ON4CRD

Том 05

Расчёт фильтров



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Юридическая информация

Том 05 · Расчёт фильтров

Издатель веб-сайта : Radio Club Durnal ON4CRD

Менеджер публикаций : Комитет Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Юридическая информация

Интеллектуальная собственность

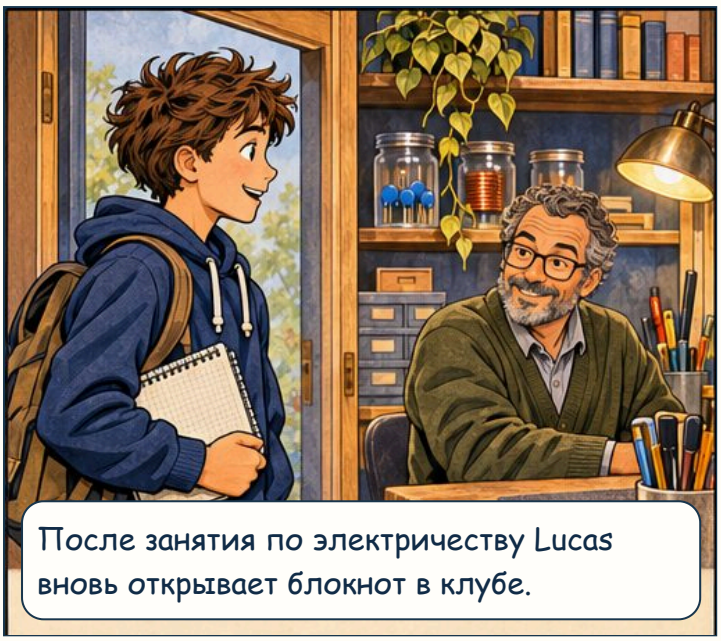
Тексты, изображения, документы, логотипы и материалы, опубликованные на сайте, остаются собственностью их авторов или клуба. Любое воспроизведение или повторное использование должно осуществляться с соблюдением источника, применимых прав и любого разрешения автора.

Ответственность

Клуб старается публиковать полезную и проверенную информацию, но не гарантирует отсутствие ошибок, упущений или перебоев. Техническую или нормативную информацию необходимо сверять с официальными источниками, если она поддерживает решение.

Иллюстрации созданы с помощью искусственного интеллекта.

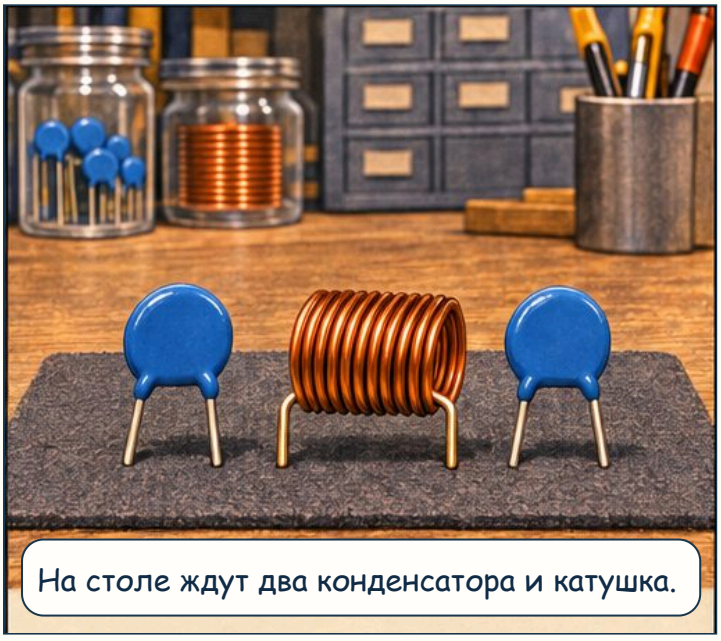
Новое задание



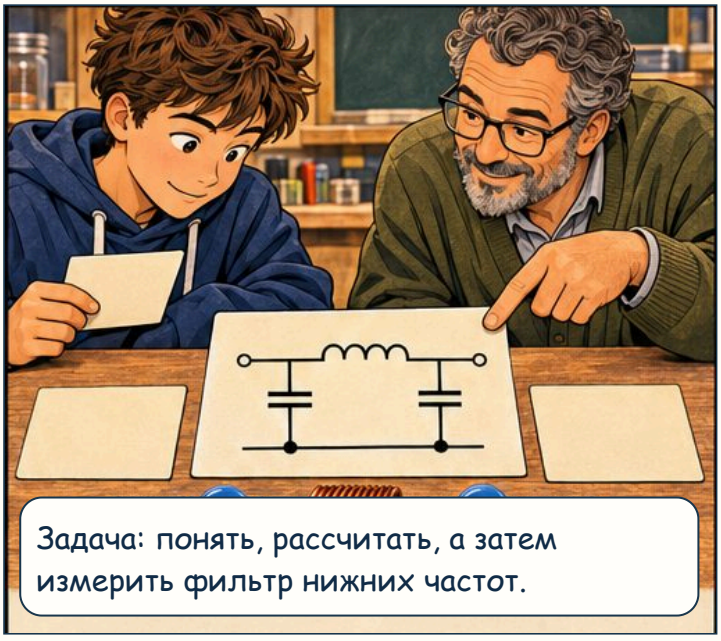
После занятия по электричеству Lucas вновь открывает блокнот в клубе.



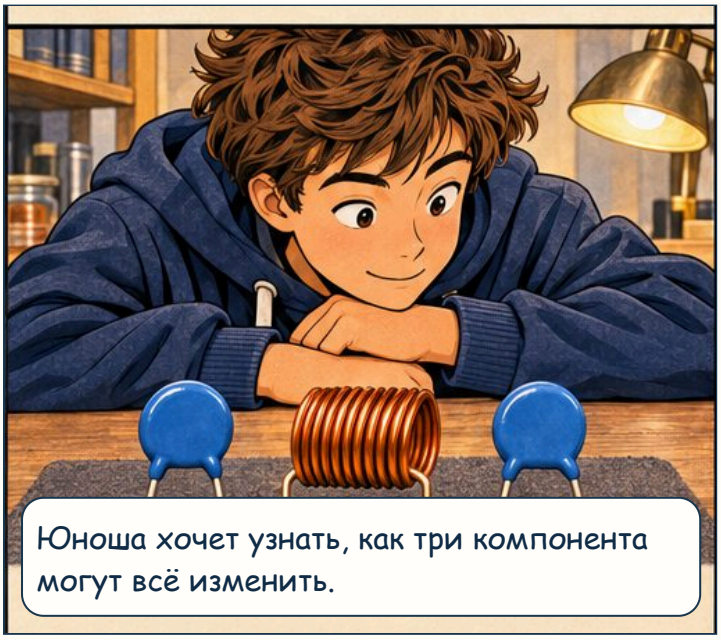
Henri готовит показ о качестве сигналов.



