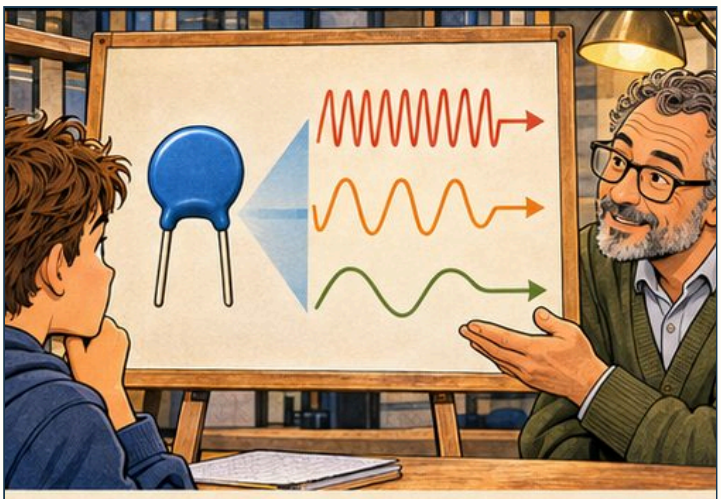


Pemuda itu memahami perlunya model baru.

Peran kapasitor



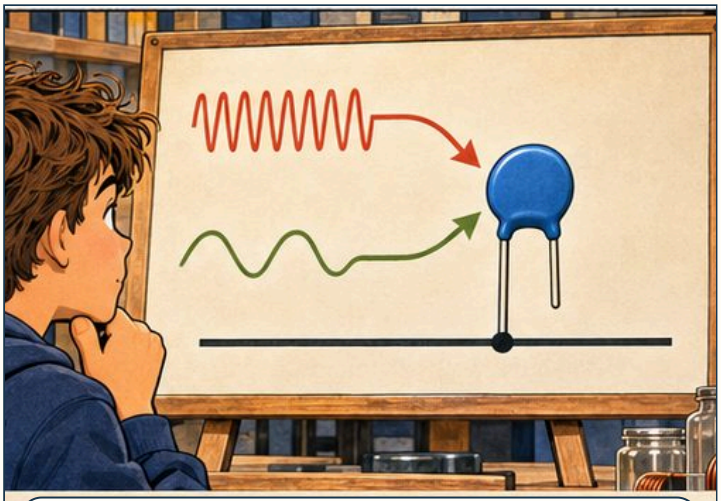
Kapasitansi dilambangkan C dan dinyatakan dalam farad, F.



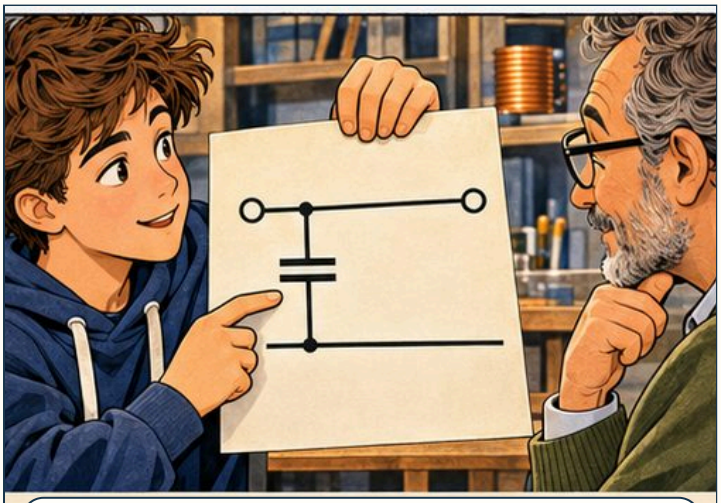
Pada kapasitor ideal, reaktansi turun saat frekuensi naik.



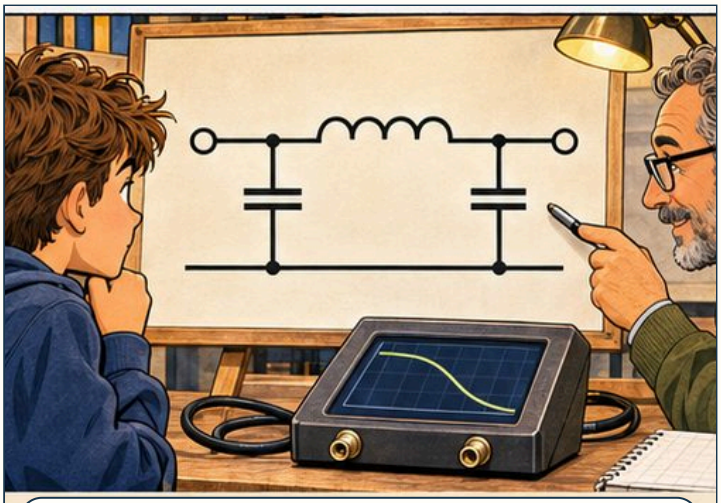
Nilai mutlaknya adalah $X_C = 1/(2\pi fC)$.



Dengan kapasitansi tetap, frekuensi tinggi mengalami reaktansi lebih kecil.



Dalam filter mereka, kapasitor akan dihubungkan ke massa rangkaian.

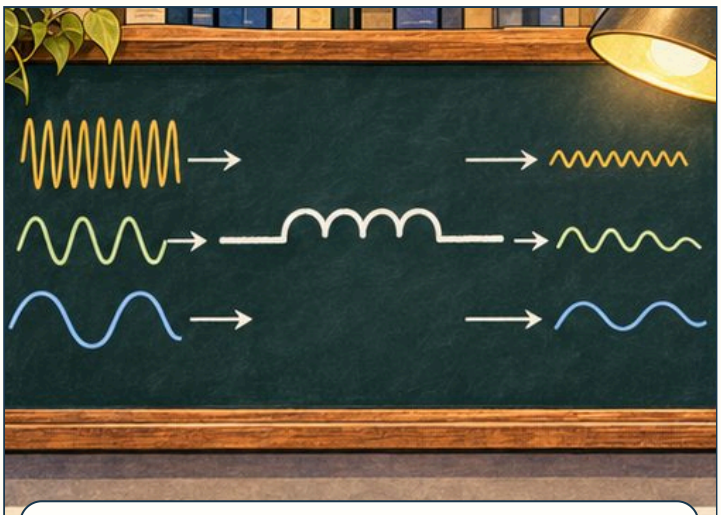


Perannya juga bergantung pada bagian rangkaian lainnya.

Peran kumparan



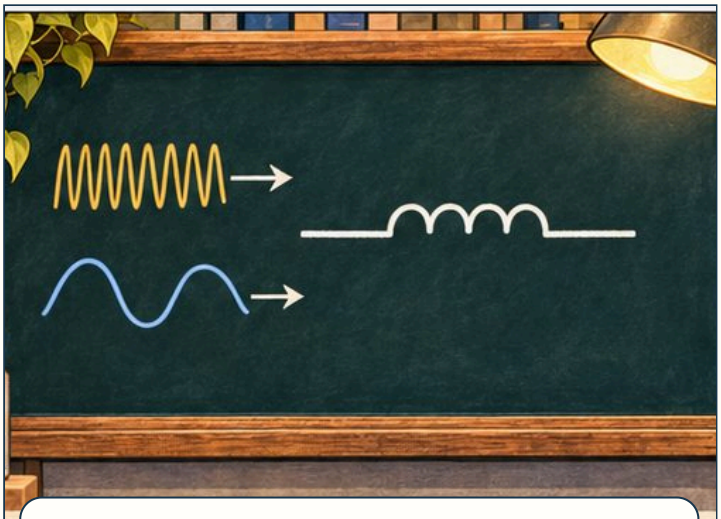
Induktansi dilambangkan L dan dinyatakan dalam henry, H.



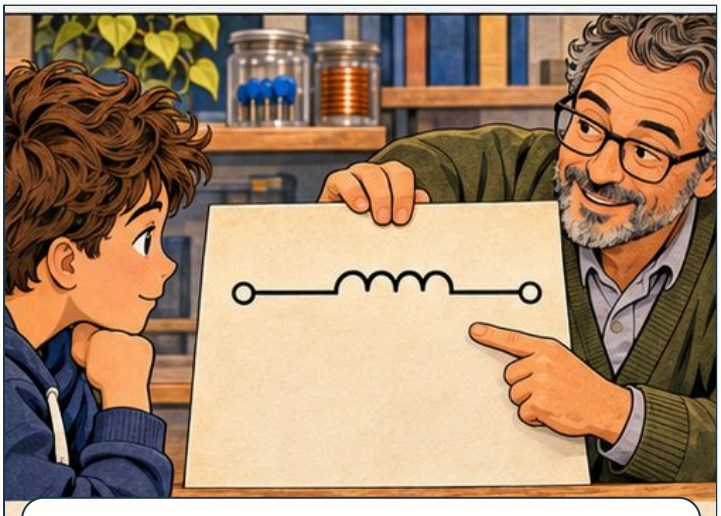
Pada kumparan ideal, reaktansi meningkat bersama frekuensi.



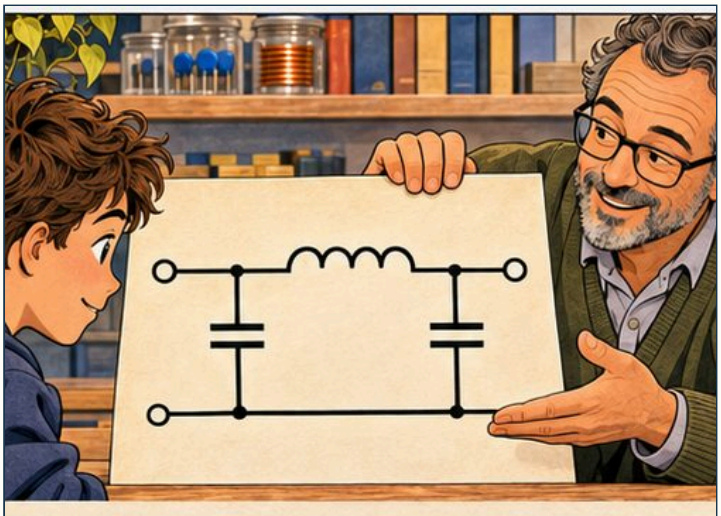
Nilai mutlaknya adalah $X_L = 2\pi fL$.



Dengan induktansi tetap, frekuensi tinggi mengalami reaktansi lebih besar.

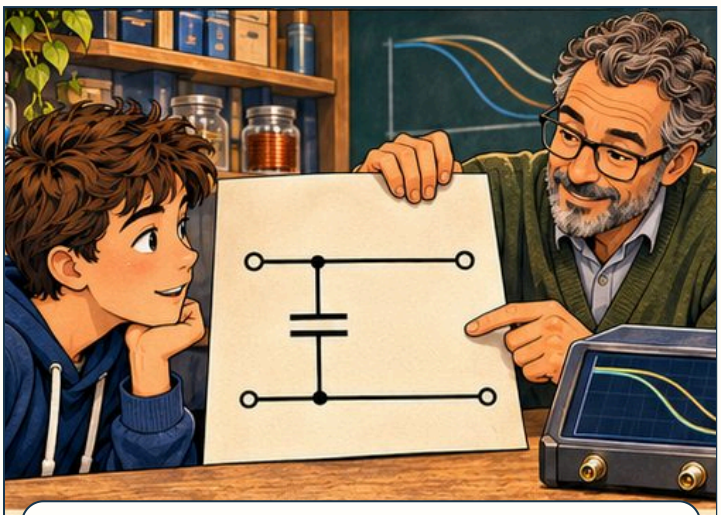


Dalam filter mereka, kumparan berada pada jalur sinyal.

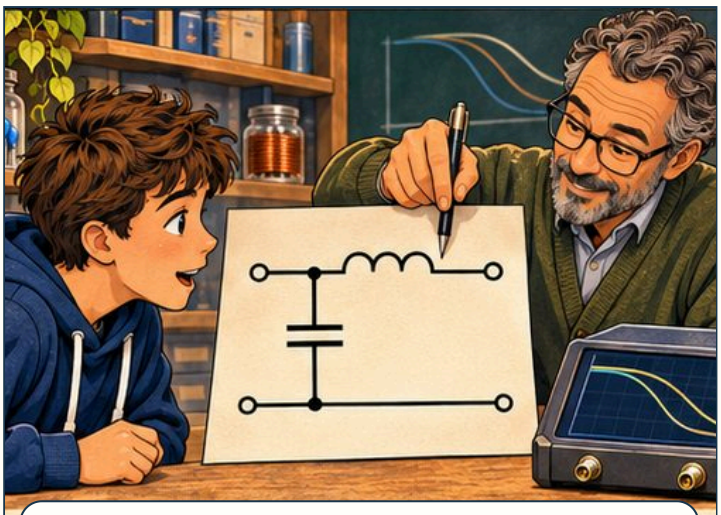


Kedua jenis komponen akan bekerja bersama.

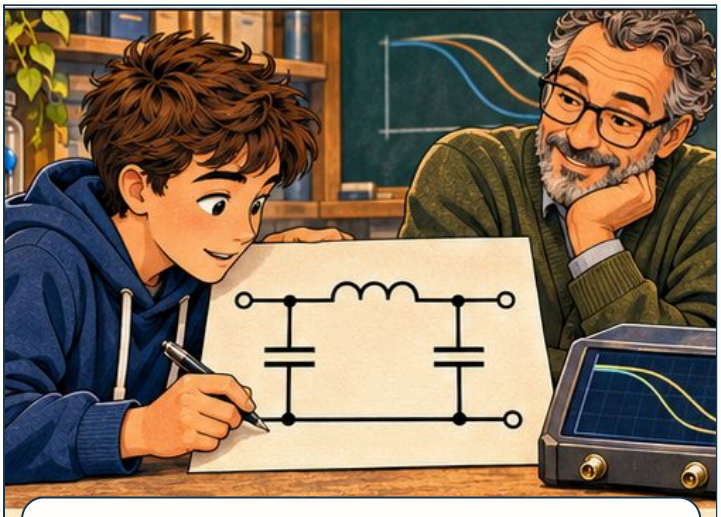
Diagram berbentuk π



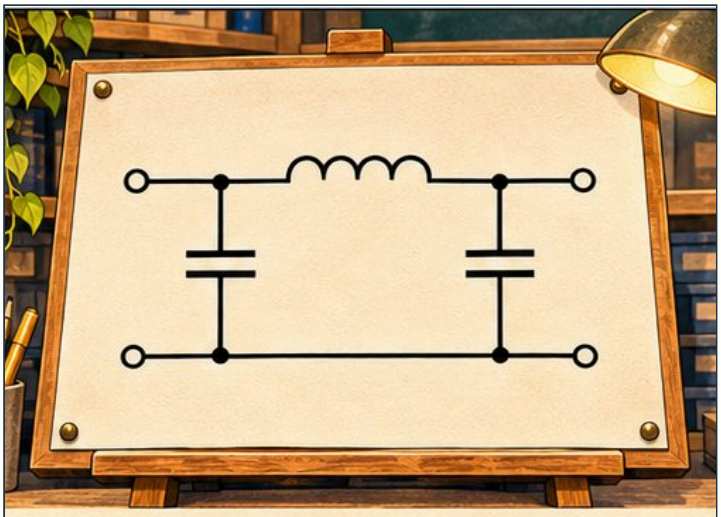
Masukan terhubung ke kapasitor pertama yang menuju massa.



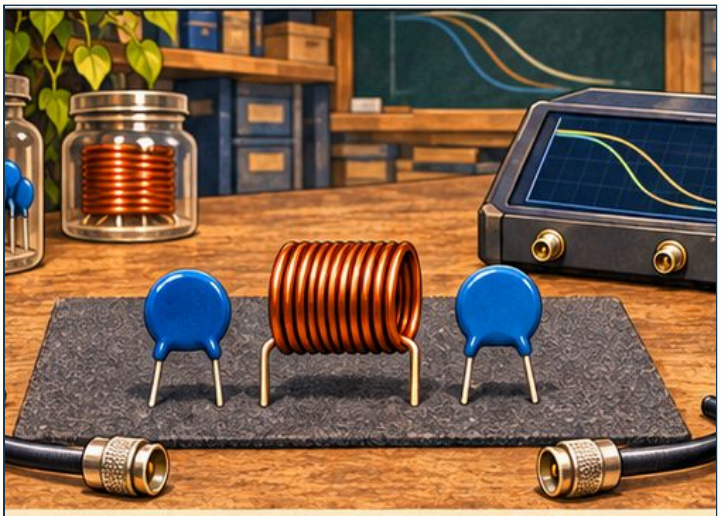
Sebuah kumparan lalu menghubungkan masukan dan keluaran secara seri.



Kapasitor kedua menghubungkan keluaran ke massa yang sama.



Dua cabang turun di kedua sisi kumparan.



Susunan ini menyerupai huruf Yunani π.

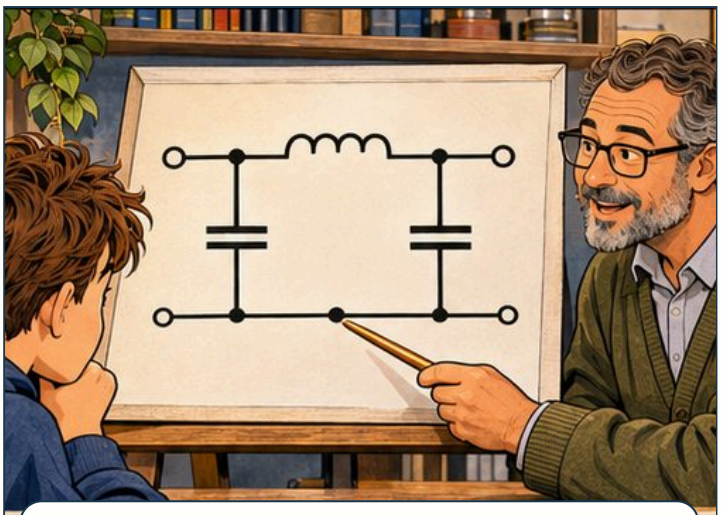


Pemuda itu mengikuti setiap sambungan dengan pensilnya.

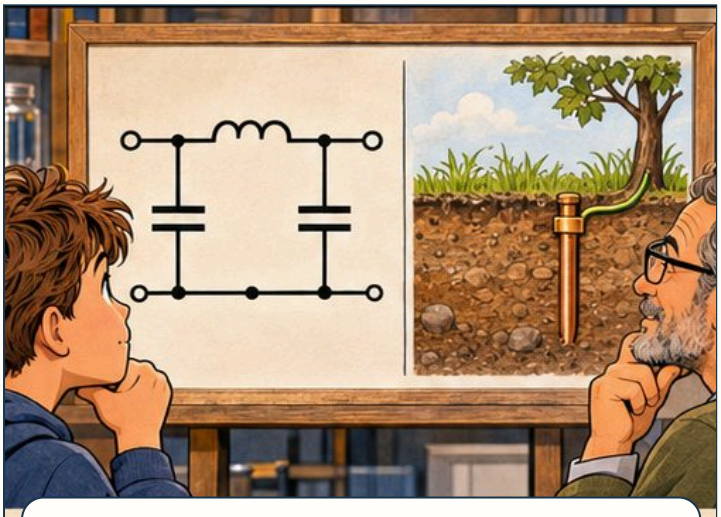
Massa pada diagram



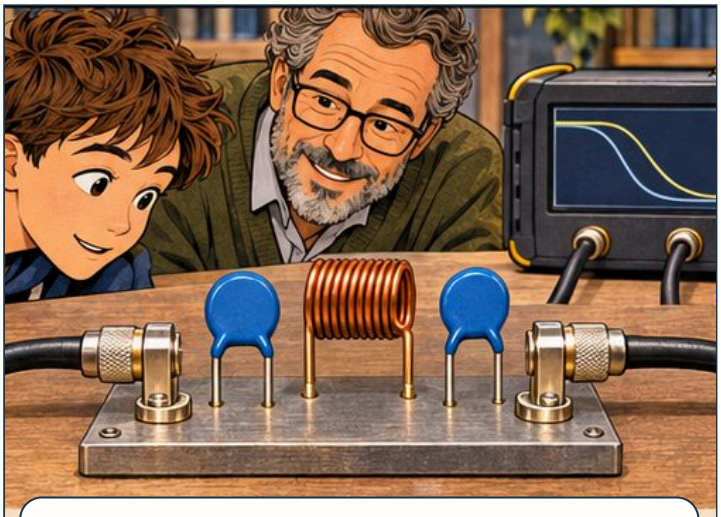
Kedua kapasitor berbagi acuan listrik yang sama.