На столе ждут два конденсатора и катушка.



Задача: понять, рассчитать, а затем измерить фильтр нижних частот.

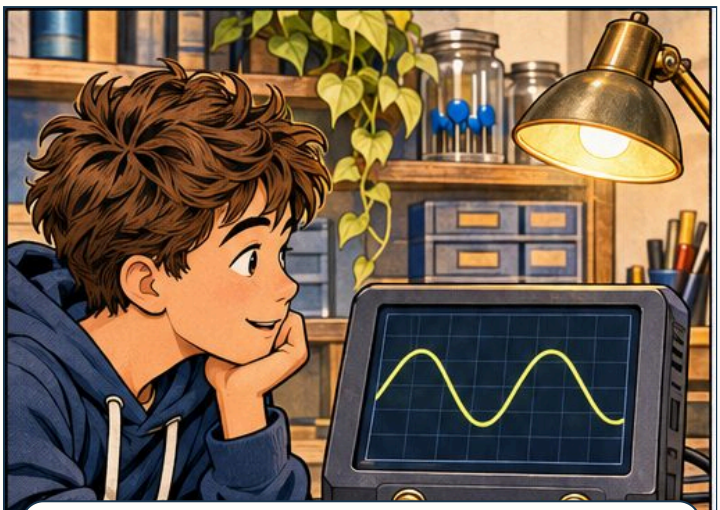


Юноша хочет узнать, как три компонента могут всё изменить.

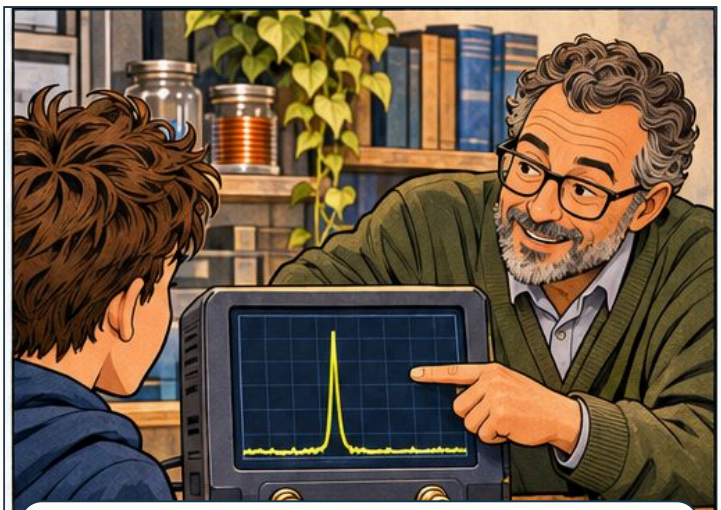


Сначала они рассматривают, из чего состоит сигнал.

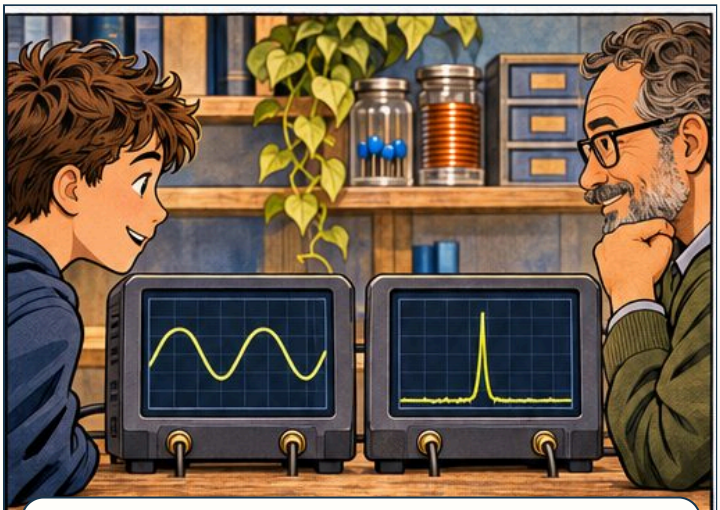
Сигнал и его портрет



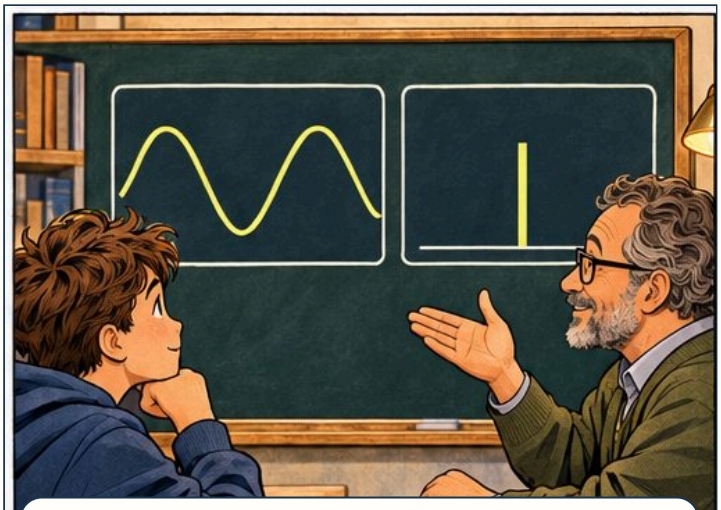
Временная кривая показывает изменение сигнала во времени.



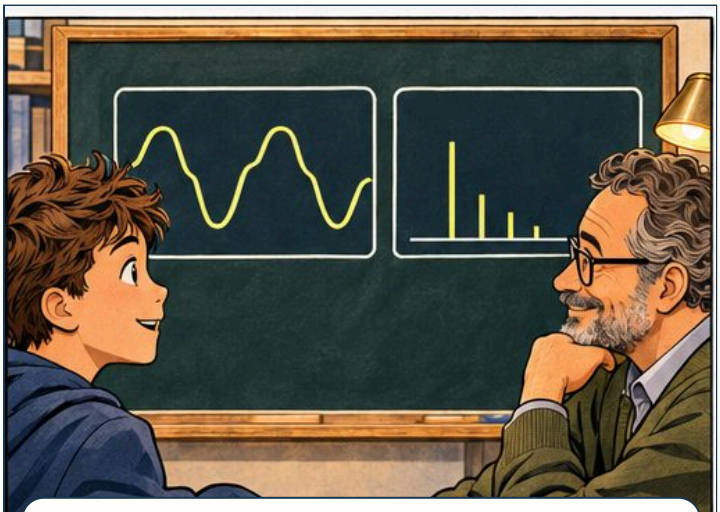
Спектр представляет его составляющие по частоте.



Оба вида по-разному описывают один сигнал.



Идеальная синусоида имеет только одну частоту.

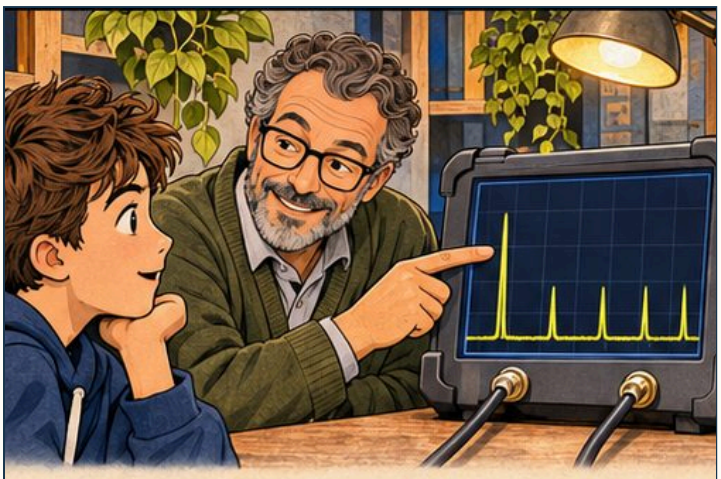


Искажённая форма может содержать несколько составляющих.



Юноша открывает портрет, который раньше не умел читать.

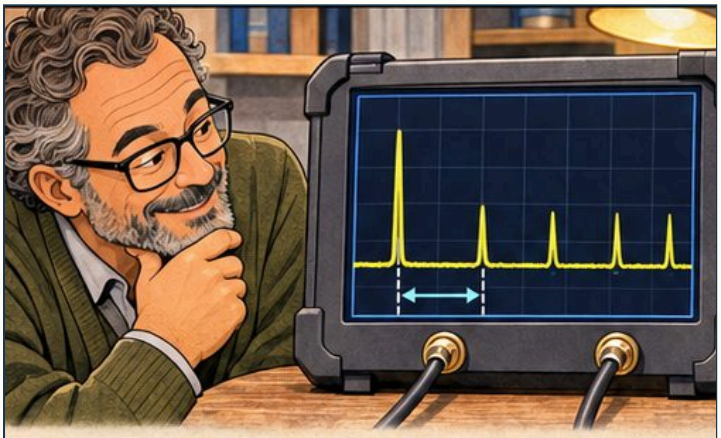
Гармоники становятся видимыми



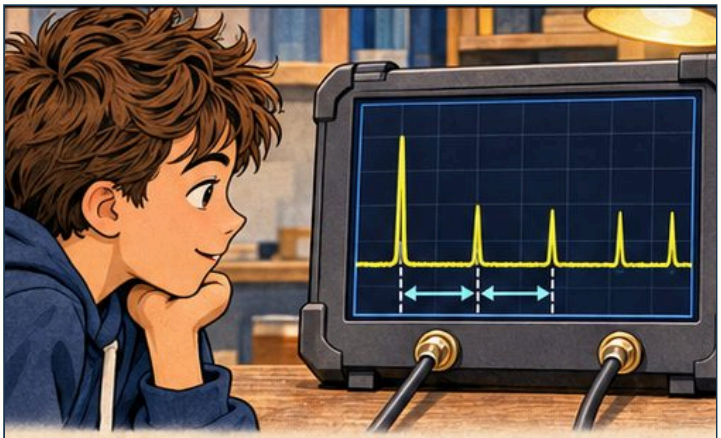
Основная частота служит первой опорой периодического сигнала.



Частоты гармоник кратны ей в целое число раз.



Вторая гармоника находится на удвоенной основной частоте.



Третья — на утроенной частоте.

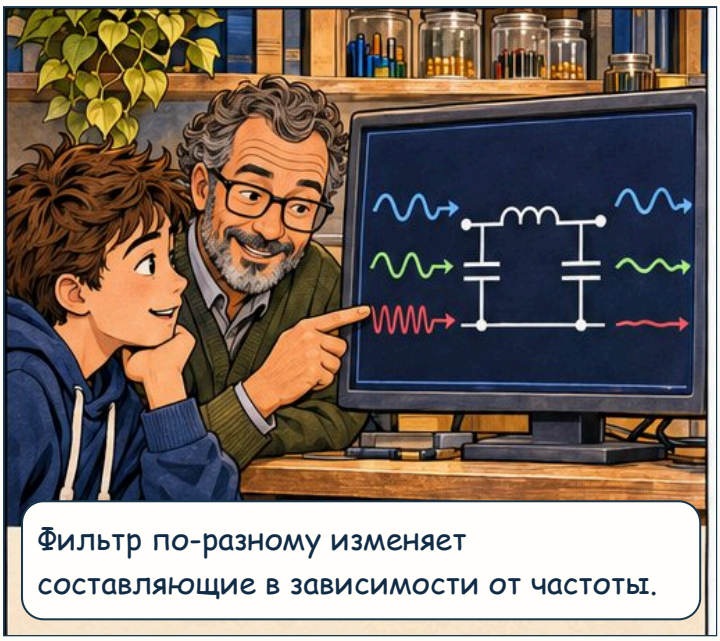


Однако не все нежелательные составляющие являются гармониками.