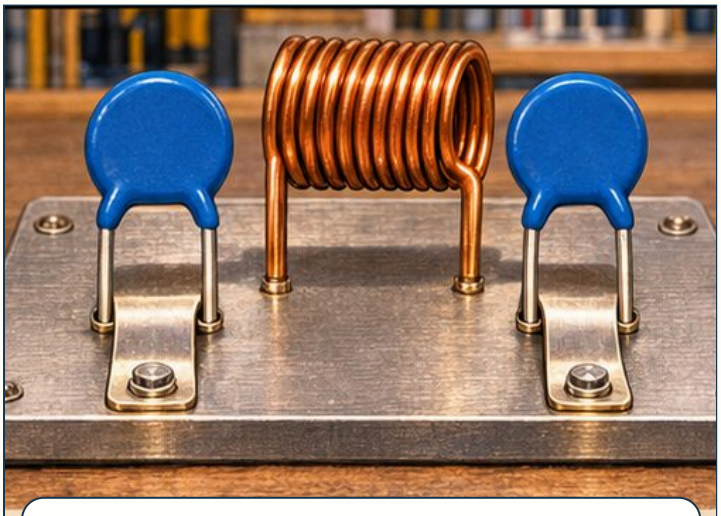
Simbol massa di sini mewakili acuan rangkaian tersebut.



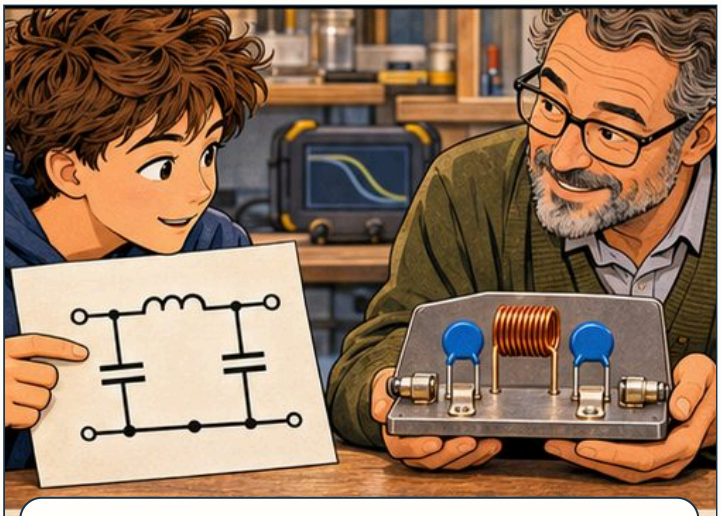
Itu tidak otomatis berarti sambungan ke bumi.



Pelindung kabel koaksial terhubung ke massa sesuai rancangan.



Sambungan pendek membatasi beberapa efek parasitik.

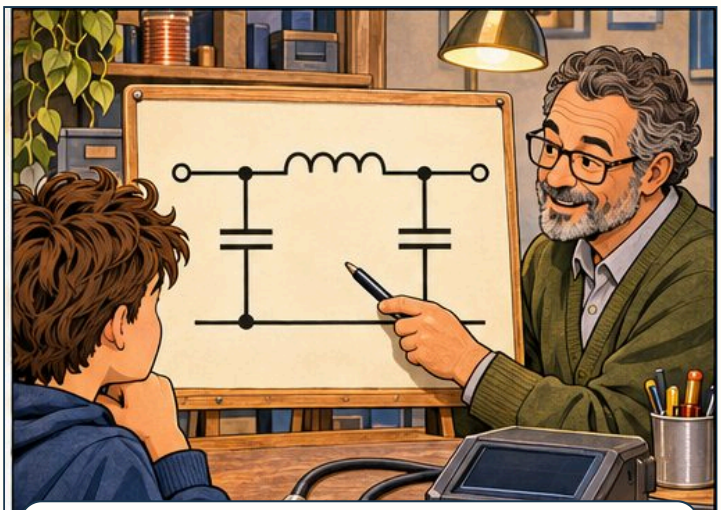


Pemuda itu membedakan simbol dan penerapan fisiknya.

Tiga elemen, satu orde



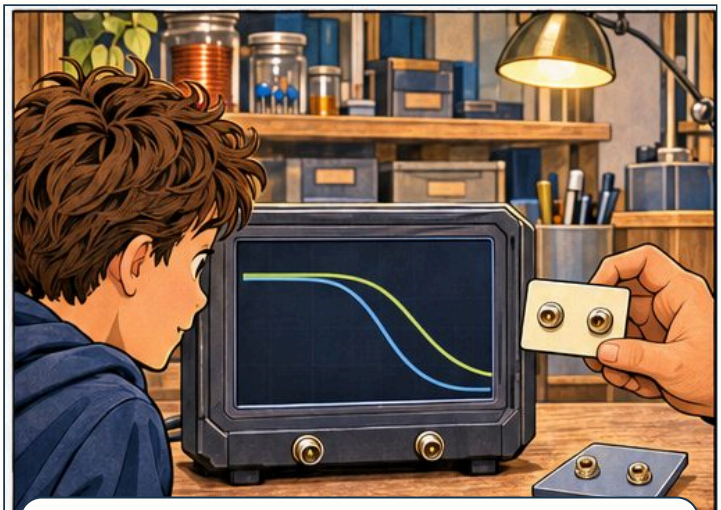
Jaringan ideal ini memiliki tiga elemen reaktif: C, L, dan C.



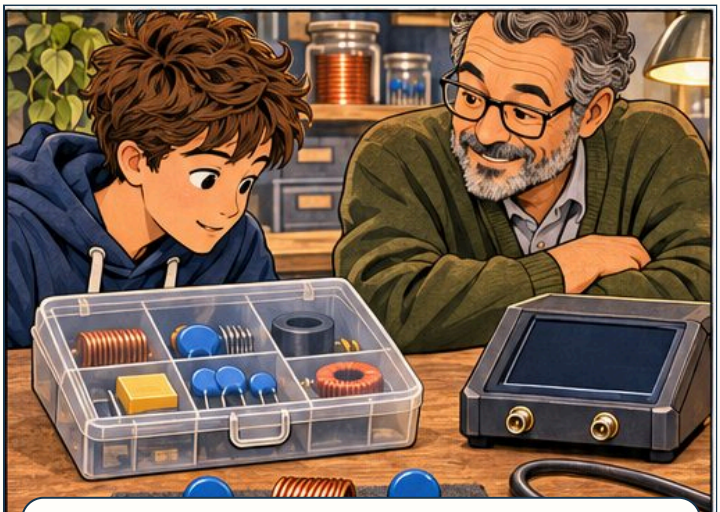
Di sini ketiganya membentuk filter lolos-rendah orde tiga.



Orde antara lain menentukan kemiringan jauh pada model.



Namun, impedansi yang tidak sesuai akan mengubah responsnya.



Menambahkan komponen sembarangan tidak menghasilkan filter yang diinginkan.

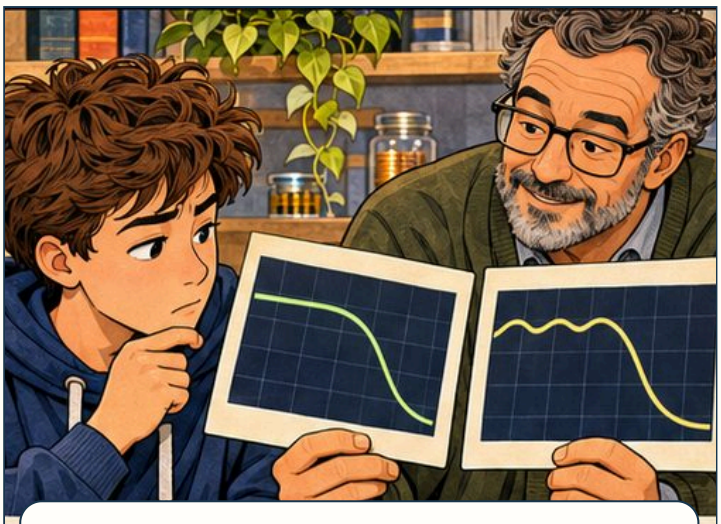


Topologi diagram harus sesuai dengan perhitungannya.

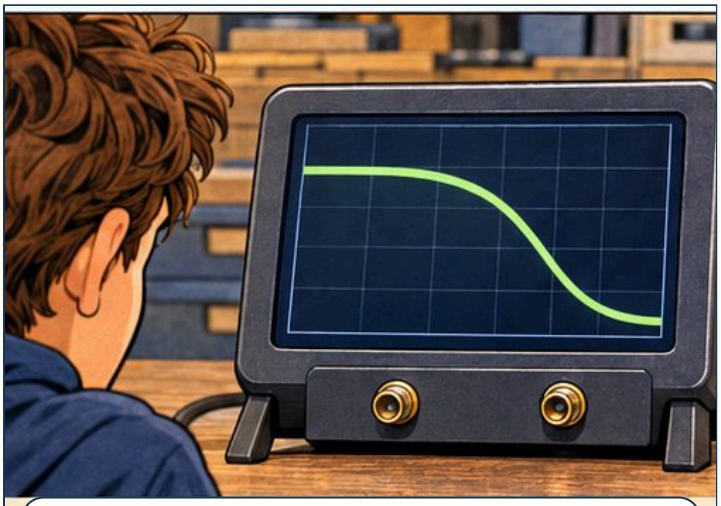
Mengapa Butterworth?



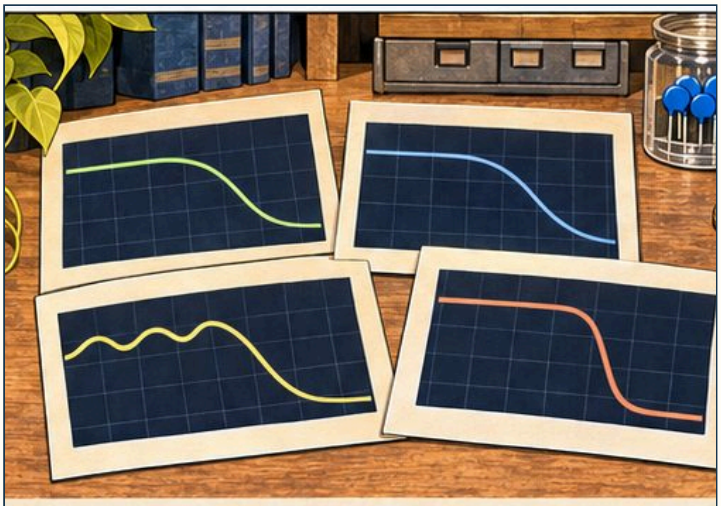
Respons Butterworth memiliki kerataan maksimum dalam pita lolos.



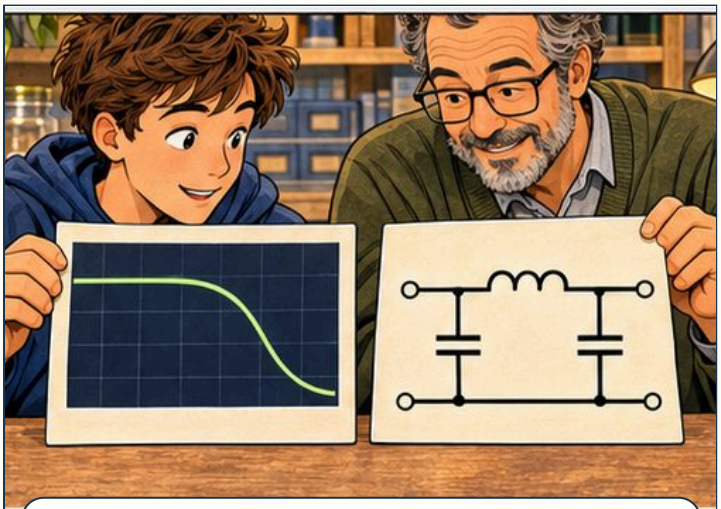
Model idealnya tidak beriak dalam pita tersebut.



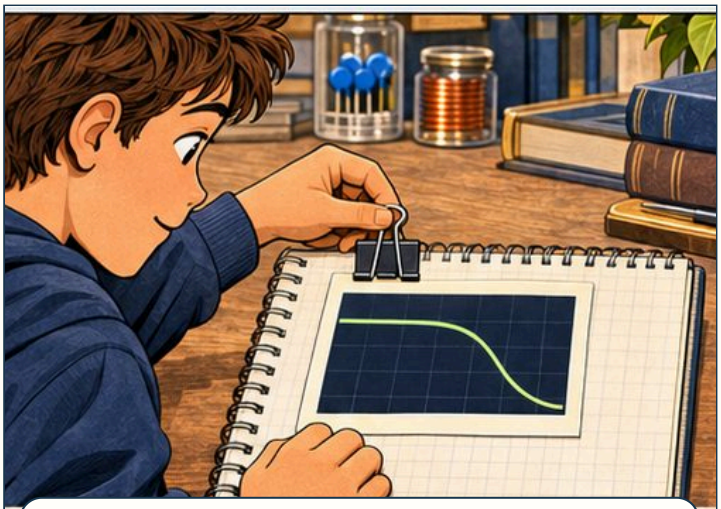
Transisinya tetap bertahap dengan kelengkungan khas.



Respons lain menerima kompromi berbeda.



Mereka memilih keluarga ini untuk rancangan pertama yang jelas.



Jadi, namanya lebih khusus daripada sekadar lolos-rendah.

Memulai dengan prototipe



Prototipe ternormalisasi menyediakan koefisien rancangan.



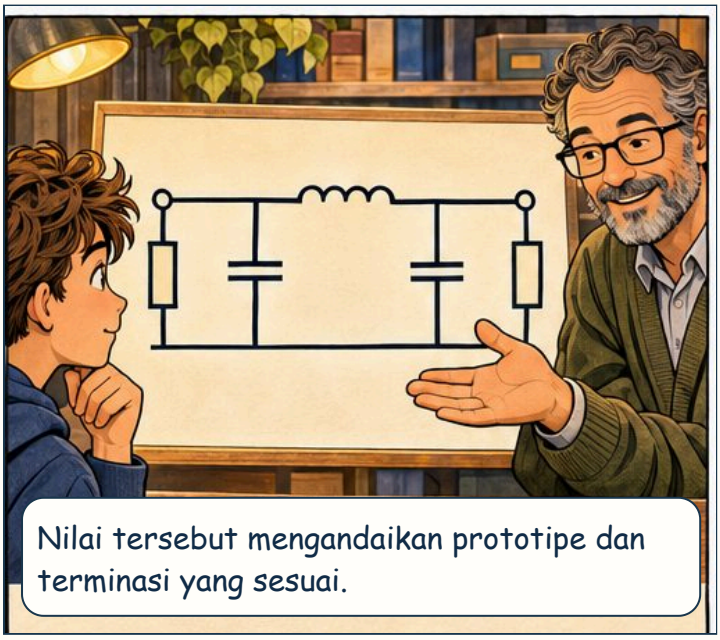
Untuk Butterworth orde tiga ini, nilainya 1, 2, dan 1.



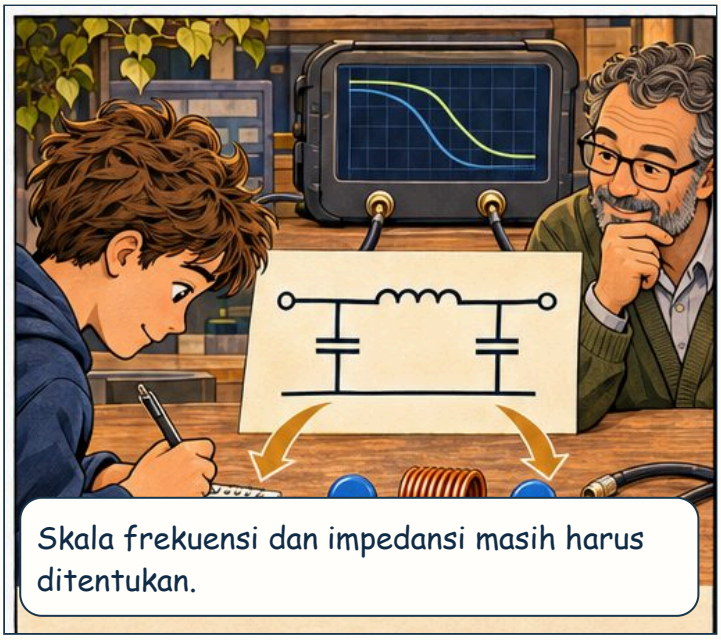
Secara berurutan, nilainya untuk kapasitor, kumparan, lalu kapasitor.



Koefisien itu belum merupakan nilai komponen yang harus dibeli.



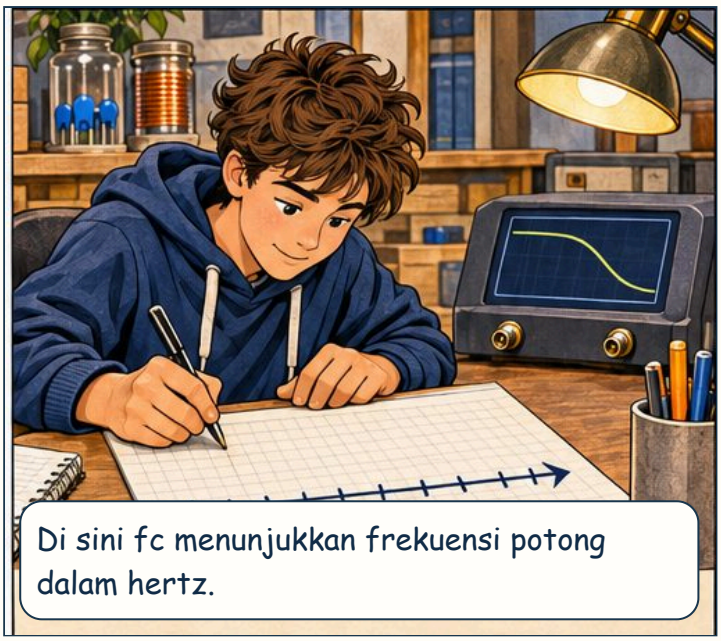
Nilai tersebut mengandaikan prototipe dan terminasi yang sesuai.



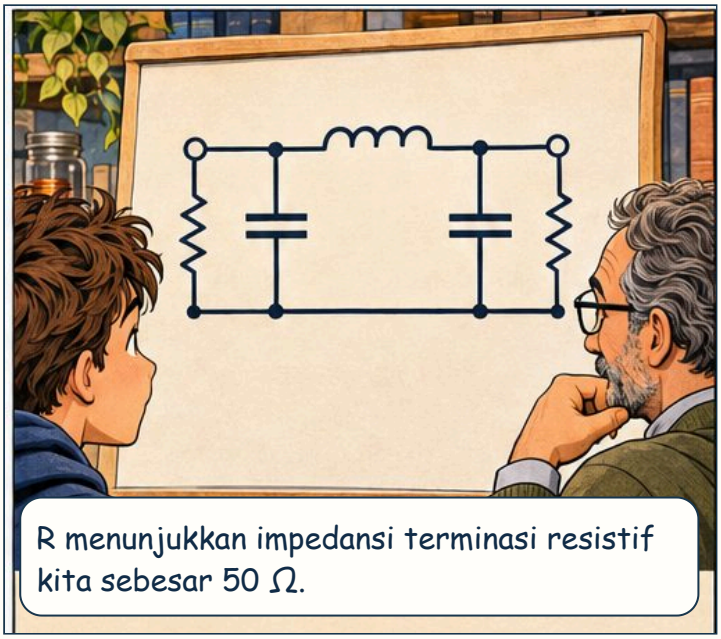
Skala frekuensi dan impedansi masih harus ditentukan.