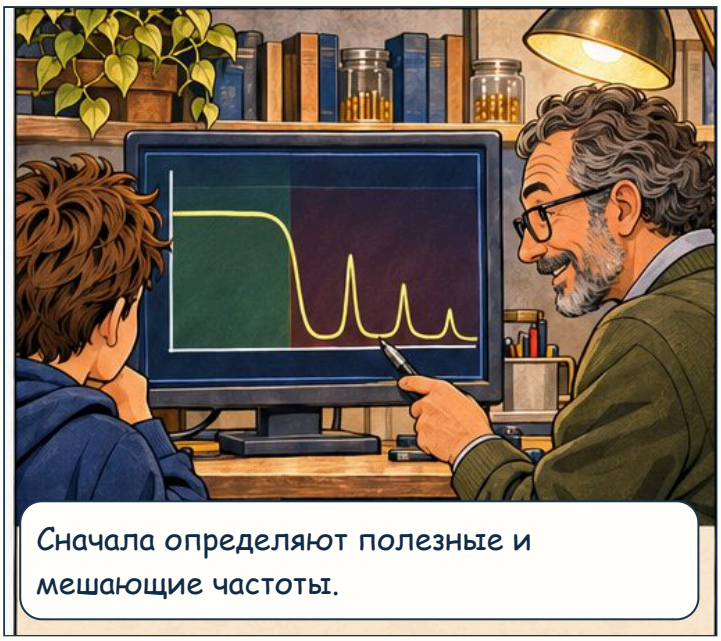


Фильтр должен отвечать точно определённой задаче.

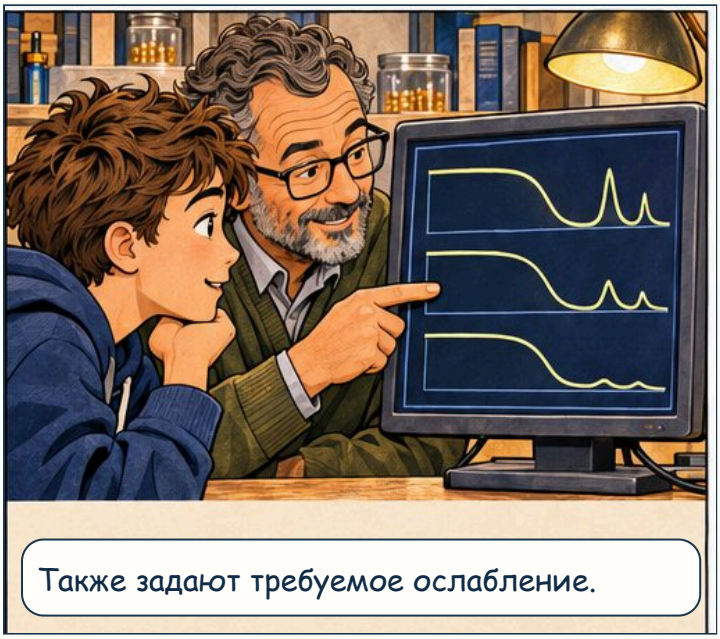
Выбрать, что сохранить



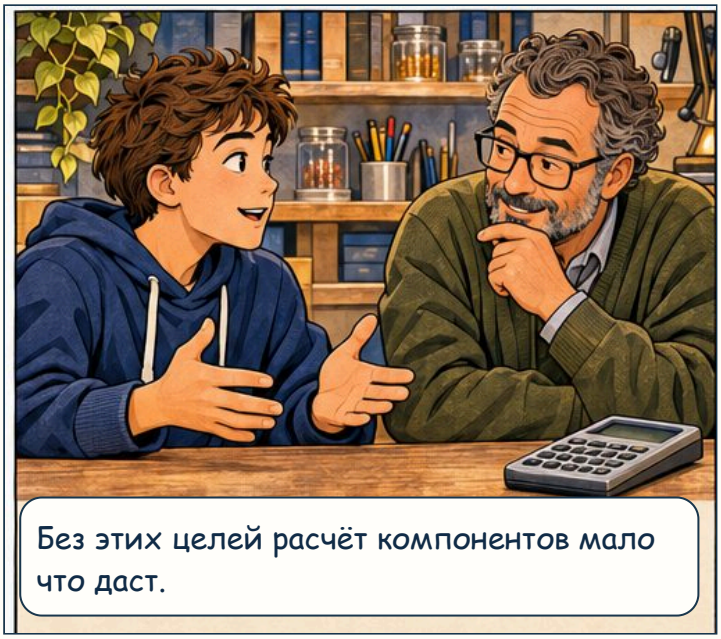
Фильтр по-разному изменяет составляющие в зависимости от частоты.



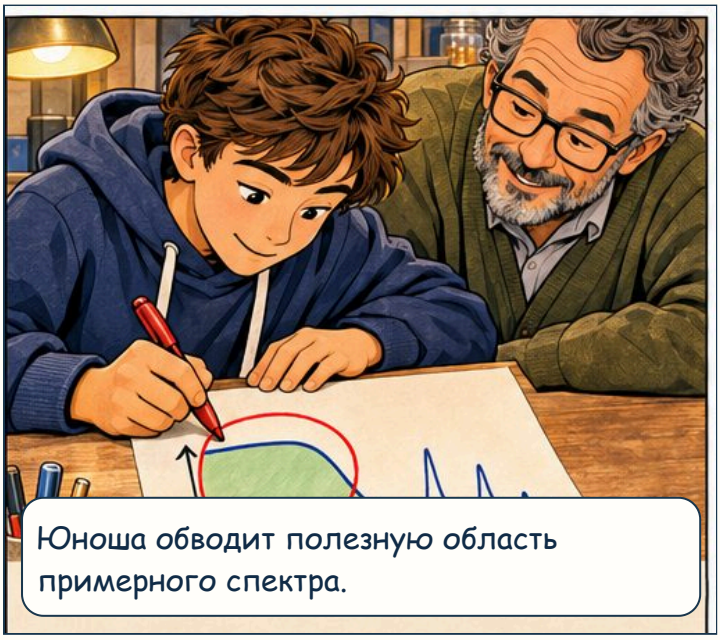
Сначала определяют полезные и мешающие частоты.



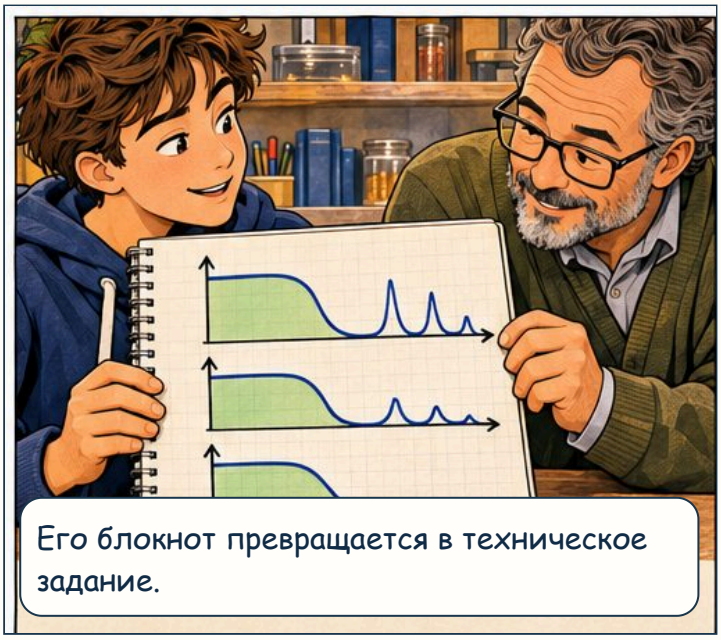
Также задают требуемое ослабление.