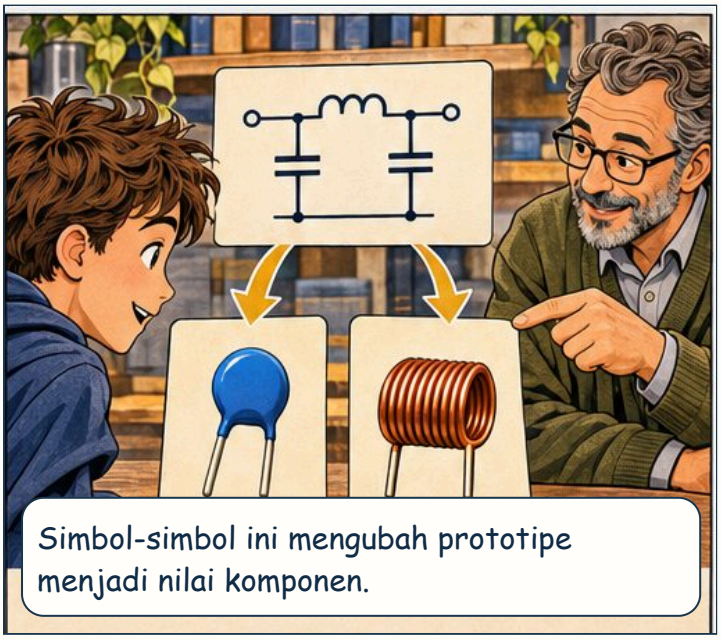
Mengubah skala

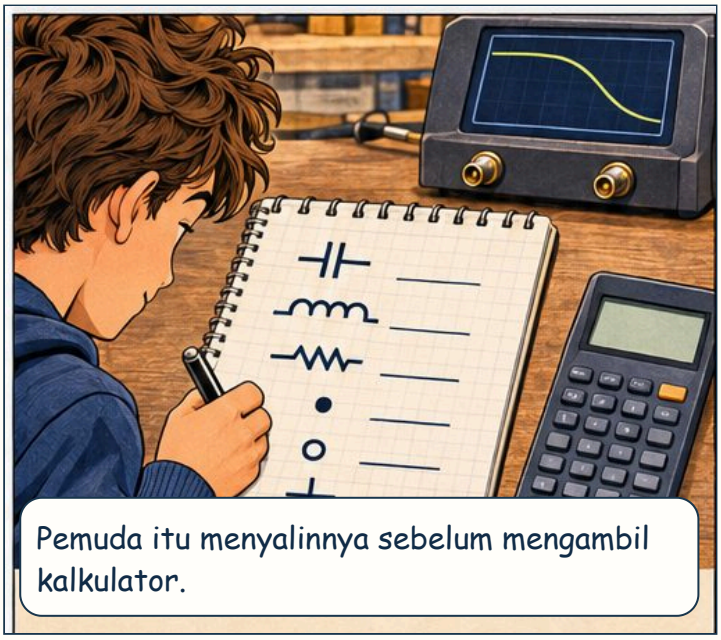








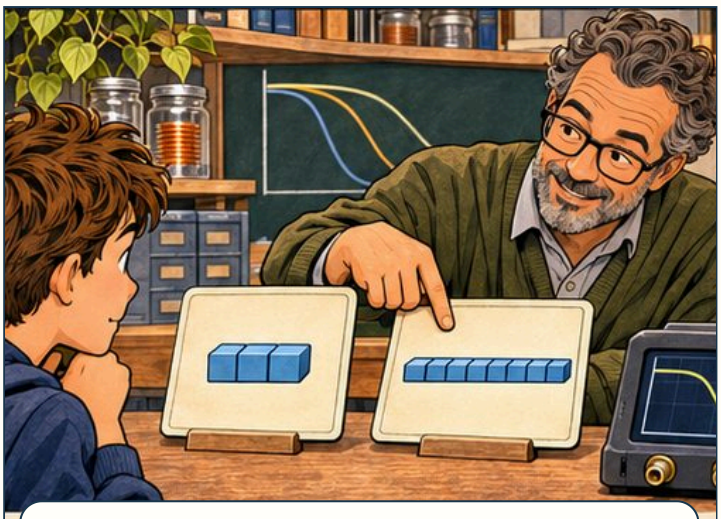




Satuan sebelum angka



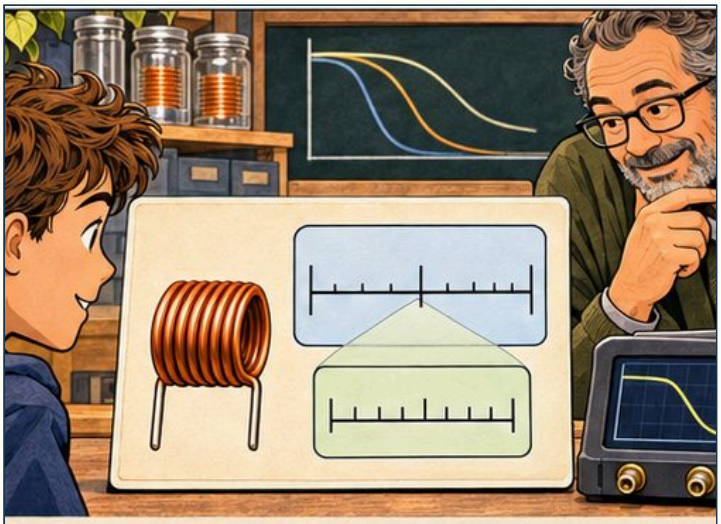
Satu megahertz sama dengan satu juta hertz.



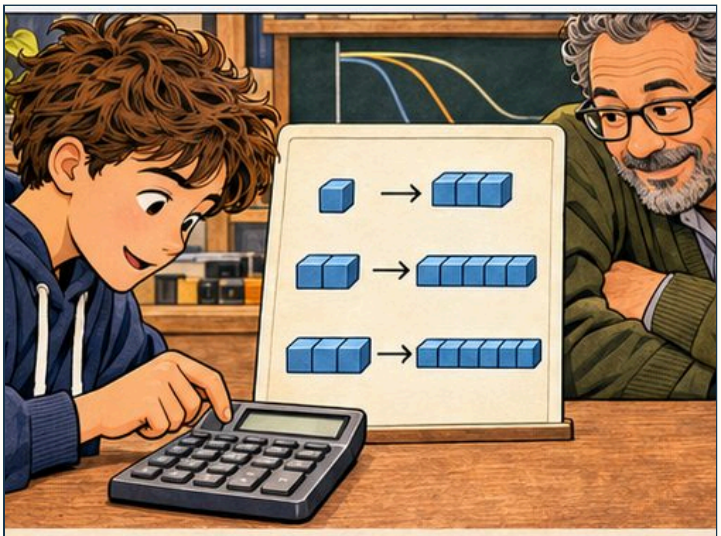
Jadi, frekuensi potong 10 MHz sama dengan 10 000 000 Hz.



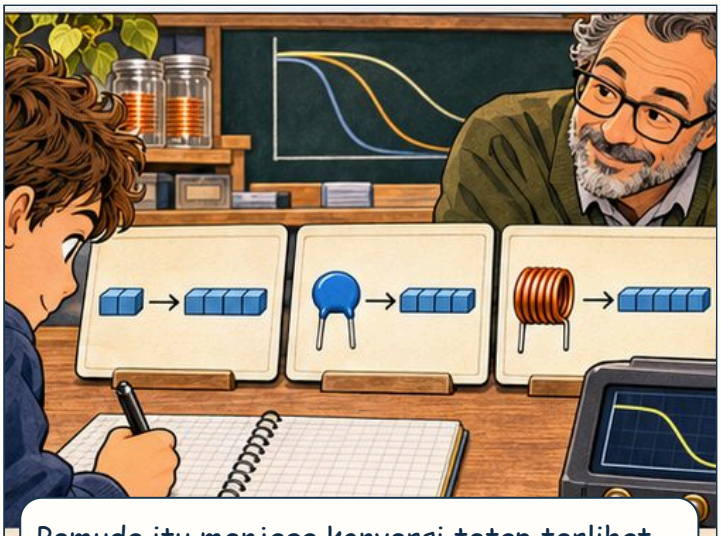
Satu pikofarad sama dengan 10^{-12} F.



Satu mikrohenry sama dengan 10^{-6} H.

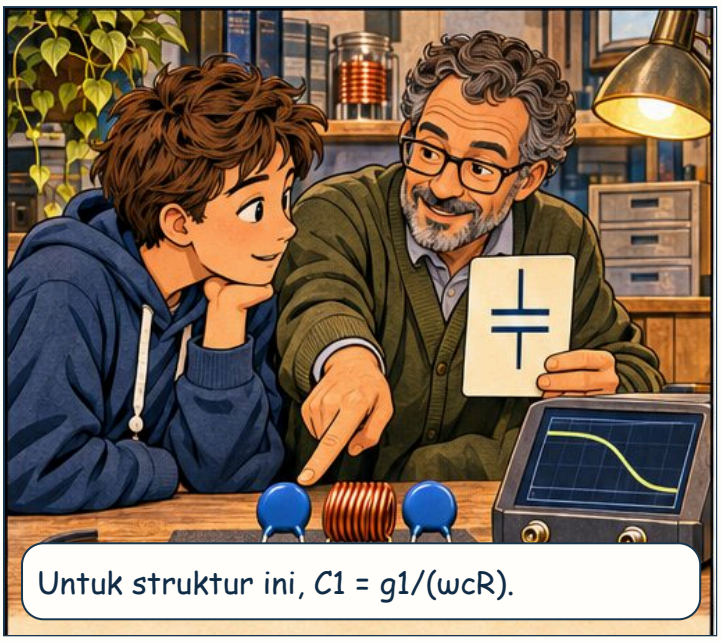


Rumus terlebih dahulu memakai satuan dasar.



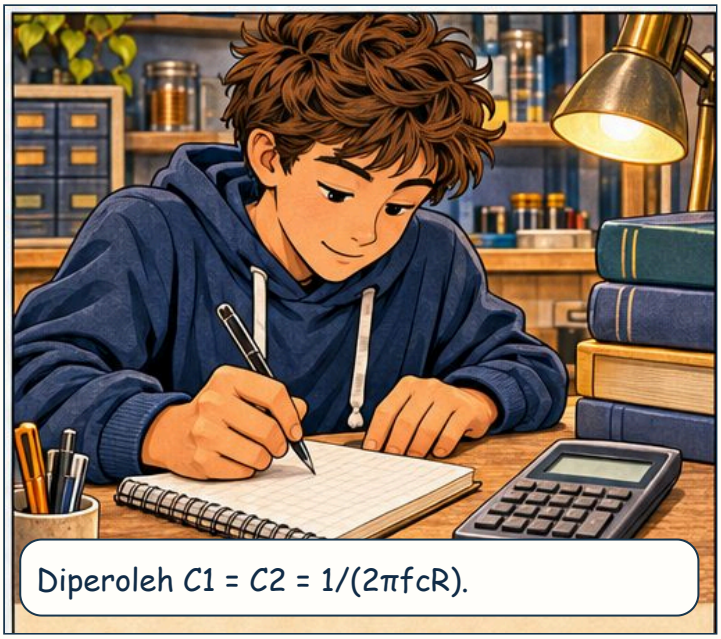
Pemuda itu menjaga konversi tetap terlihat di samping perhitungan.

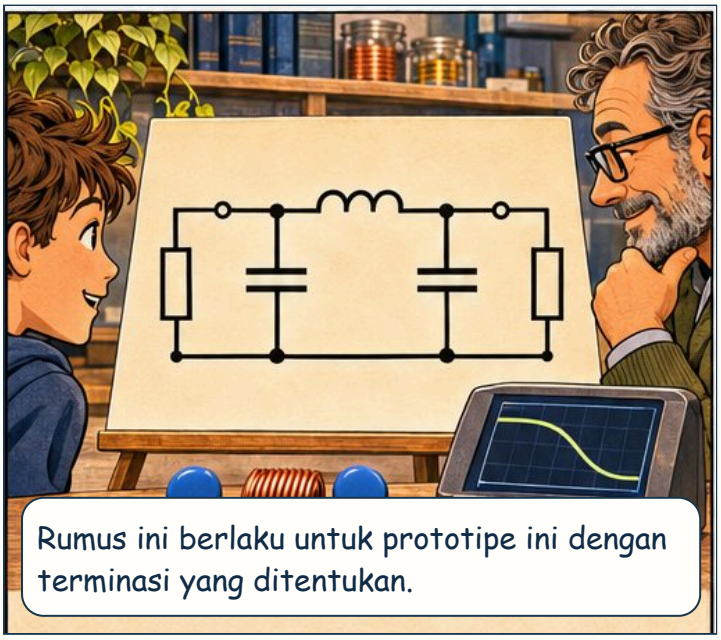
Rumus kapasitor

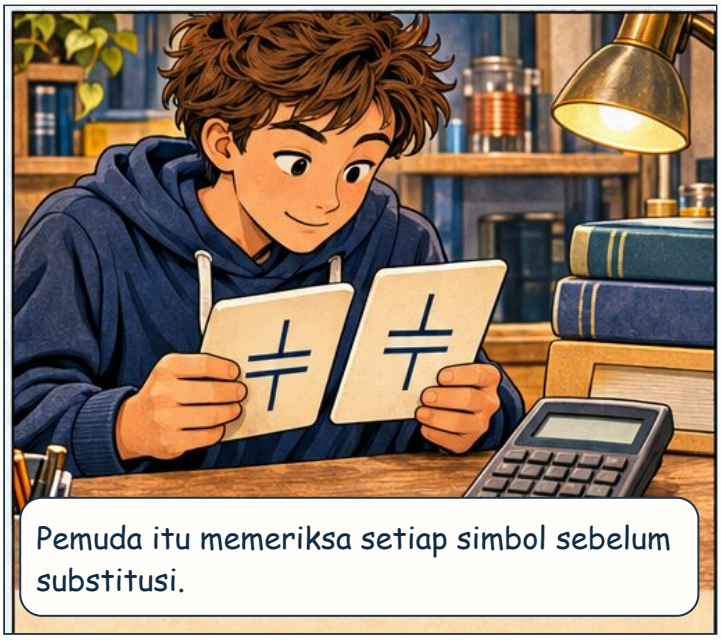








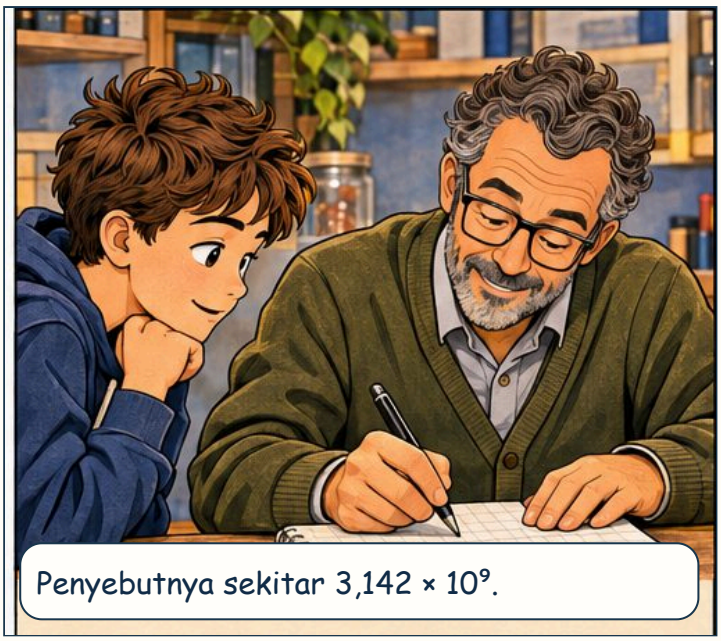




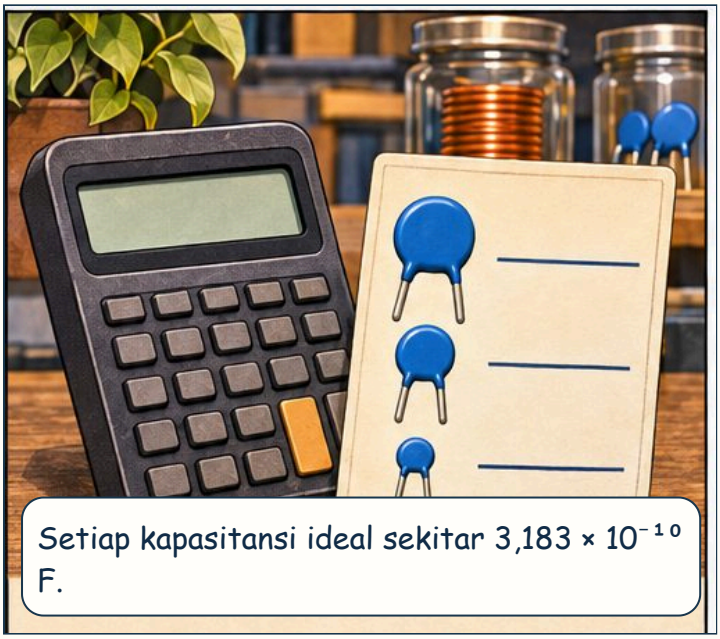
Menghitung kapasitansi



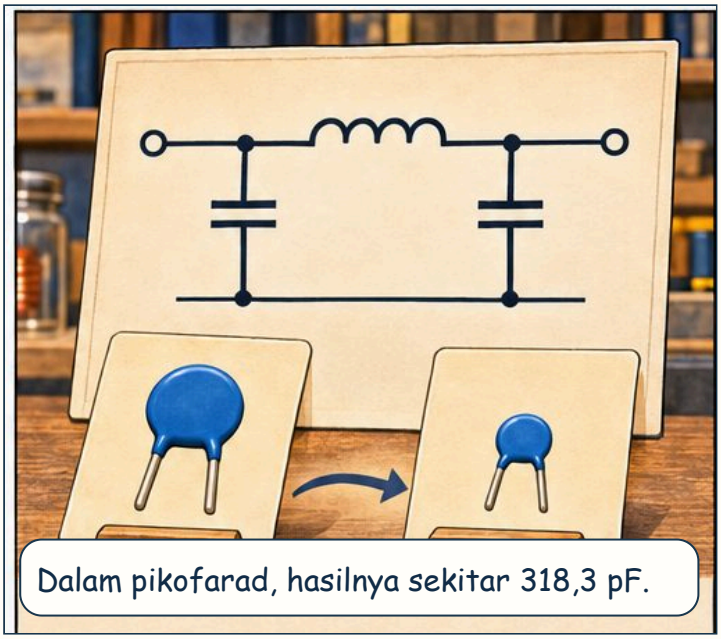
Mereka mengganti fc dengan 10 000 000 Hz dan R dengan 50 Ω.



Penyebutnya sekitar 3,142 × 10^{9}.



Setiap kapasitansi ideal sekitar 3,183 × 10^{-10} F.



Dalam pikofarad, hasilnya sekitar 318,3 pF.

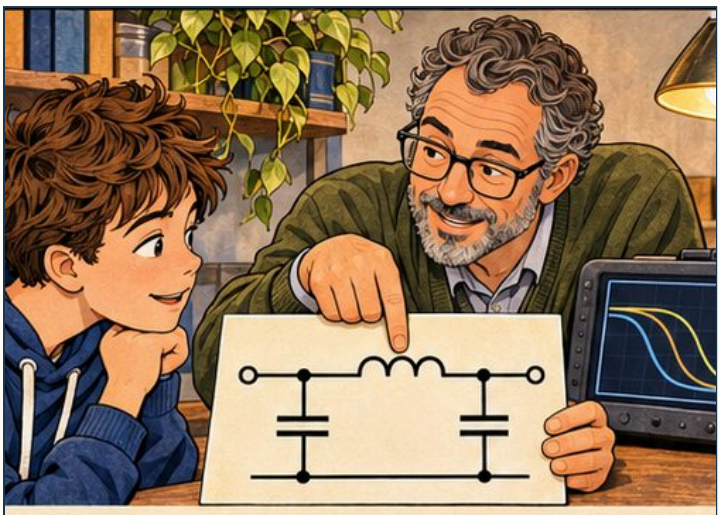


Jadi, kedua kapasitor memiliki nilai teoretis yang sama.



Lucas menulis hasil beserta satuannya dengan jelas.