Без этих целей расчёт компонентов мало что даст.

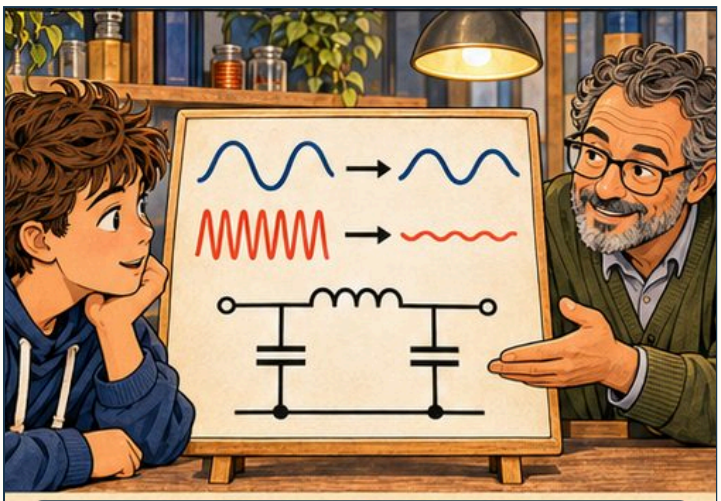


Юноша обводит полезную область примерного спектра.



Его блокнот превращается в техническое задание.

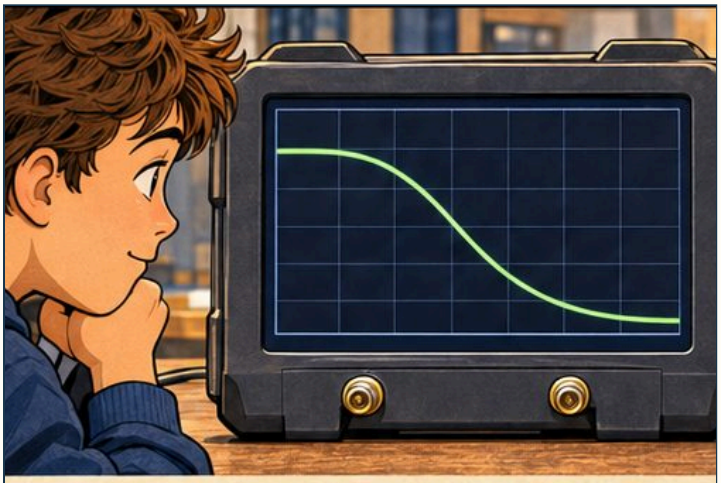
Выбор фильтра нижних частот



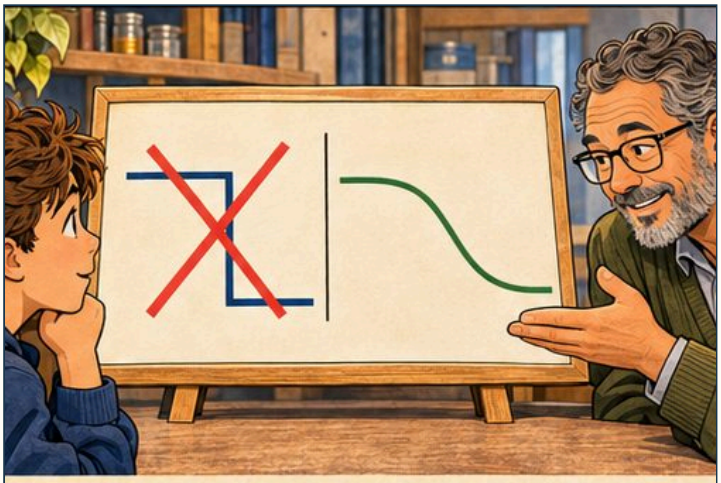
Фильтр нижних частот лучше пропускает низкие частоты, чем высокие.



Его полоса пропускания расположена со стороны низких частот.



Выше ослабление постепенно увеличивается.



Реальный переход никогда не бывает идеальной вертикальной стеной.



Этот тип подходит для сегодняшнего показа.



Юноша рисует склон вместо преграды.

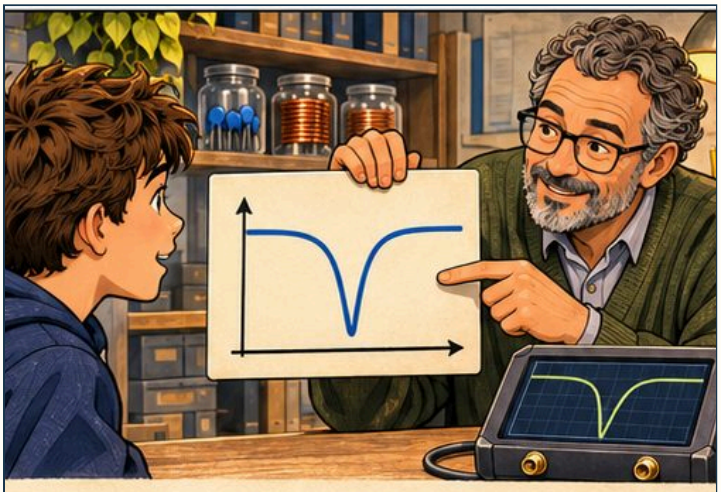
Другие возможные пути



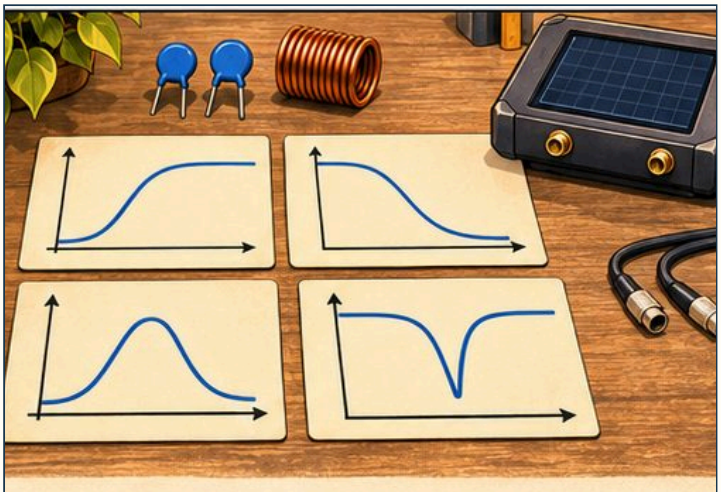
Фильтр верхних частот ослабляет низкие и пропускает высокие частоты.



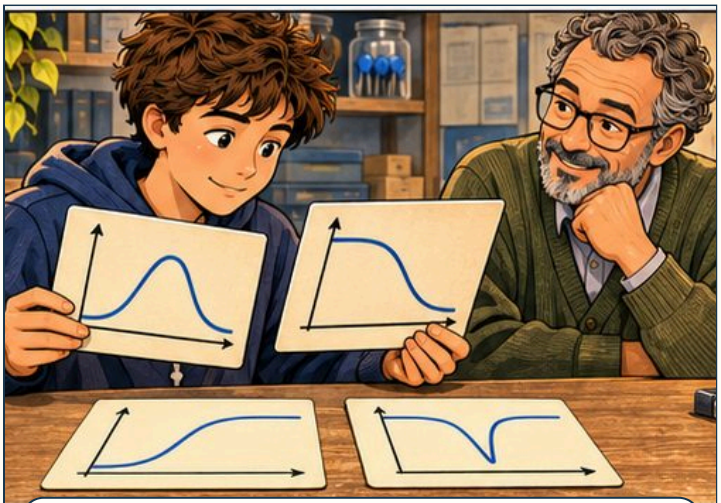
Полосовой фильтр выделяет диапазон между двумя границами.



Режекторный фильтр, напротив, ослабляет выбранную полосу.



Эти семейства решают разные задачи.

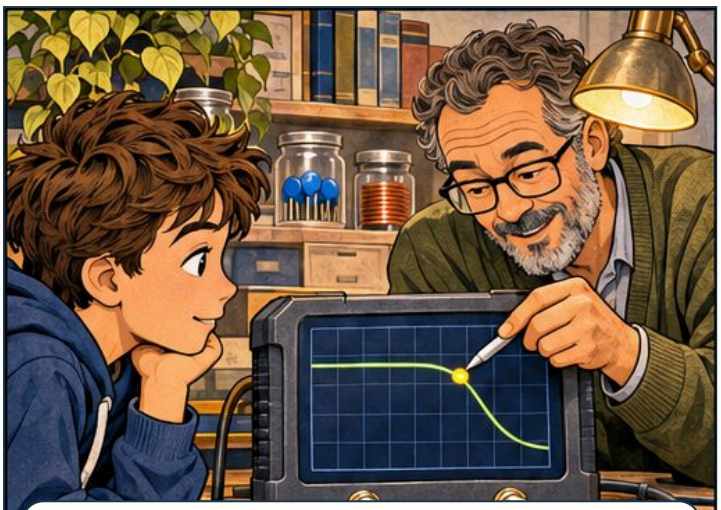


Название описывает характеристику, а не универсальное качество.



Юноша убирает три карточки до следующего занятия.

Граница, которая ещё пропускает



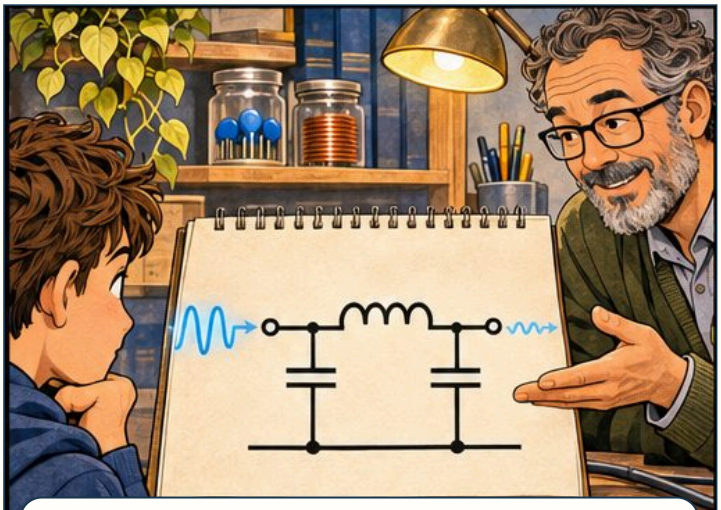
Частота среза здесь обозначает опорный уровень.



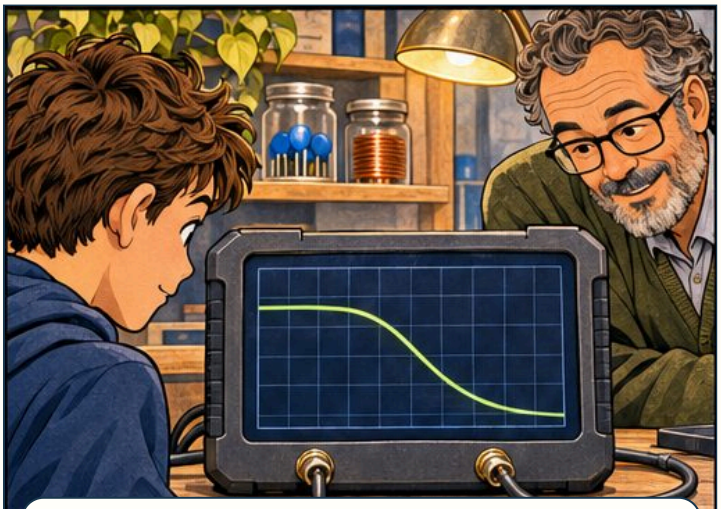
Она не означает внезапного исчезновения сигнала.



Для идеального фильтра Баттерворта это будет около −3 dB.



Значит, фильтр всё ещё передаёт энергию на этой частоте.



Выше ослабление продолжит увеличиваться.