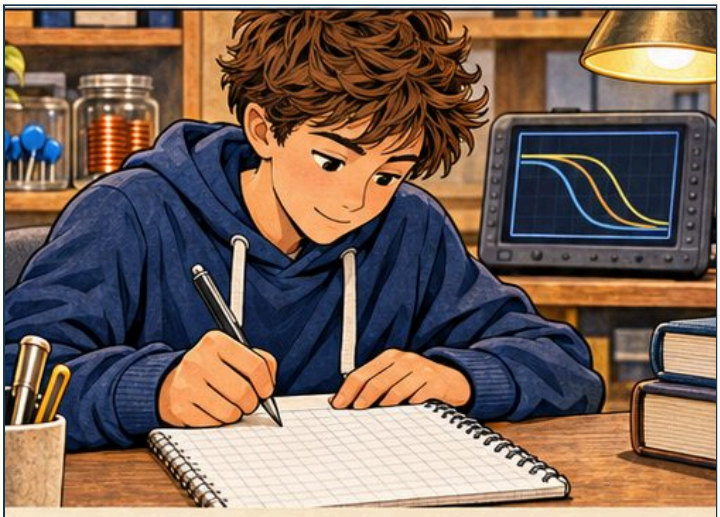
Rumus kumparan



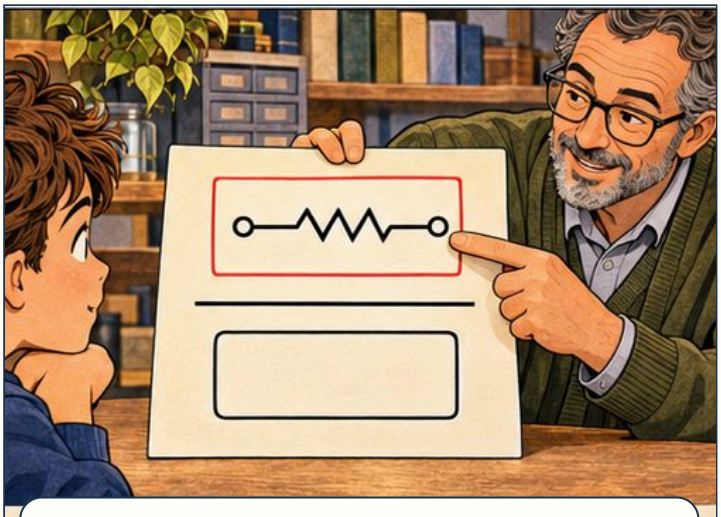
Untuk kumparan seri, L = g2R/ωc.



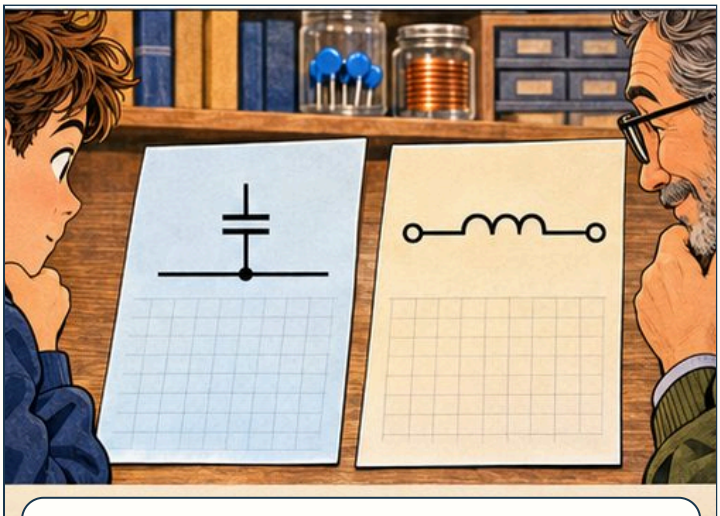
Koefisien tengah di sini adalah g2 = 2.



Jadi, L = 2R/(2πfc).



Kali ini resistansi terminasi berada di pembilang.



Pemuda itu membandingkan rumus ini dengan rumus kapasitor.

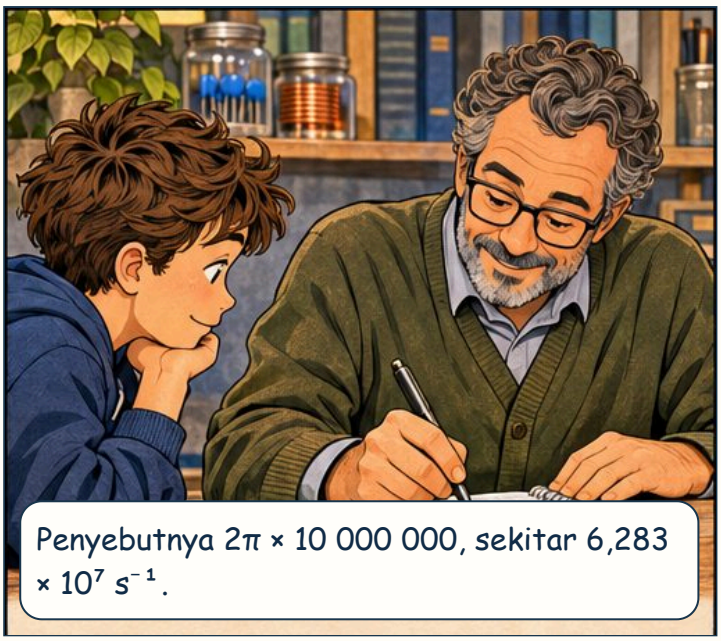


Kemiripan tampilan tidak menghilangkan perlunya membaca ulang.

Menghitung induktansi



Pembilangnya 2 × 50, yaitu 100 Ω.



Penyebutnya 2π × 10 000 000, sekitar 6,283 × 10^{7} s^{-1}.



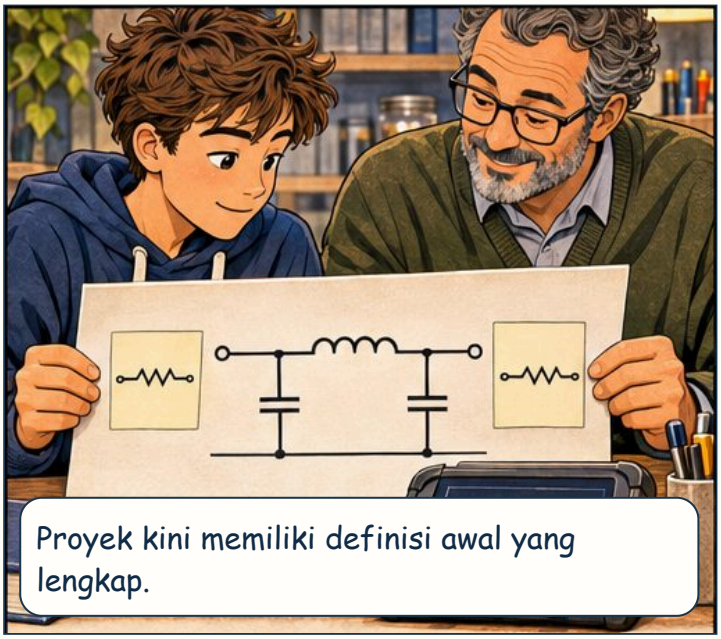
Perhitungan menghasilkan sekitar 1,592 × 10^{-6} H.



Jadi, kumparan ideal memiliki induktansi sekitar 1,59 μH.



Mereka menggabungkan ketiga hasil dalam satu diagram.



Proyek kini memiliki definisi awal yang lengkap.

Kesalahan sejuta kali



Pemuda itu mencoba mengetik ulang perhitungan dengan cepat.



Ia memasukkan 10, bukan 10 000 000.



Hasilnya menjadi sejuta kali terlalu besar.



Perbandingan dengan komponen yang diharapkan langsung mengungkap masalah.



Ia memperbaiki masukan dan menghitung ulang secara terpisah.

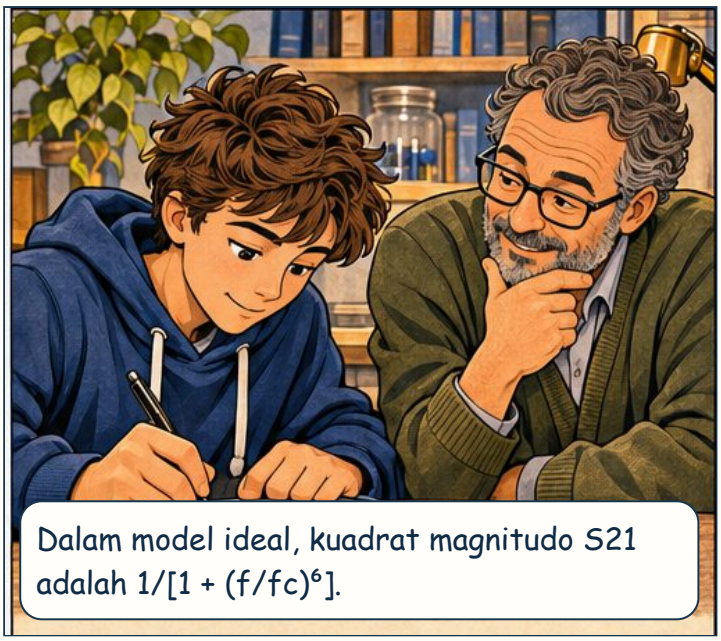


Memeriksa orde besaran menjadi kebiasaan berguna.

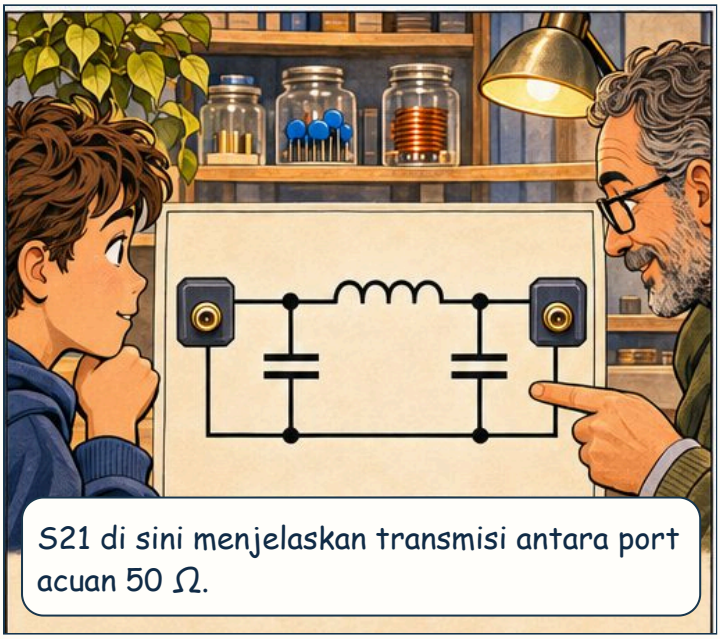
Memprediksi seluruh kurva



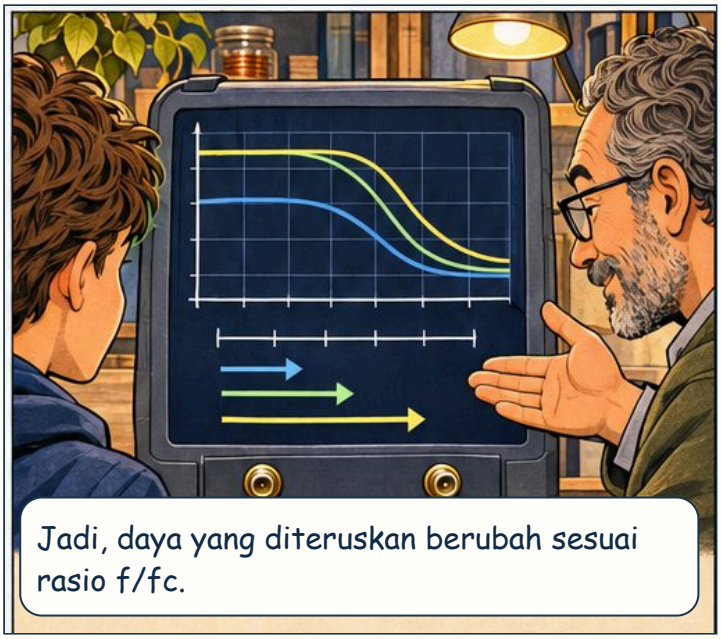
Tiga nilai belum menjelaskan seluruh respons.



Dalam model ideal, kuadrat magnitudo S21 adalah $1/[1 + (f/fc)^6]$.



S21 di sini menjelaskan transmisi antara port acuan 50 Ω.



Jadi, daya yang diteruskan berubah sesuai rasio f/fc.



Kurva teoretis menjadi acuan sebelum pengukuran.



Pemuda itu menyiapkan beberapa frekuensi pembanding.

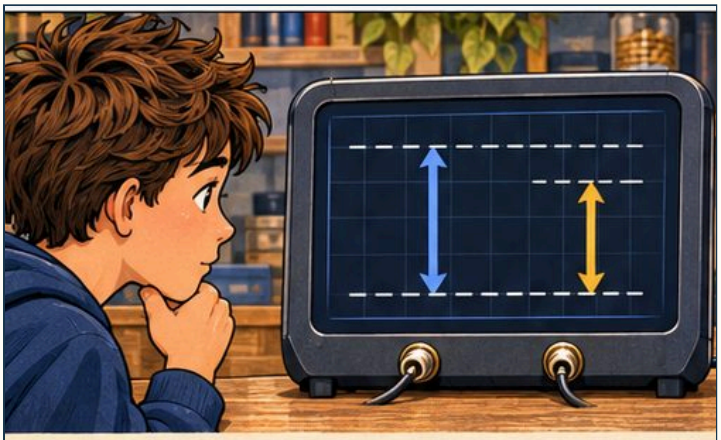
Apa arti minus tiga desibel?



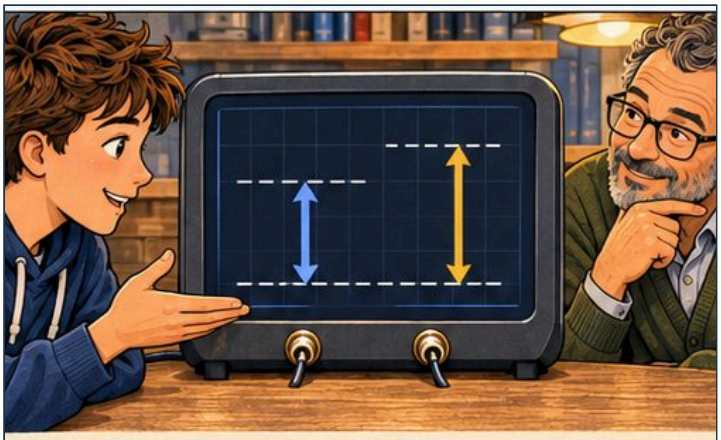
Pada f = fc, rasio daya ideal yang diteruskan adalah 1/2.



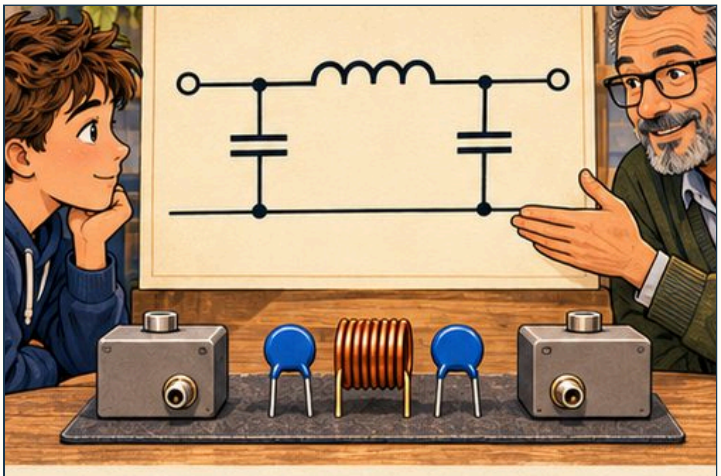
Dalam desibel, 10 log10(1/2) menghasilkan sekitar −3,01 dB.



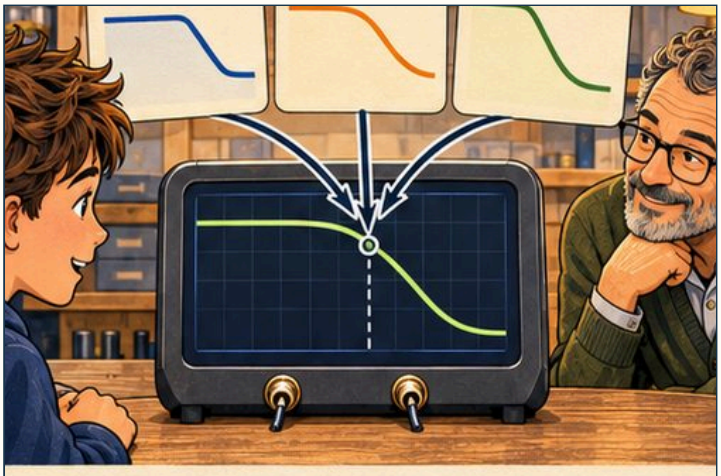
Magnitudo S21 saat itu sekitar 0,707.



Jadi, amplitudo ini bukan setengahnya.



Perhitungan menggunakan acuan 50 Ω yang sesuai.

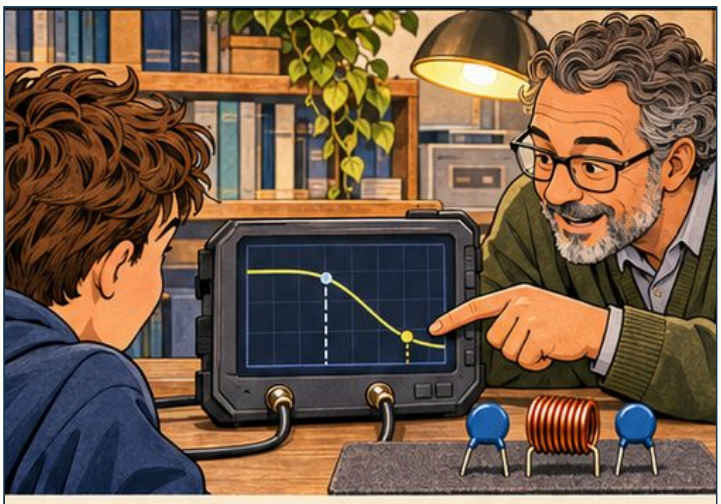


Pemuda itu menghubungkan tiga bentuk penulisan titik kurva yang sama.

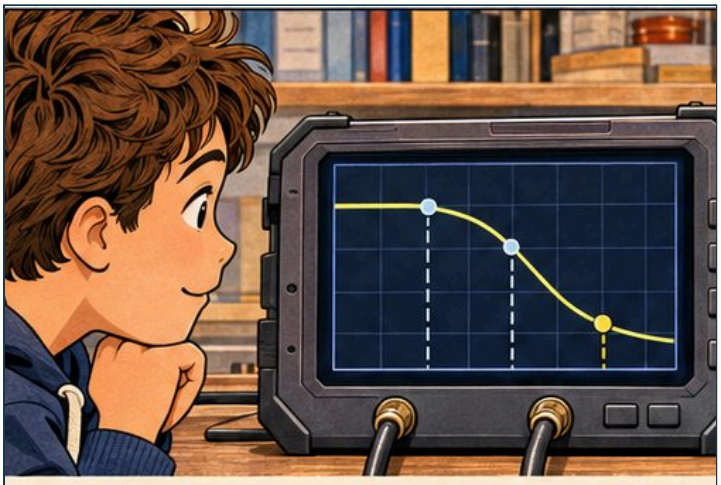
Di atas frekuensi potong



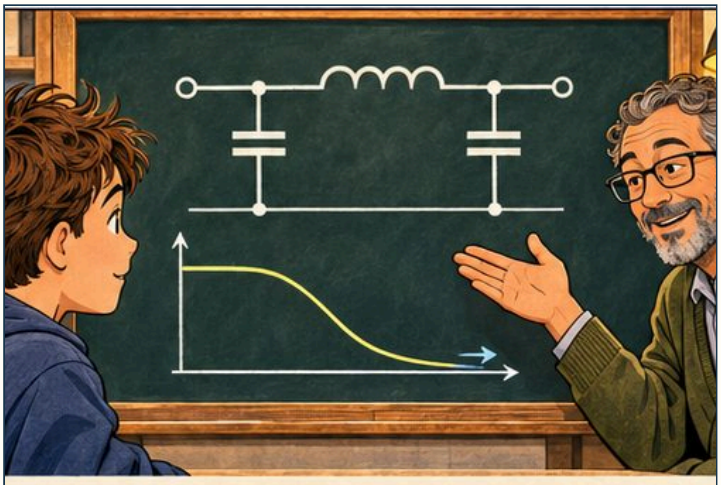
Pada 20 MHz, f/fc adalah 2.



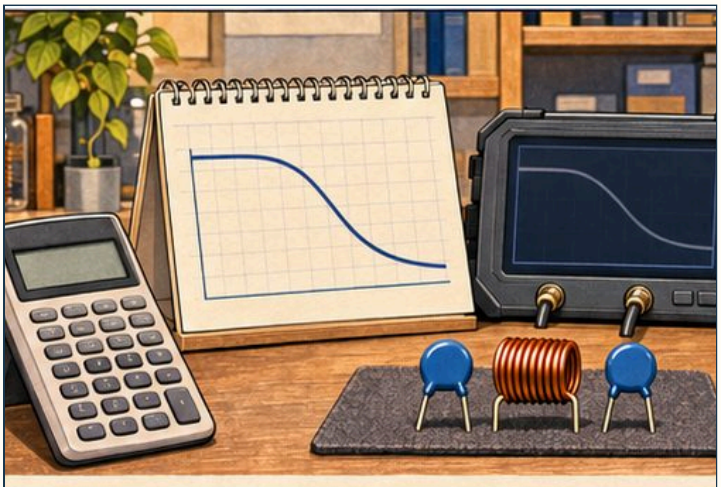
Transmisi ideal menjadi sekitar −18,13 dB.