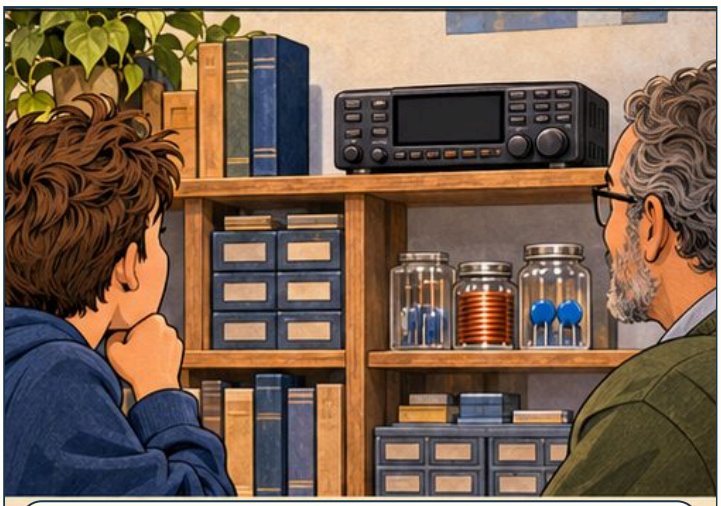


Это уточнение предотвращает первое заблуждение.

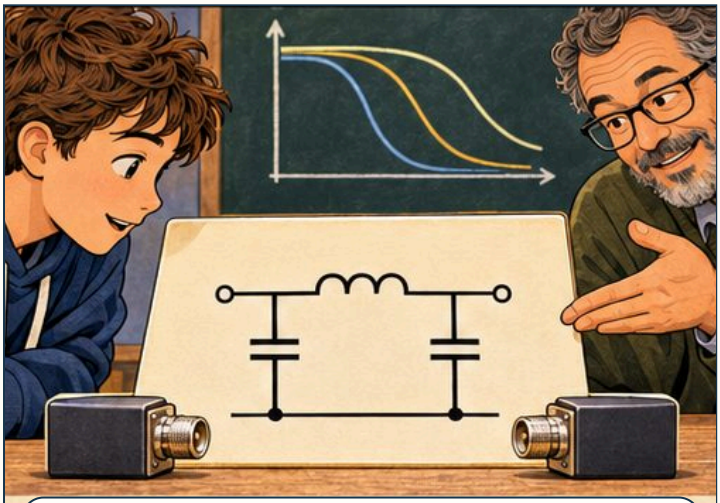
Лабораторный пример



Они выбирают теоретическую частоту среза 10 MHz.



Это учебное значение не задаёт частоту передачи.



Опорные источник и нагрузка будут по 50 Ω.



Схему исследуют на стенде при малом сигнале.

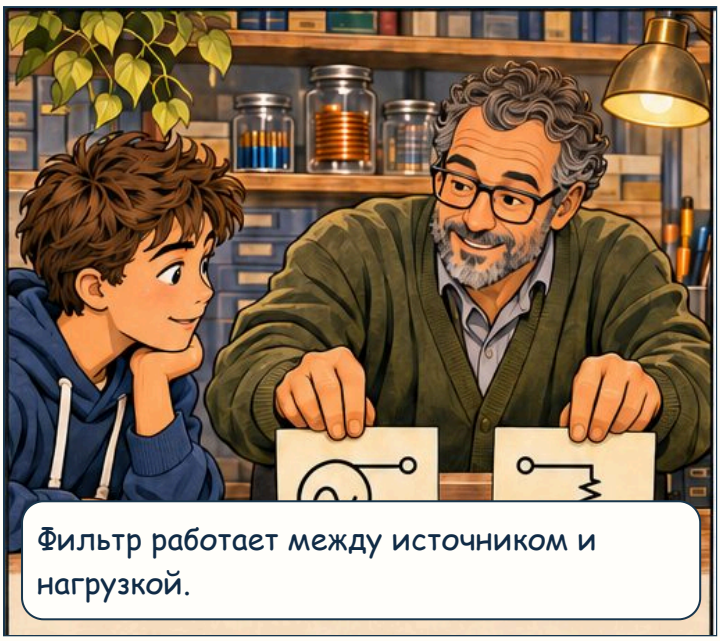


Антенну и передатчик подключать не будут.



Цель — измеримая характеристика, а не радиосвязь.

Зачем указывать 50 ом?



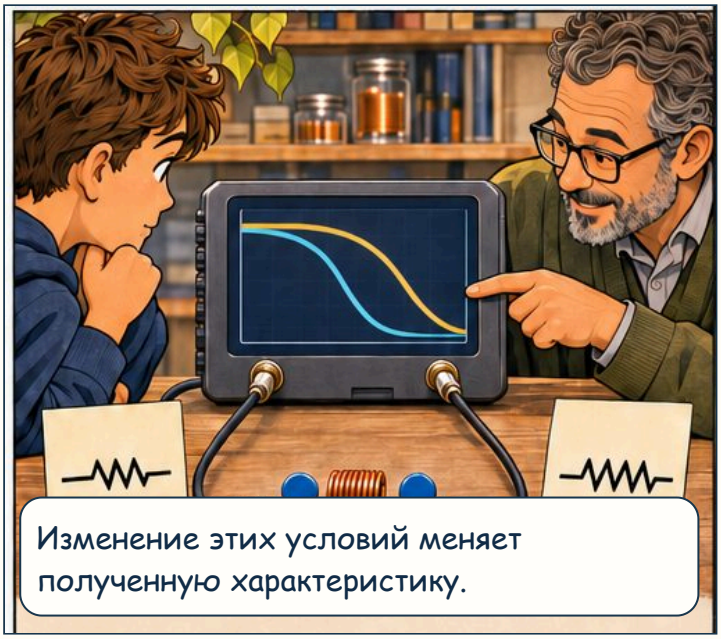
Фильтр работает между источником и нагрузкой.



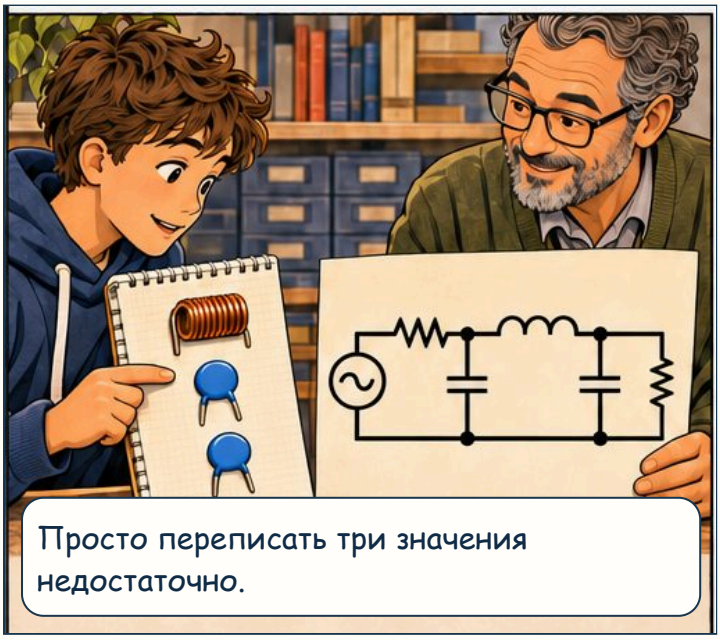
Их импедансы входят в условия расчёта.