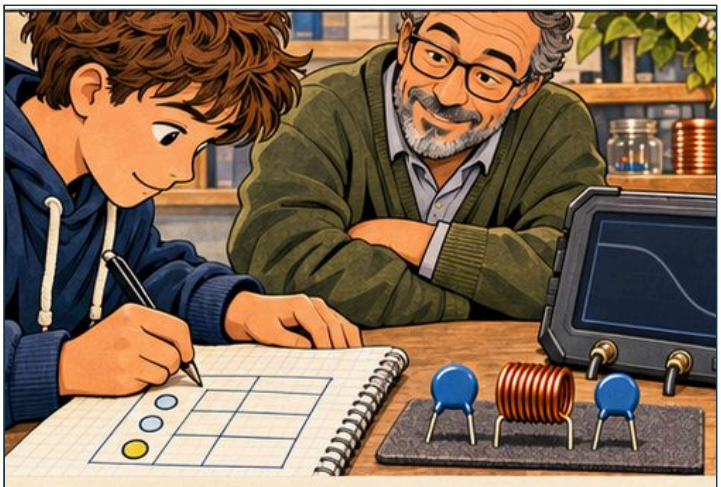
Pada 30 MHz, f/fc adalah 3: sekitar −28,63 dB.



Redaman meningkat, tetapi tetap berhingga.

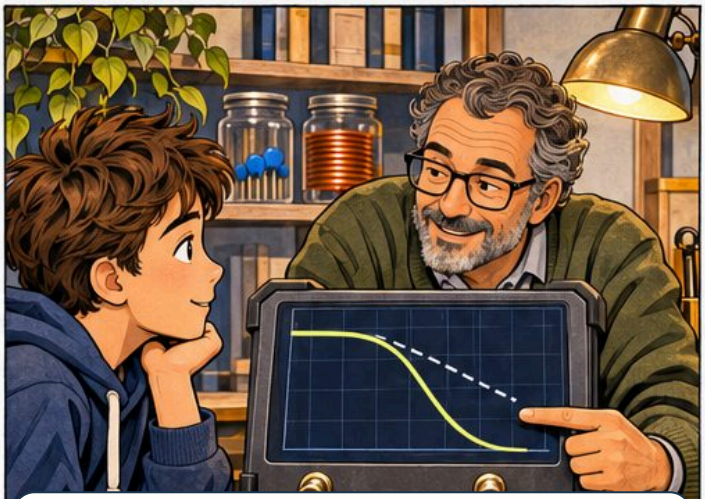


Angka-angka ini dihitung, bukan diukur pada rangkaian mereka.

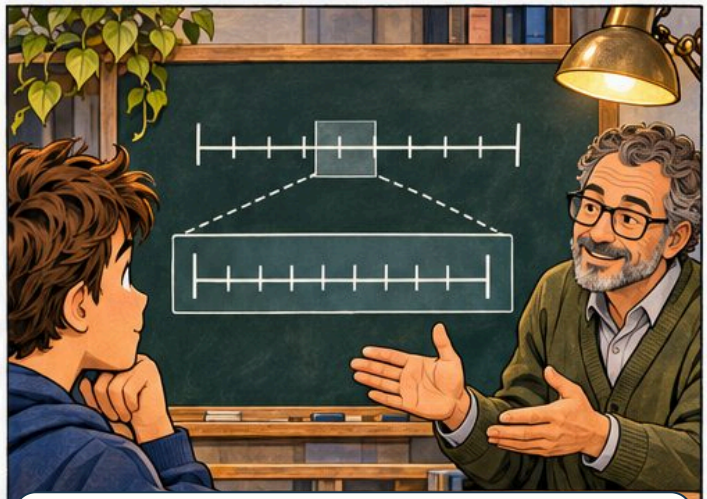


Pemuda itu menaruhnya dalam kolom prediksi.

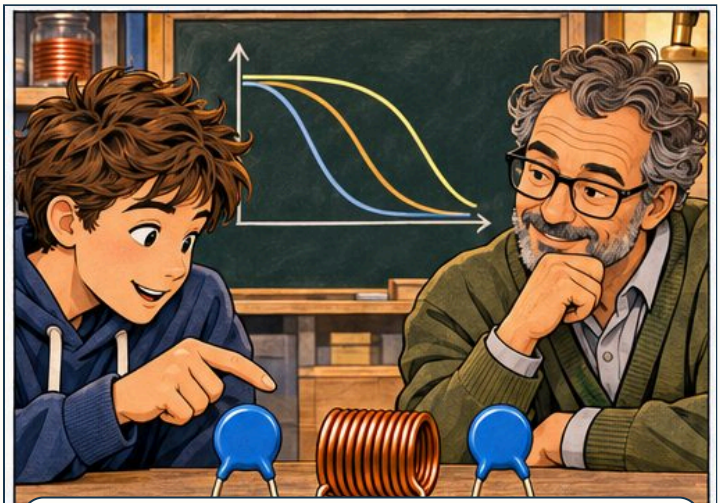
Kemiringan bukan janji



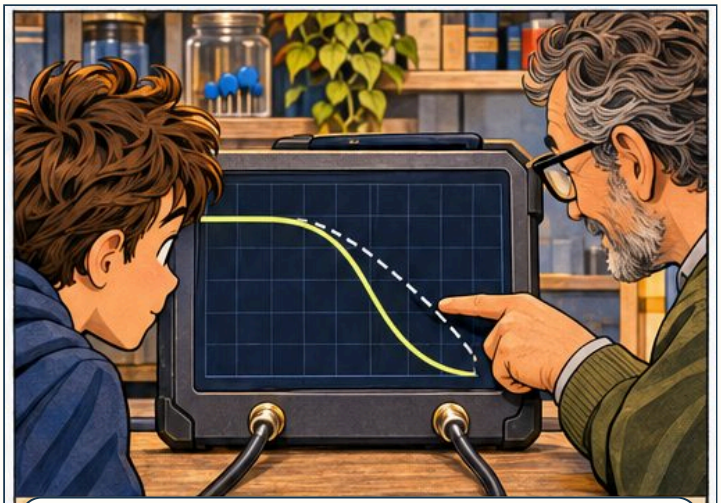
Jauh di atas frekuensi potong, redaman ideal mendekati 60 dB per dekade.



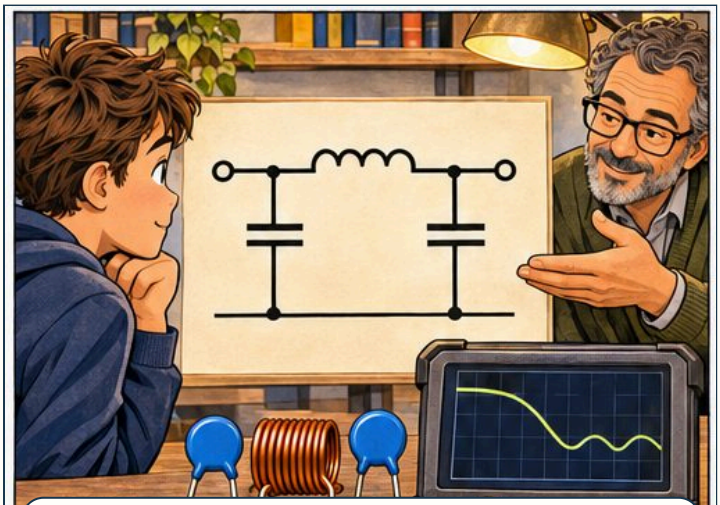
Satu dekade berarti frekuensi dikalikan sepuluh.



Kemiringan asimtotik ini milik model orde tiga.



Dekat frekuensi potong, kurva bukan garis lurus.

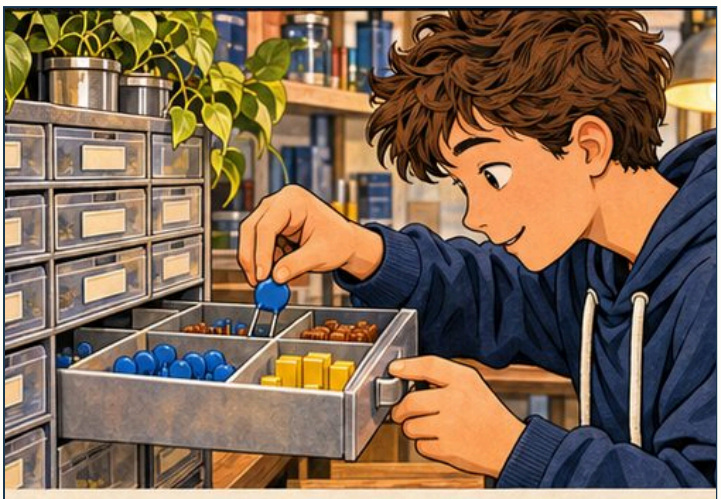


Komponen nyata juga membatasi perkembangan ini.

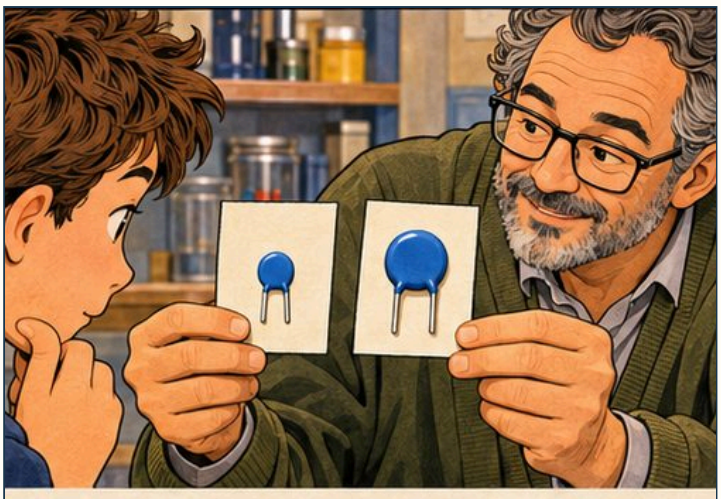


Pemuda itu tidak memperluas aturan di luar syaratnya.

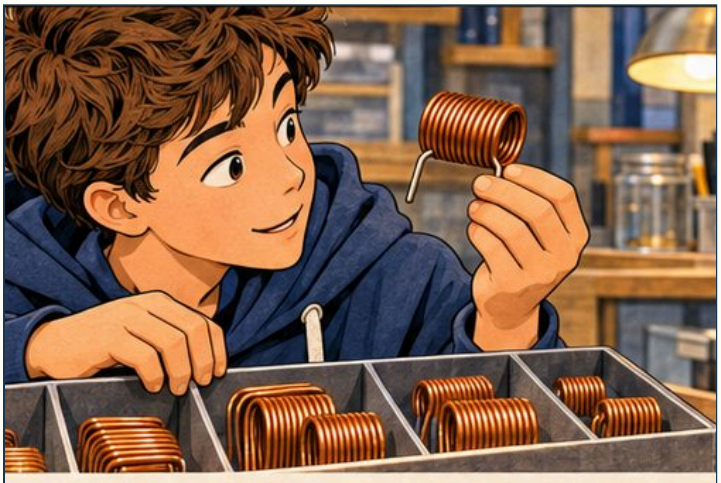
Nilai yang tersedia



Laci belum tentu berisi kapasitor 318,3 pF.



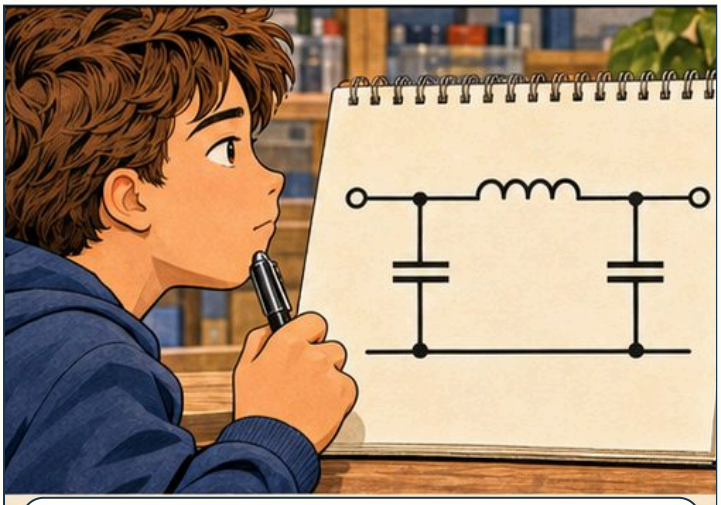
Nilai umum 330 pF tidak sama.



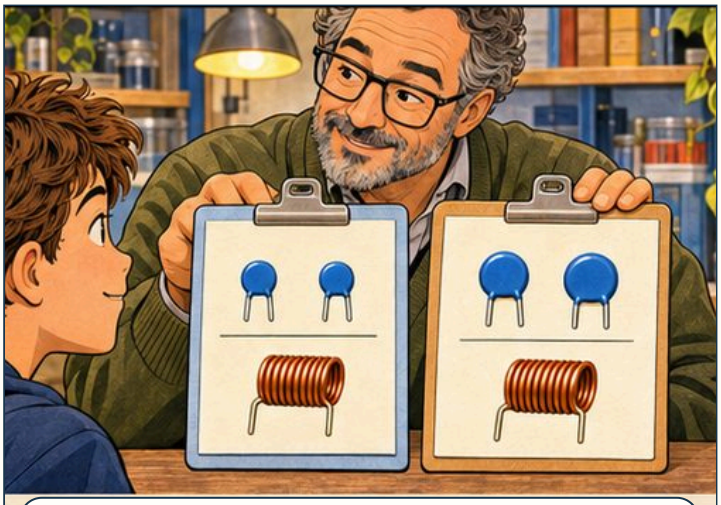
Kumparan 1,6 μH mendekati nilai hasil perhitungan.



Memilih nilai itu mengharuskan penghitungan ulang atau simulasi respons.

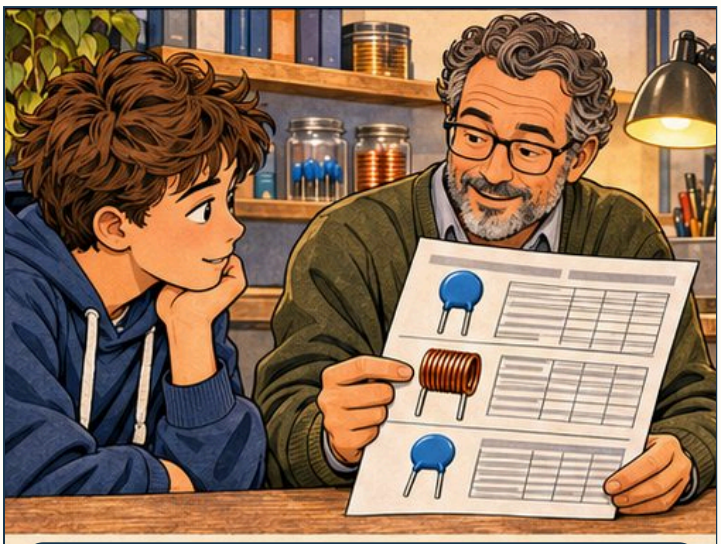


Rangkaian ini tidak otomatis disebut “tepat 10 MHz”.



Pemuda itu memisahkan nilai ideal dan nilai yang dipilih.

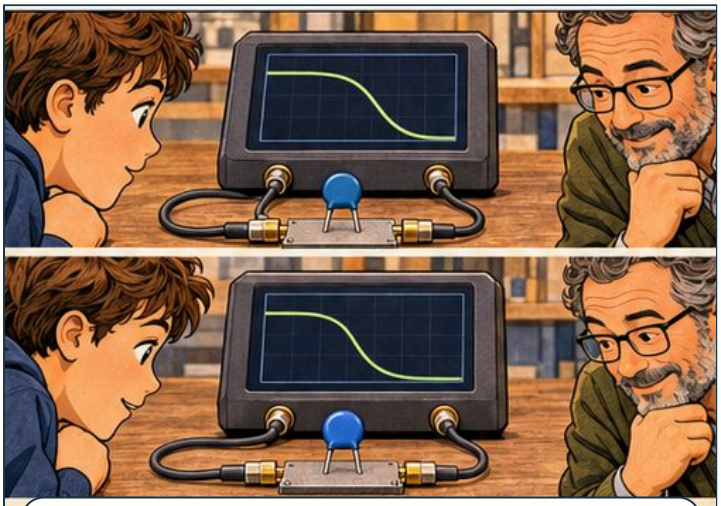
Setiap komponen punya toleransi



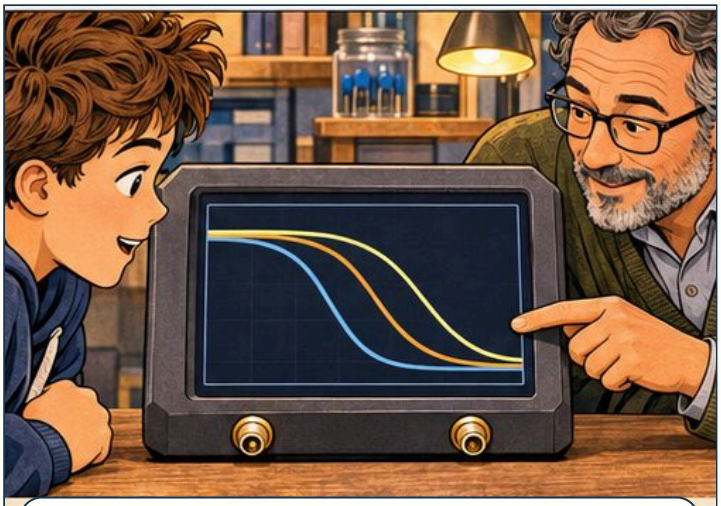
Nilai nominal bukan jaminan nilai yang tepat.



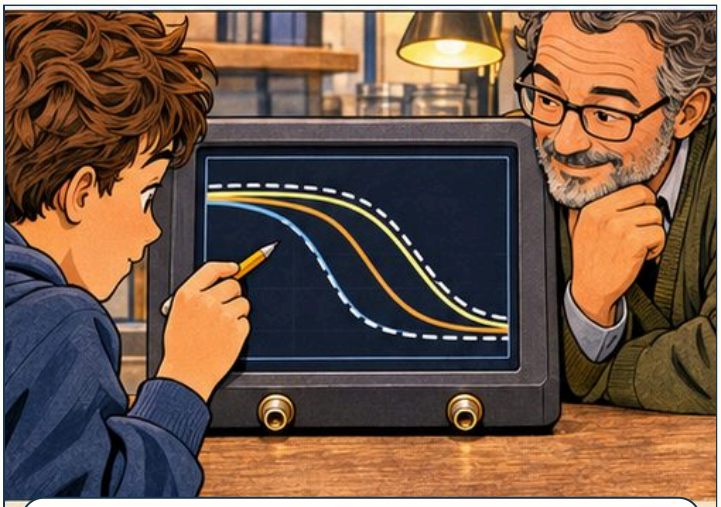
Toleransi kapasitor dan kumparan penting.



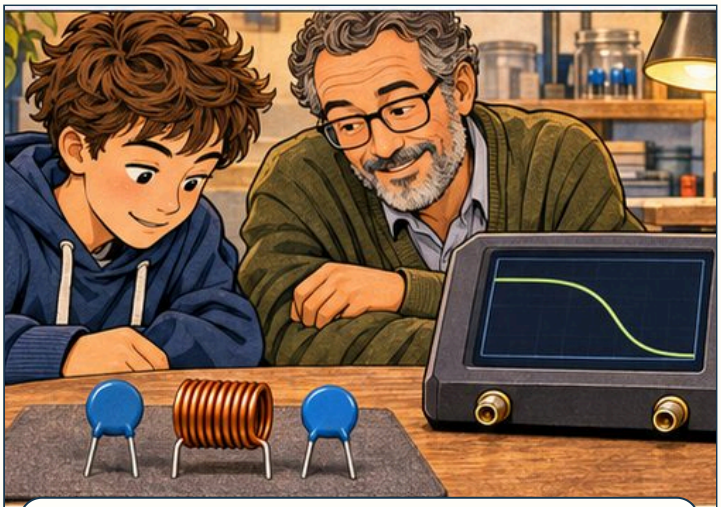
Komponen dengan tanda sama dapat sedikit berbeda.



Simulasi dapat meneliti beberapa kombinasi nilai.



Simulasi membantu memperkirakan rentang respons yang mungkin.



Pengukuran kemudian memeriksa komponen yang benar-benar digunakan.

Komponen tersembunyi



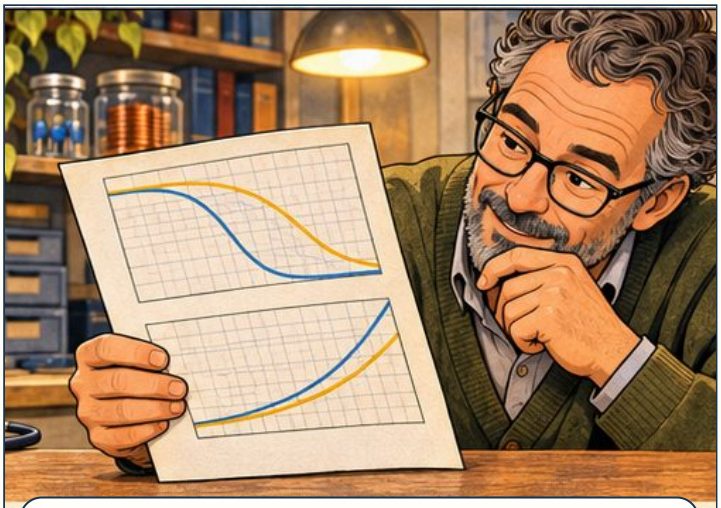
Kumparan nyata juga memiliki resistansi dan kapasitansi parasitik.



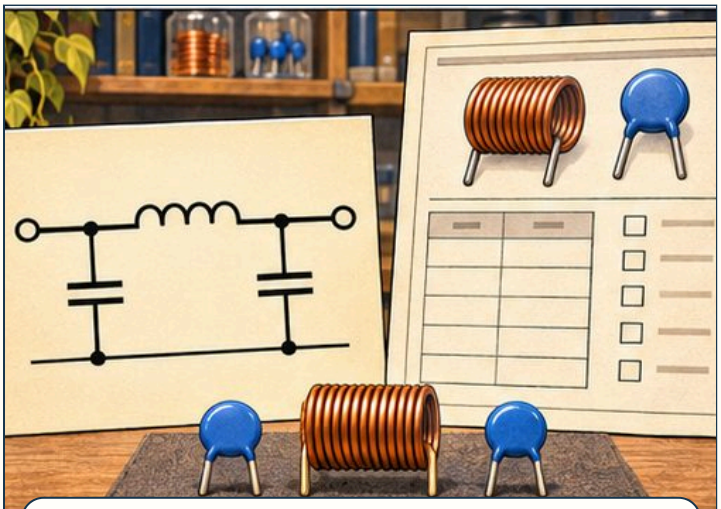
Kapasitor antara lain memiliki rugi-rugi dan induktansi parasitik.



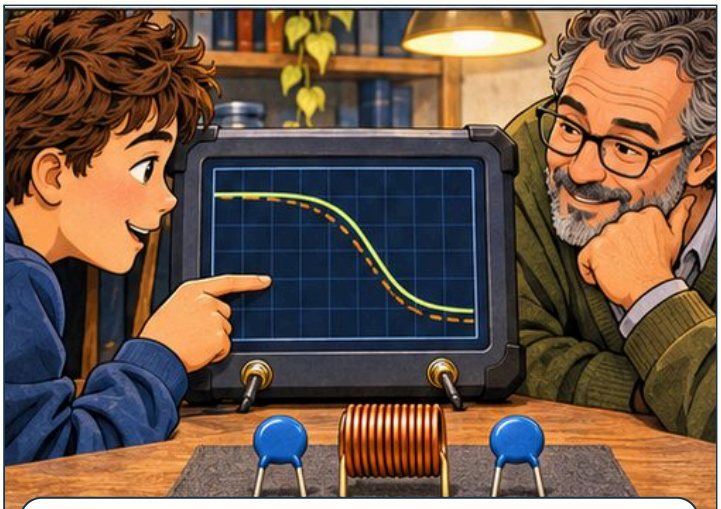
Perilakunya berubah ketika mendekati resonansi tertentu.



Lembar data menunjukkan batas yang perlu diperiksa.



Jadi, nilai pikofarad atau mikrohenry saja tidak cukup.



Pemuda itu belajar membaca melampaui baris pertama.

Uji meja bukan kelayakan pemancar



Peraga mereka hanya menerima sinyal kecil yang dirancang untuk analiser.



Penggunaan untuk memancar memerlukan pemeriksaan tambahan.



Tegangan, arus, pemanasan, dan kemampuan daya harus dipelajari.



Batas tegangan satu kapasitor tidak membuktikan kelayakan seluruh filter.



Lokakarya ini tidak mencakup uji daya.



Pemuda itu menulis batas perakitan mereka dengan jelas.

Merancang tata letak

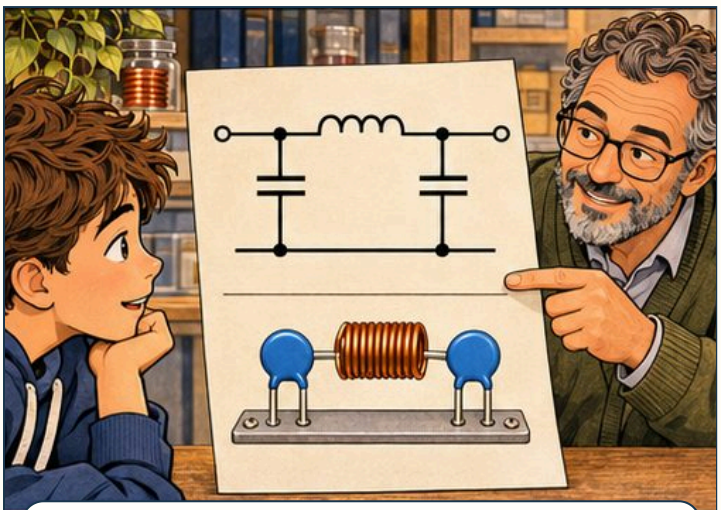
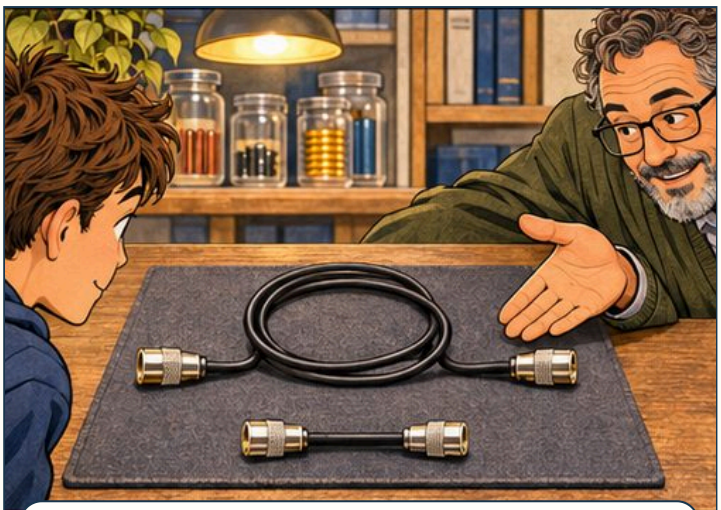
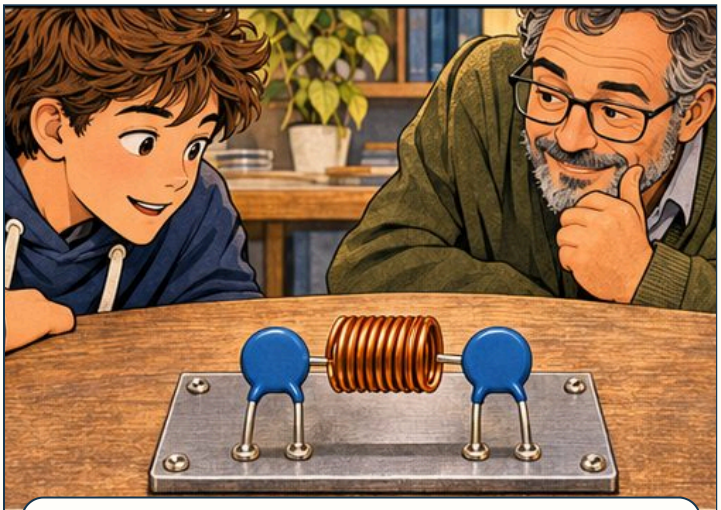


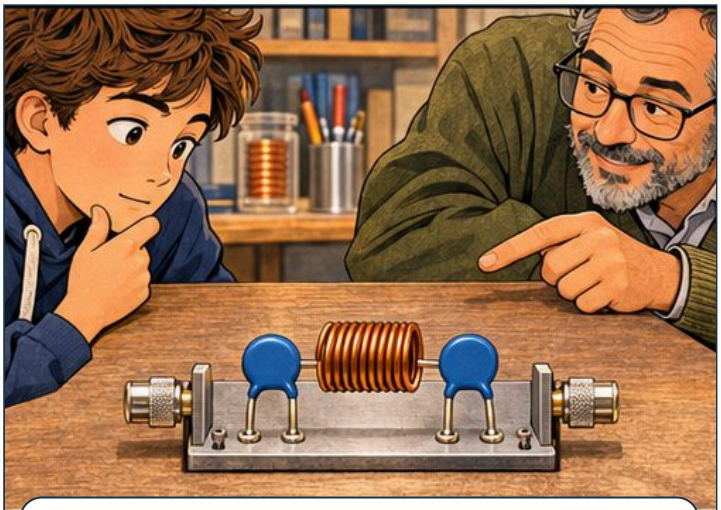
Diagram menunjukkan sambungan, tetapi tidak seluruh geometrinya.



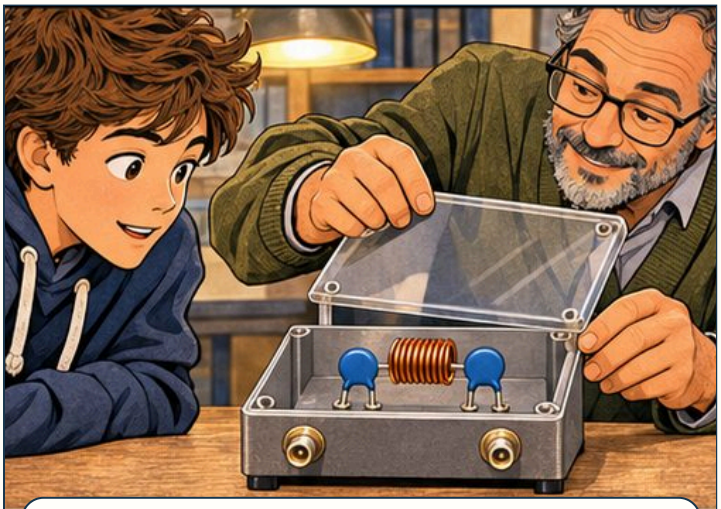
Pada frekuensi ini, panjang sambungan dan tata letak dapat berpengaruh.



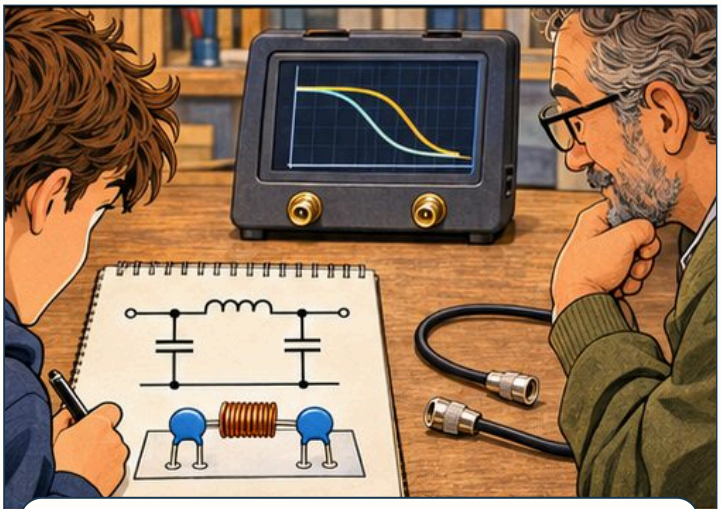
Mereka merencanakan massa bersama dan sambungan pendek.



Jalur yang dapat saling berkopel langsung juga dijauhkan.



Henri menyiapkan peraga yang sesuai untuk pengukuran.

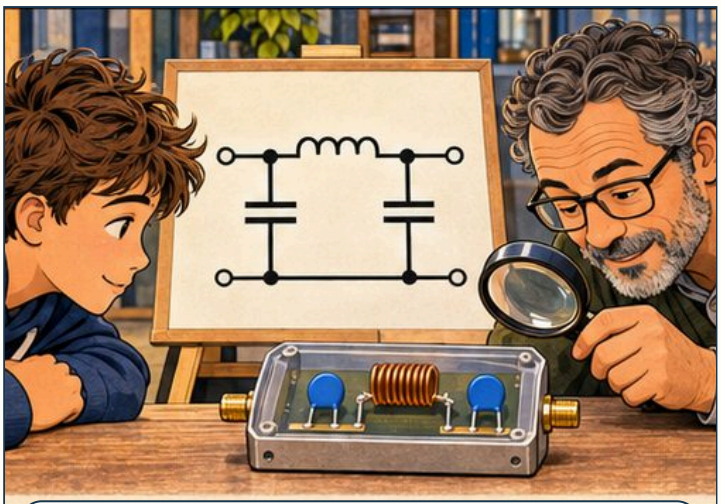


Lucas membandingkan tata letak dan diagram, sambungan demi sambungan.

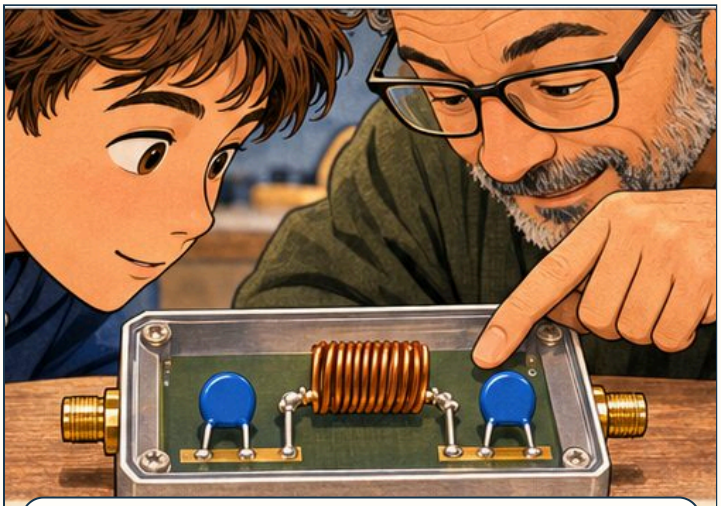
Memeriksa sebelum menyambung



Sumber pengukuran tetap dimatikan selama persiapan.



Mereka memeriksa sambungan, komponen, dan massa bersama.



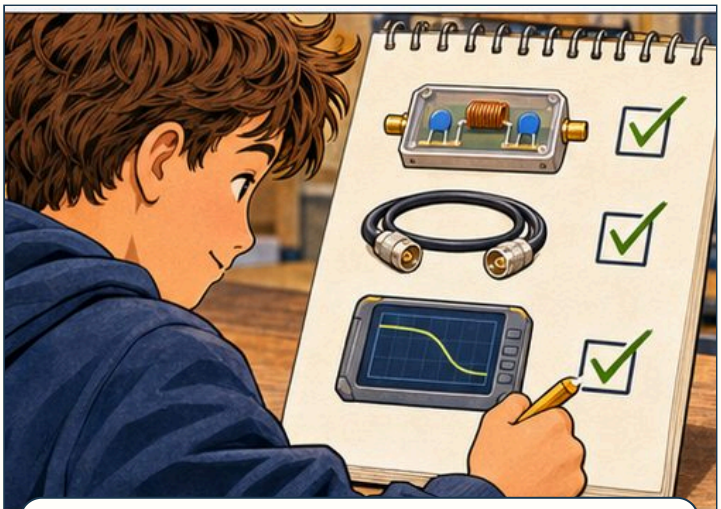
Mereka mencari hubung singkat, salah sambung, dan komponen rusak.



Konektor dan kabel diperiksa berikutnya.



Mentor memeriksa batas masukan instrumen.



Pemuda itu menyelesaikan daftar periksa sebelum sapuan pertama.

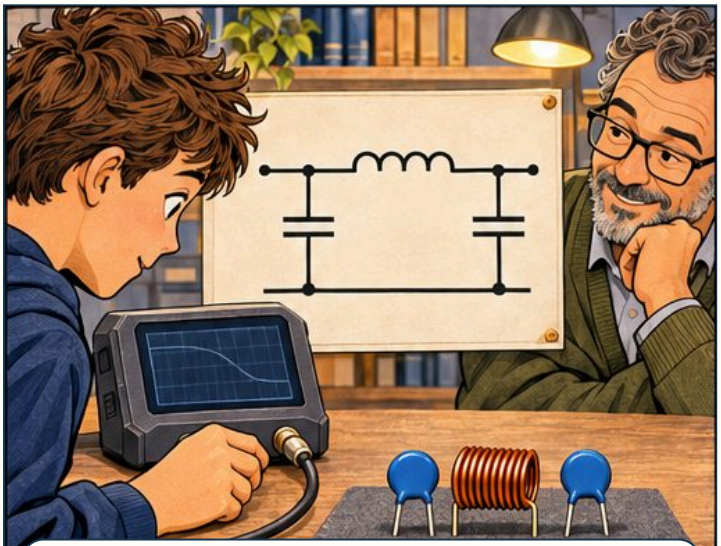
Analiser mengajukan pertanyaan



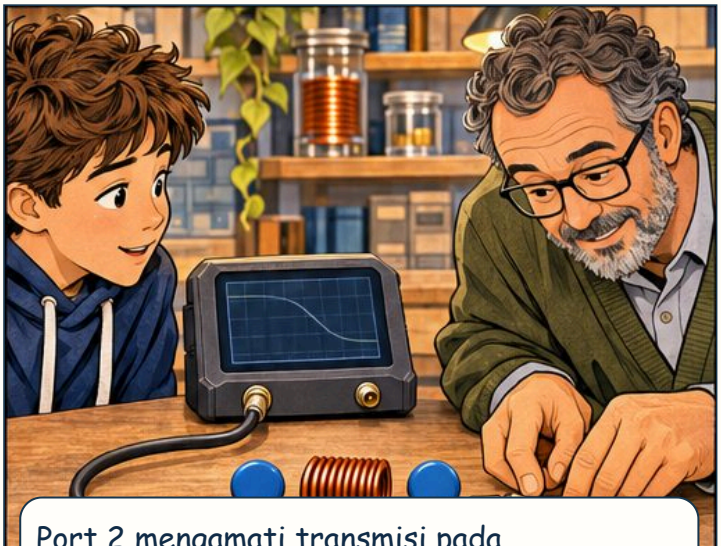
Analiser jaringan mengirimkan sinyal kecil yang diketahui.



Instrumen menyapu rentang frekuensi terpilih.



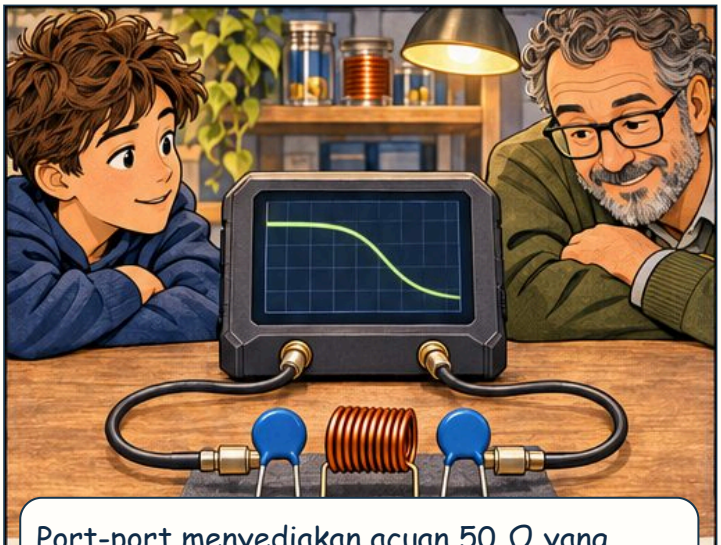
Port 1 memasok masukan filter.



Port 2 mengamati transmisi pada keluarannya.



Parameter S21 memungkinkan transmisi itu dipantau.



Port-port menyediakan acuan 50 Ω yang ditentukan.

Kalibrasi di tempat yang tepat



Kabel dan adaptor ikut memengaruhi pengukuran.



Karena itu, mereka mengikuti prosedur kalibrasi instrumen.



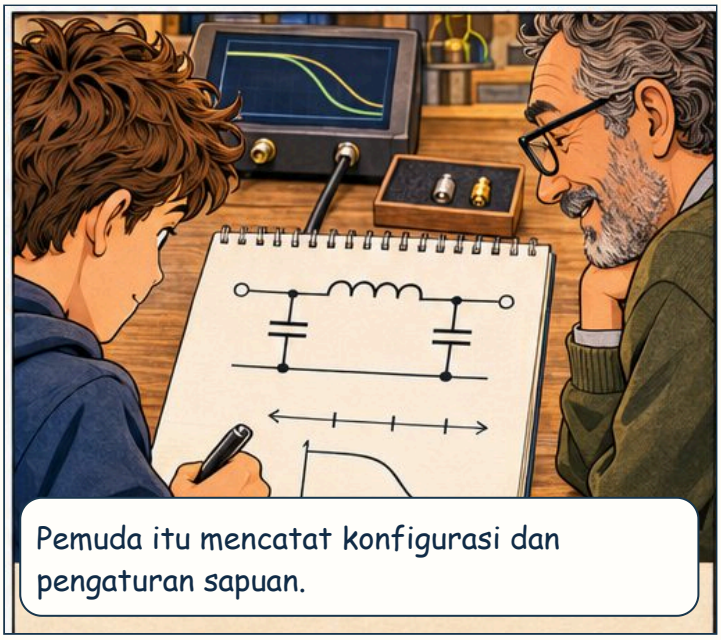
Standar yang sesuai dipasang menurut petunjuknya.



Bidang acuan ditempatkan di ujung kabel.



Sesudah kalibrasi, sambungan ini dipertahankan sebisa mungkin.



Pemuda itu mencatat konfigurasi dan pengaturan sapuan.

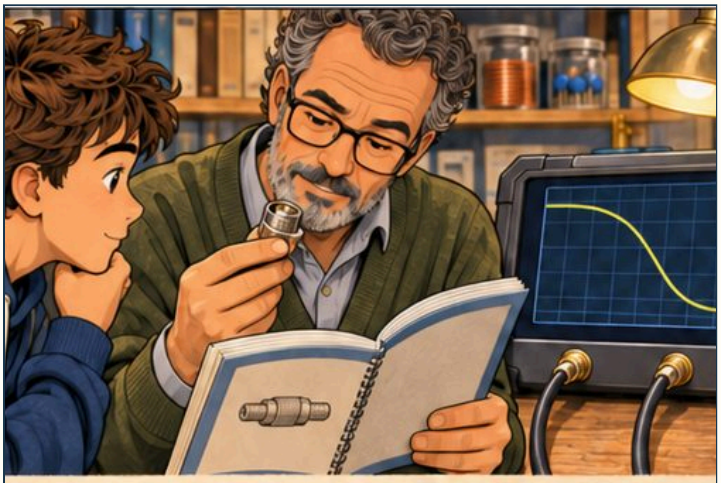
Memeriksa jalur langsung



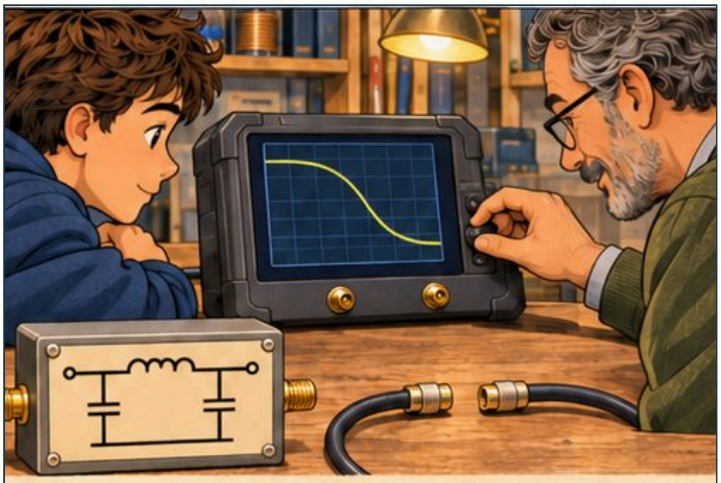
Sebelum filter, sambungan langsung digunakan untuk memeriksa acuan.



Transmisi yang diharapkan harus sesuai dengan sambungan itu.



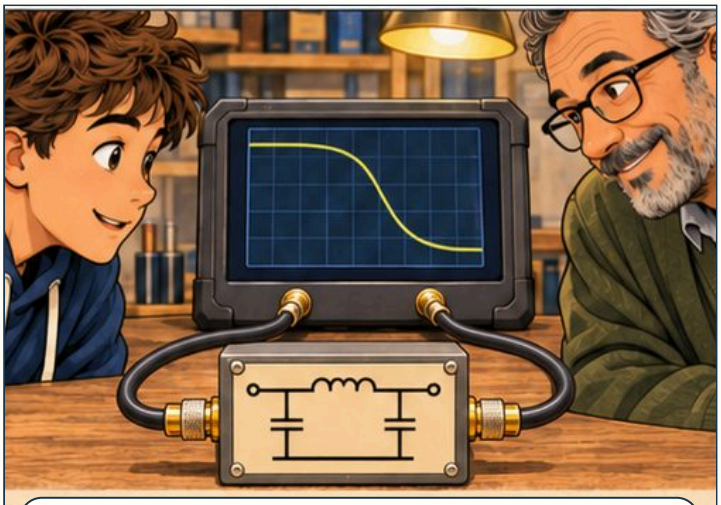
Keanehan mengharuskan pemeriksaan kabel, kalibrasi, dan pengaturan.



Filter tidak diubah untuk menyembunyikan kesalahan meja ukur.



Setelah pemeriksaan, sumber dihentikan untuk penyambungan.

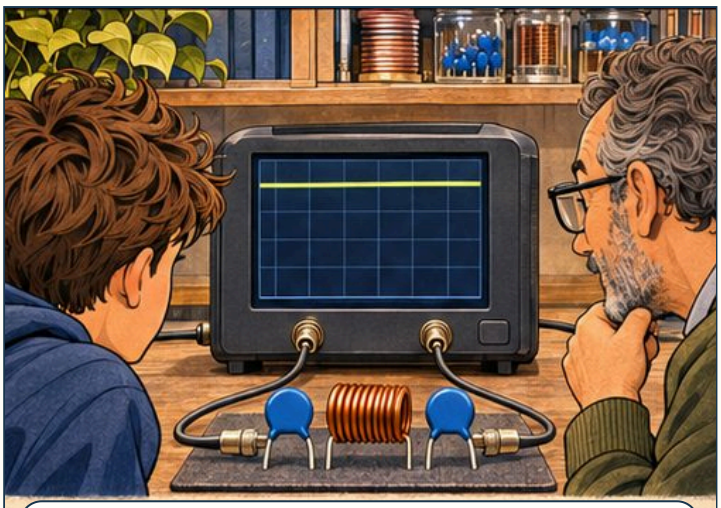


Filter kemudian dipasang di antara kedua kabel.

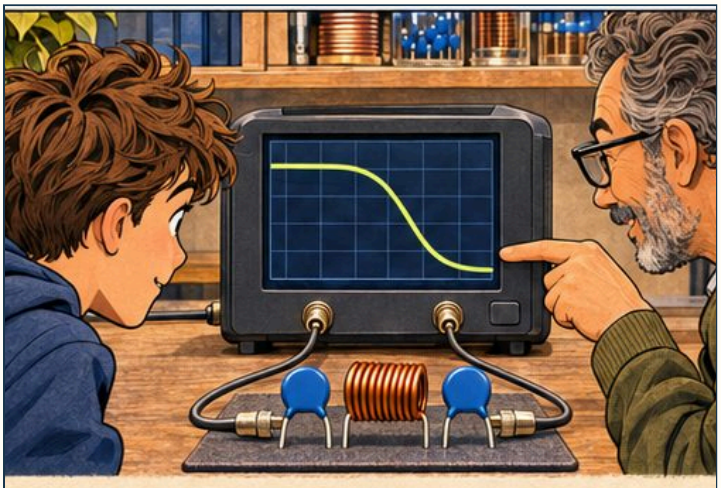
Sapuan pertama



Mereka memulai sapuan yang mencakup pita berguna dan transisi.



Kurva tetap lebih tinggi pada frekuensi rendah.



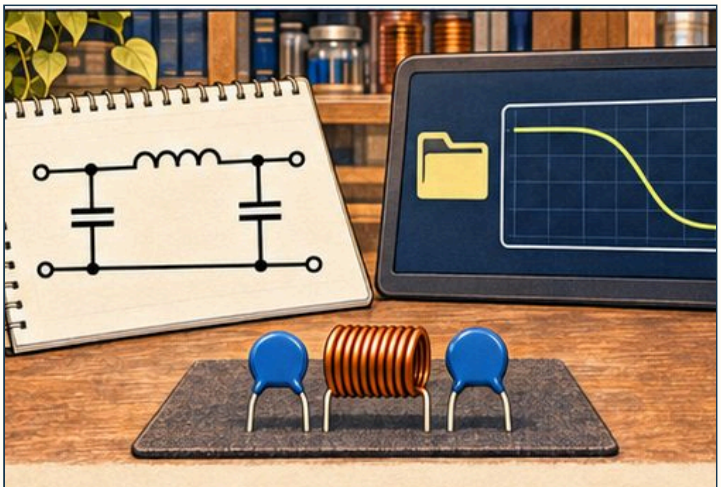
Kurva kemudian turun saat frekuensi meningkat.



Pemuda itu mengenali bentuk prediksi tanpa menganggapnya harus persis sama.

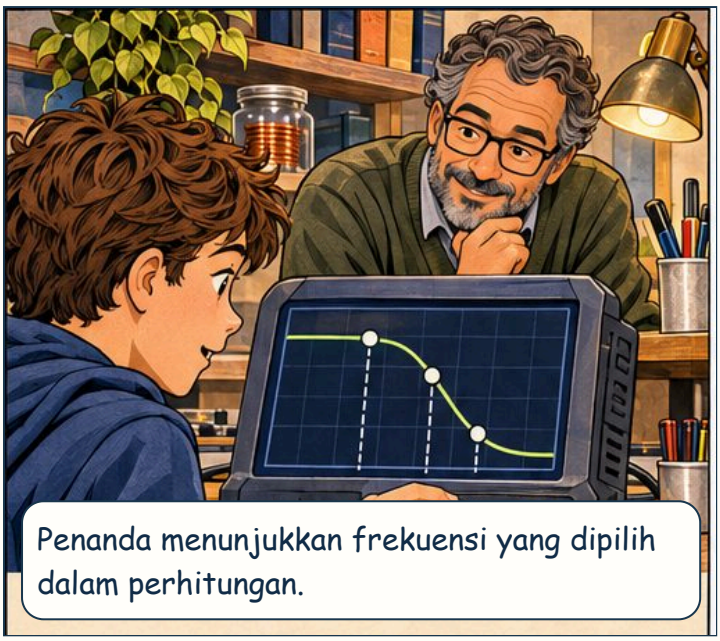


Ia menyimpan kurva dan kondisi pengukuran.



Hasil tersimpan memungkinkan perbandingan setelah setiap perubahan.

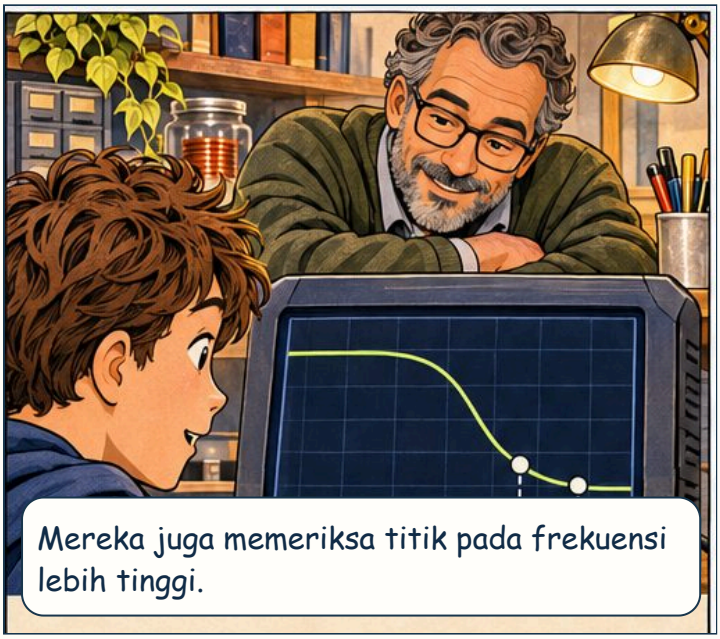
Membaca titik tertentu



Penanda menunjukkan frekuensi yang dipilih dalam perhitungan.



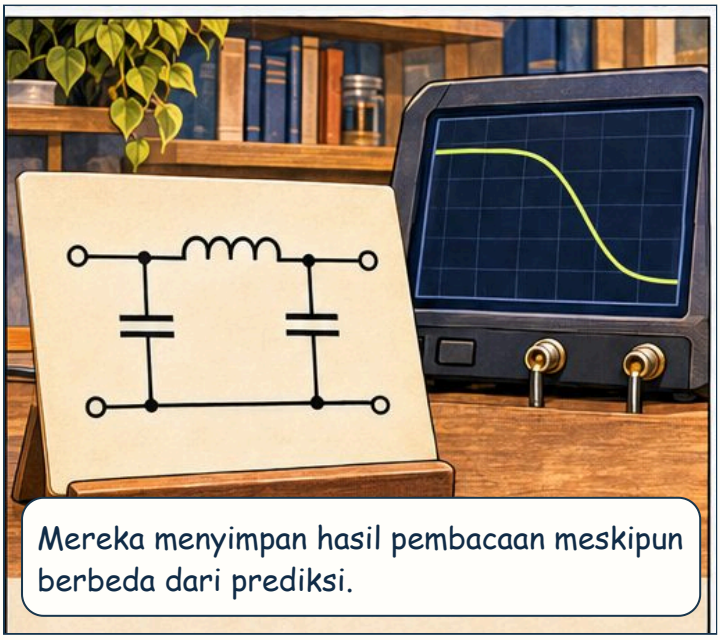
Mereka membaca transmisi di sekitar frekuensi potong yang diharapkan.



Mereka juga memeriksa titik pada frekuensi lebih tinggi.



Pembacaan nyata masuk ke kolom pengukuran.

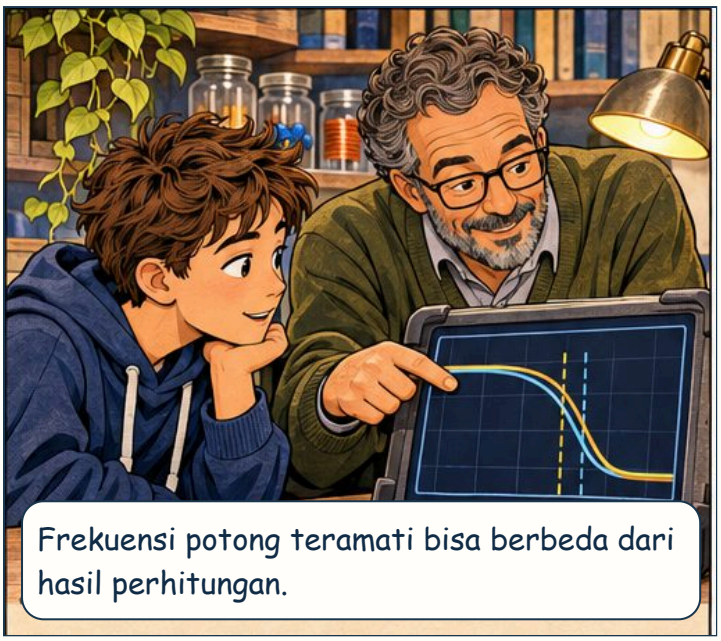


Mereka menyimpan hasil pembacaan meskipun berbeda dari prediksi.



Pemuda itu juga mencatat tanggal dan konfigurasi.

Memahami selisih



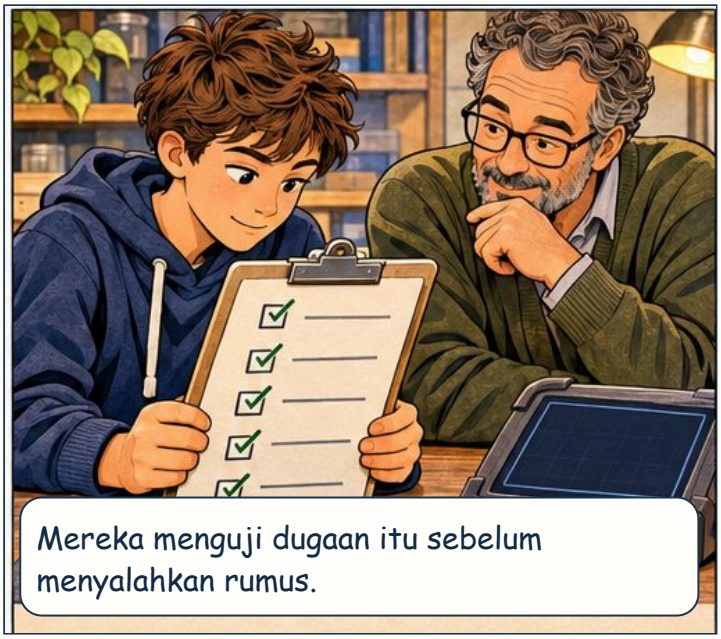
Frekuensi potong teramati bisa berbeda dari hasil perhitungan.



Nilai terpilih dan toleransinya memberikan petunjuk awal.



Rugi-rugi, tata letak, dan kalibrasi juga perlu diperiksa.



Mereka menguji dugaan itu sebelum menyalahkan rumus.

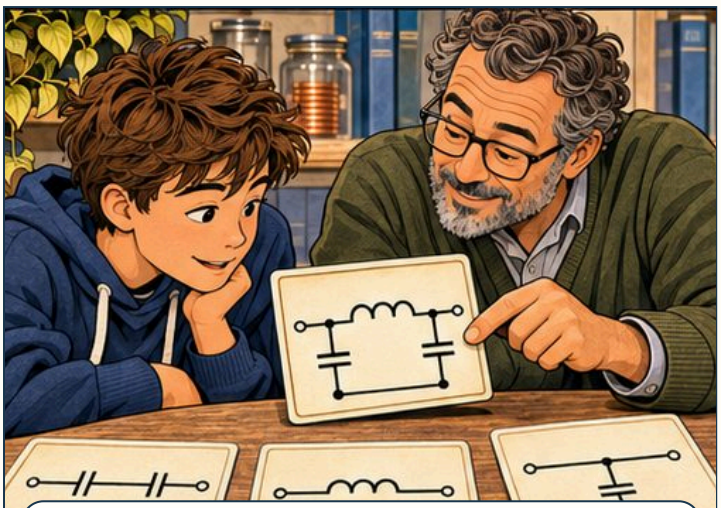


Kurva yang berbeda tidak menjelaskan penyebabnya sendiri.

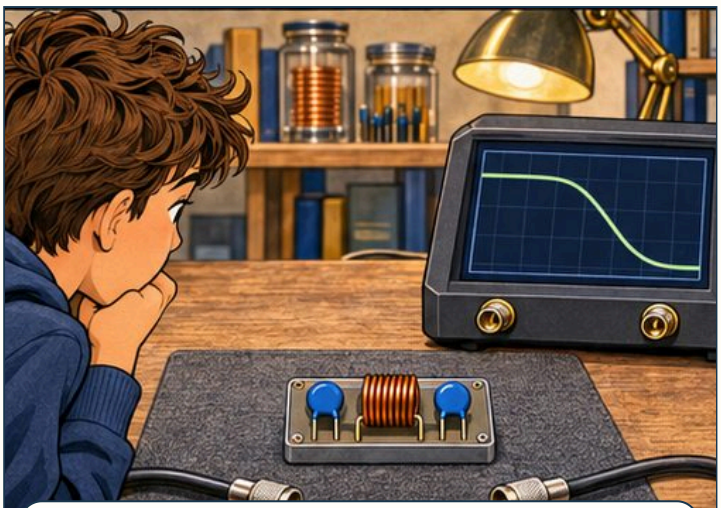


Pemuda itu mengubah keterkejutan menjadi pertanyaan baru.

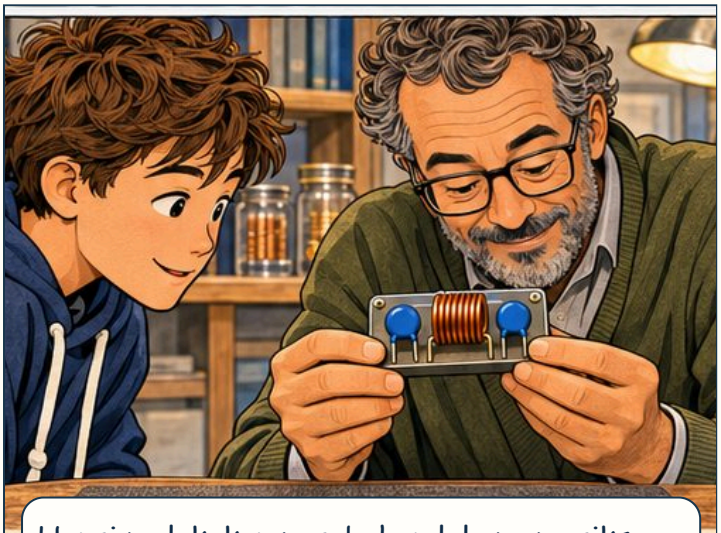
Satu perubahan setiap kali



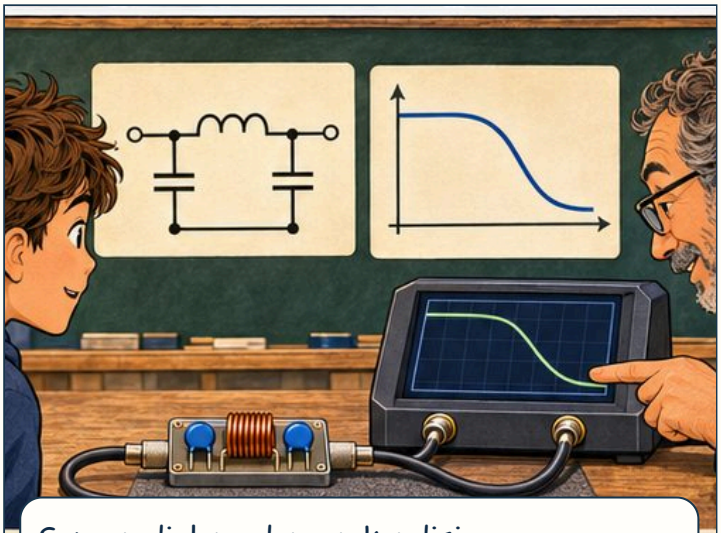
Mereka memilih satu dugaan dan merencanakan perubahan yang beralasan.



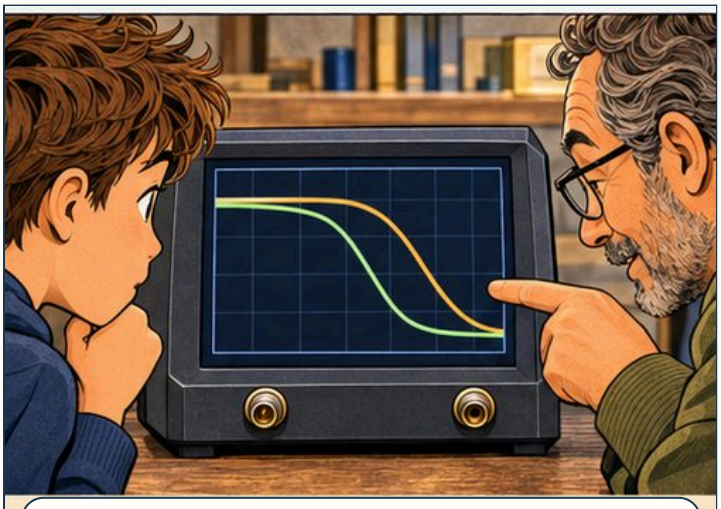
Sumber dihentikan dan modul dilepas sebelum dikerjakan.



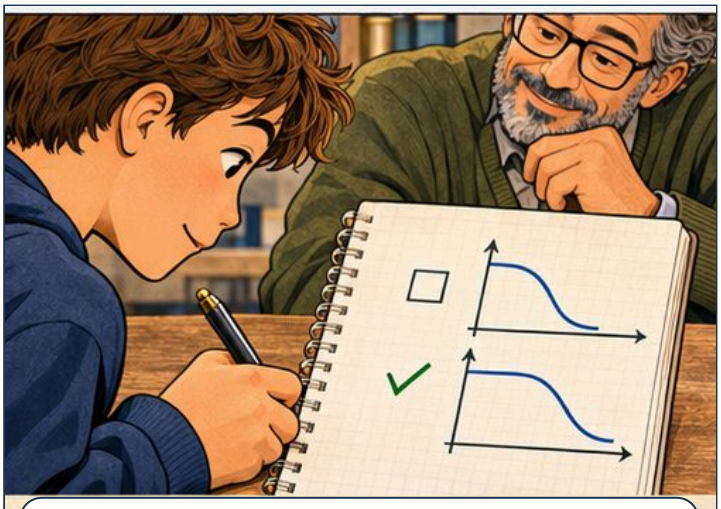
Henri melakukan perubahan lalu memeriksa rangkaian.



Sapuan diulang dengan kondisi terdokumentasi yang sama.

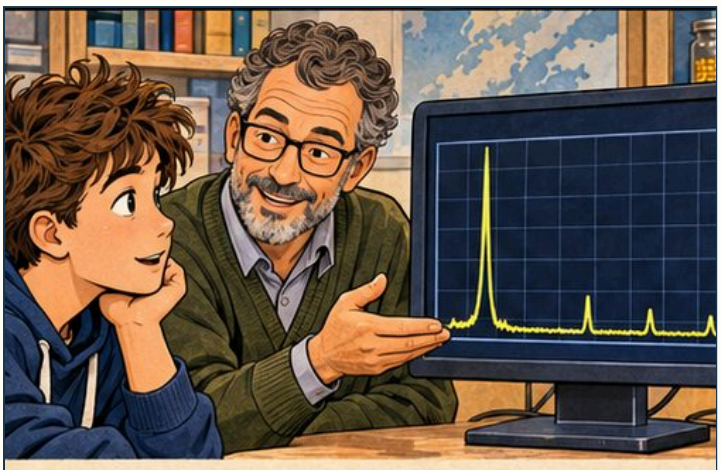


Mereka membandingkan kurva lama dan kurva baru.

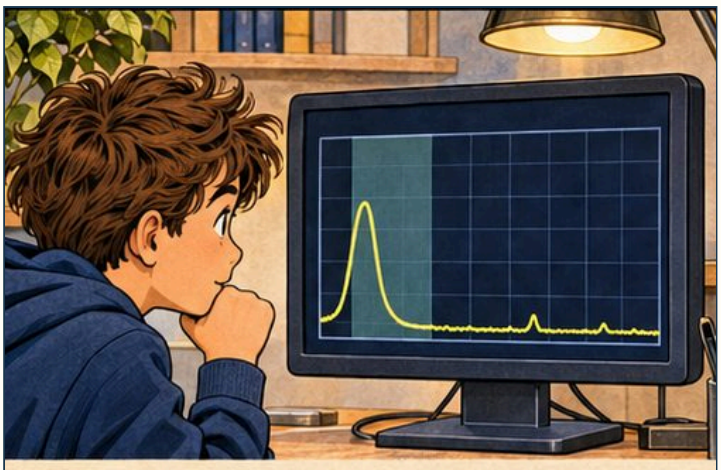


Metode ini menghindari tercampurnya beberapa kemungkinan penyebab.

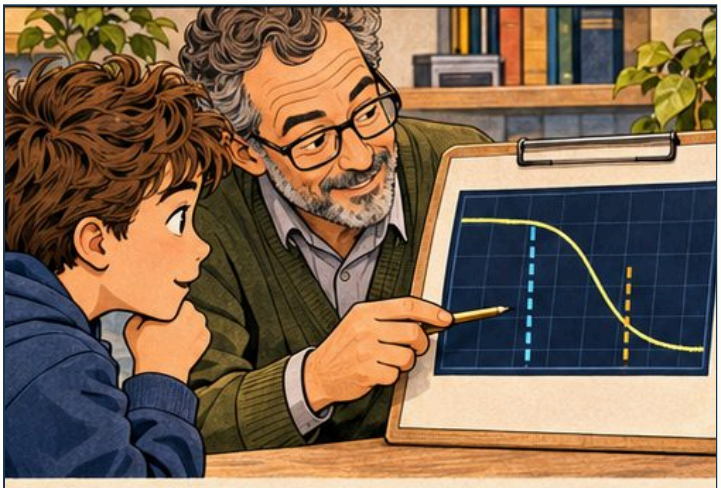
Redaman memiliki batas



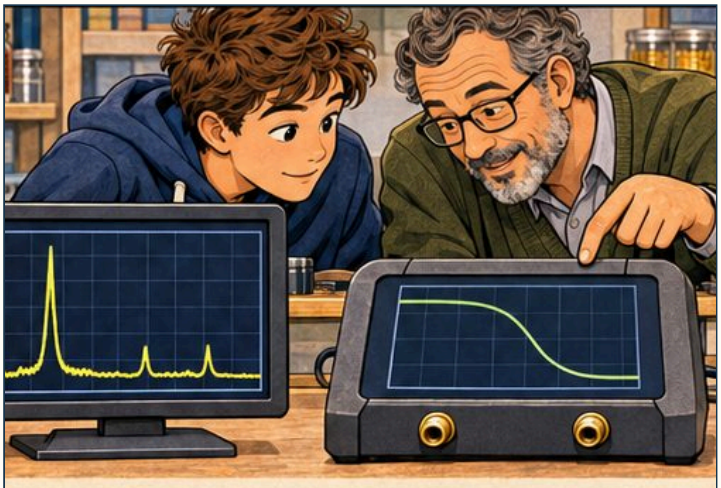
Filter lolos-rendah tidak menghapus semua komponen yang tidak diinginkan.



Komponen di pita lolosnya hanya sedikit diredam.



Penolakan bergantung pada frekuensi dan konstruksi.



Pemeriksaan spektrum lengkap memerlukan pengukuran tambahan yang sesuai.



Adanya filter tidak membuktikan kepatuhan sebuah stasiun.

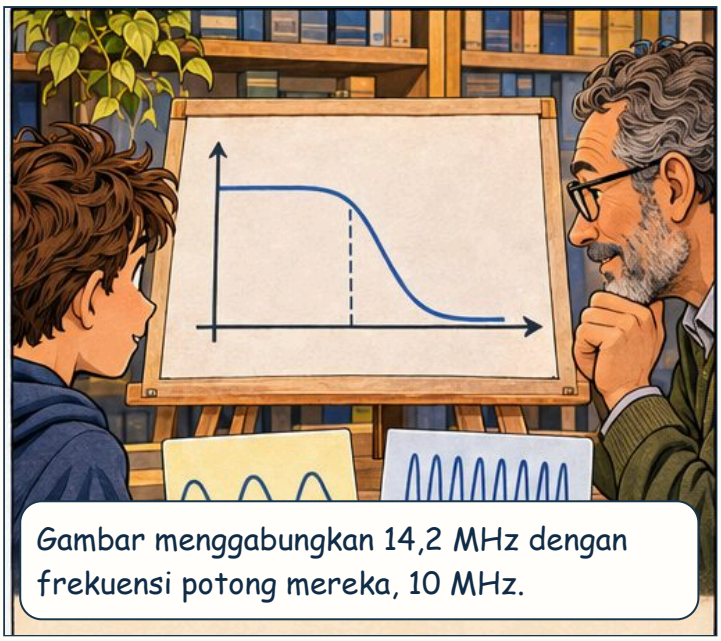


Pemuda itu membedakan fungsi berguna dan jaminan umum.

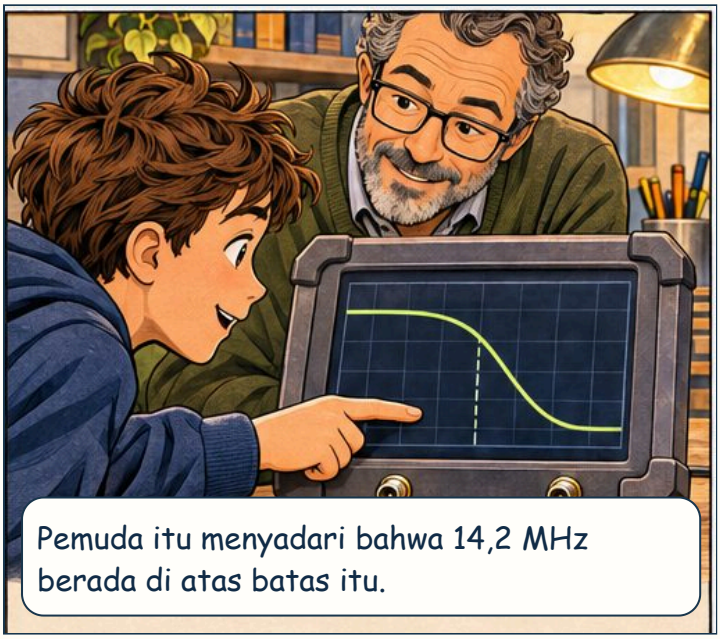
Frekuensi berguna harus lolos



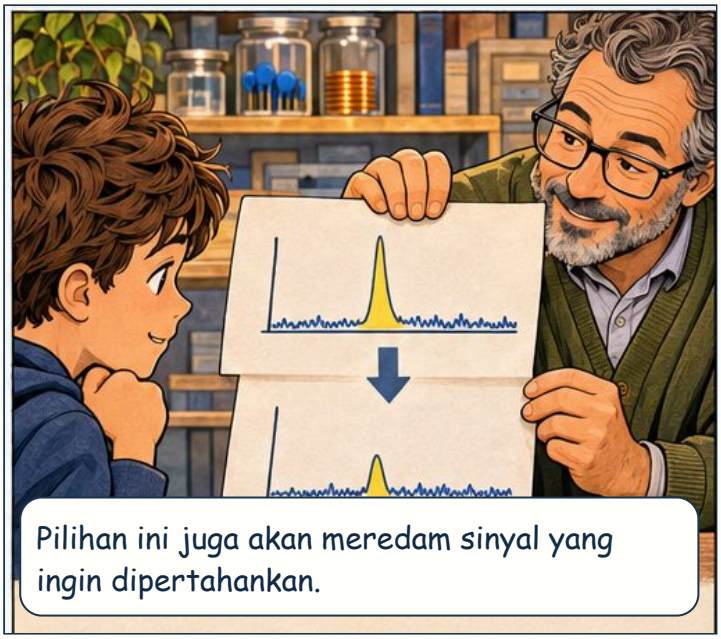
Akhirnya, mentor memasang jebakan pada gambar sebuah stasiun.



Gambar menggabungkan 14,2 MHz dengan frekuensi potong mereka, 10 MHz.



Pemuda itu menyadari bahwa 14,2 MHz berada di atas batas itu.



Pilihan ini juga akan meredam sinyal yang ingin dipertahankan.

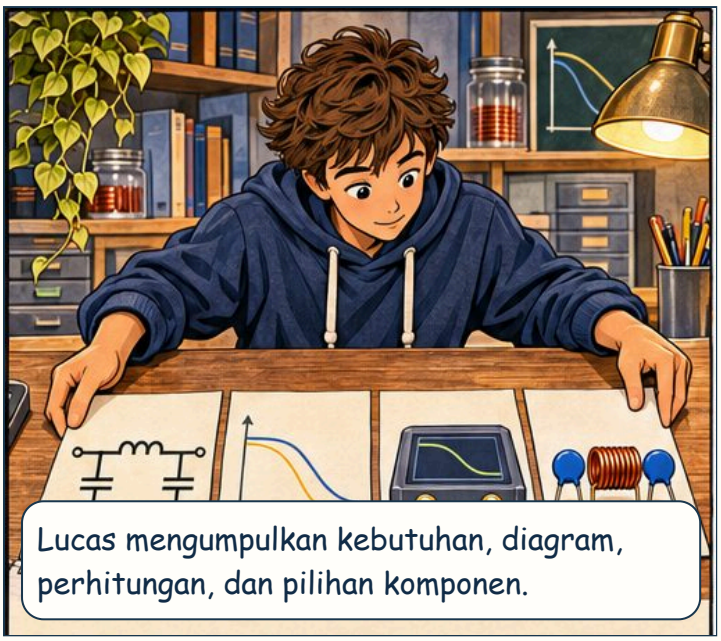


Spesifikasi harus ditinjau ulang sebelum digunakan.



Contoh perhitungan bukan filter universal.

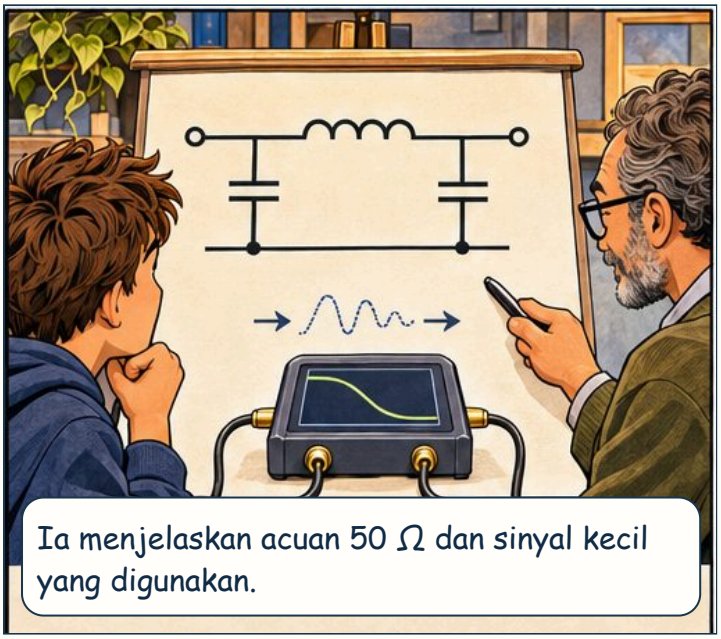
Menyiapkan penjelasan untuk dibagikan



Lucas mengumpulkan kebutuhan, diagram, perhitungan, dan pilihan komponen.



Ia membedakan prediksi dan hasil yang benar-benar diamati.



Ia menjelaskan acuan 50 Ω dan sinyal kecil yang digunakan.



Ia menyimpan kurva, rincian kalibrasi, dan batas percobaan.



Henri berperan sebagai pengunjung dan bertanya sekali lagi.



Kini pemuda itu dapat menjelaskan pentingnya setiap syarat.

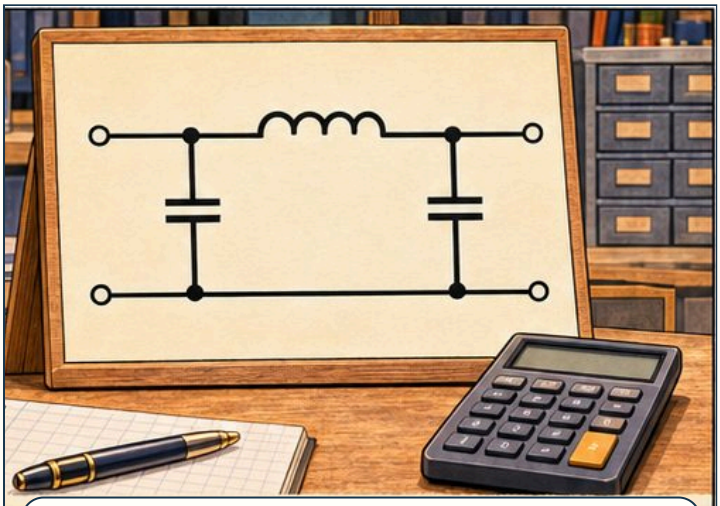
Memahami, menghitung, mengukur



Ketiga komponen kembali ke kotak pembelajaran.



Pemuda itu kini dapat menghubungkan kebutuhan dengan respons filter.



Ia mampu menghitung Butterworth π ini dan memeriksa satuannya.



Ia juga mampu mengukur, membandingkan, dan menyelidiki selisih.



Buku catatannya menyimpan metode, asumsi, dan batasannya.



Di klub, penemuan berikutnya sudah diawali sebuah pertanyaan.