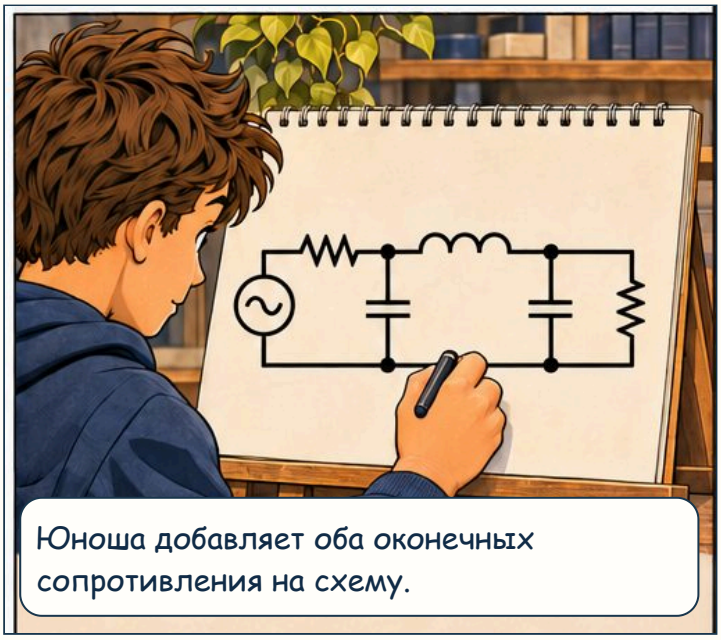
Здесь каждый в идеале чисто активный и равен 50 Ω.



Изменение этих условий меняет полученную характеристику.

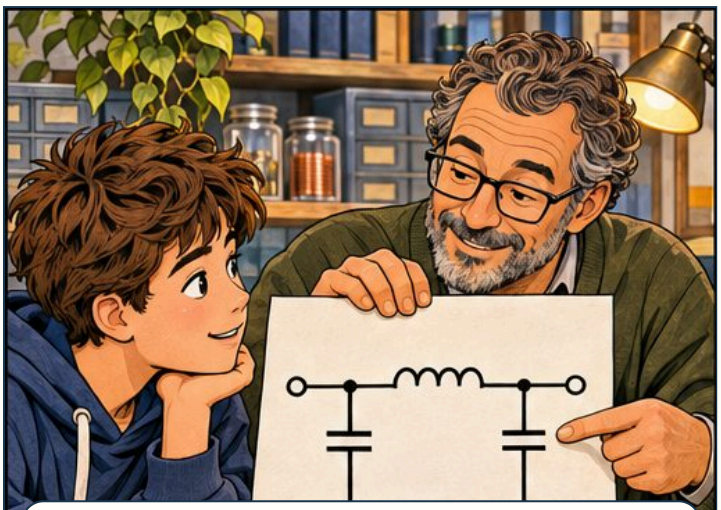


Просто переписать три значения недостаточно.



Юноша добавляет оба оконечных сопротивления на схему.

Модель и реальная схема



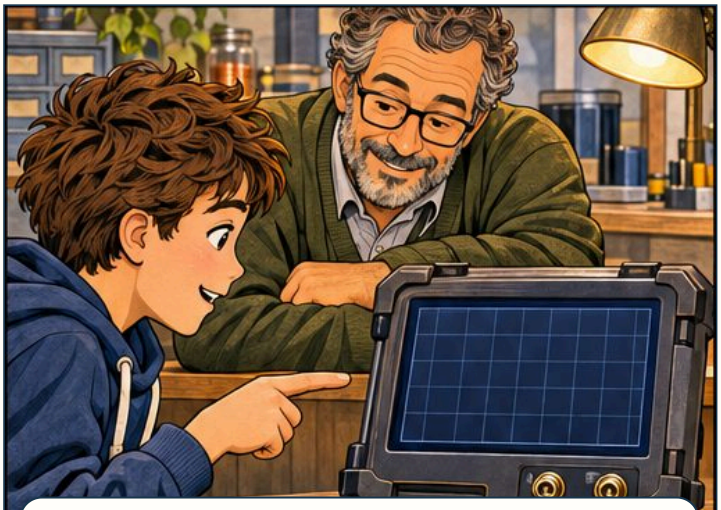
Расчёт начинается с идеальных компонентов без потерь.



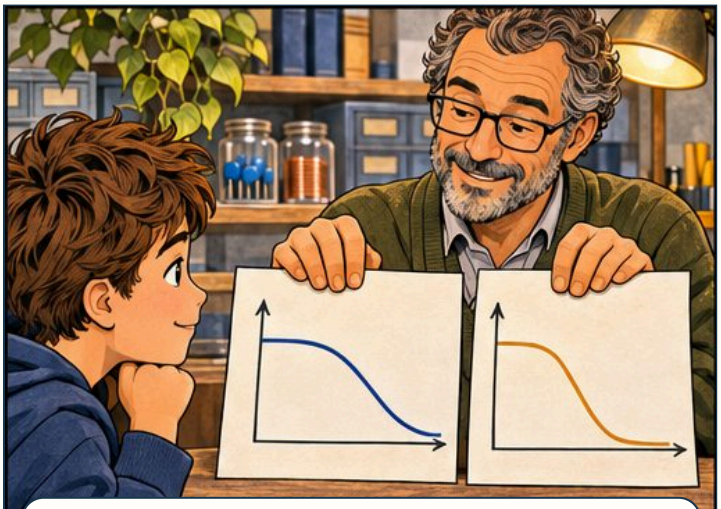
У реальной схемы будут сопротивления и паразитные эффекты.



Модель позволяет предсказать первоначальную характеристику.



Измерения затем помогут изучить различия.

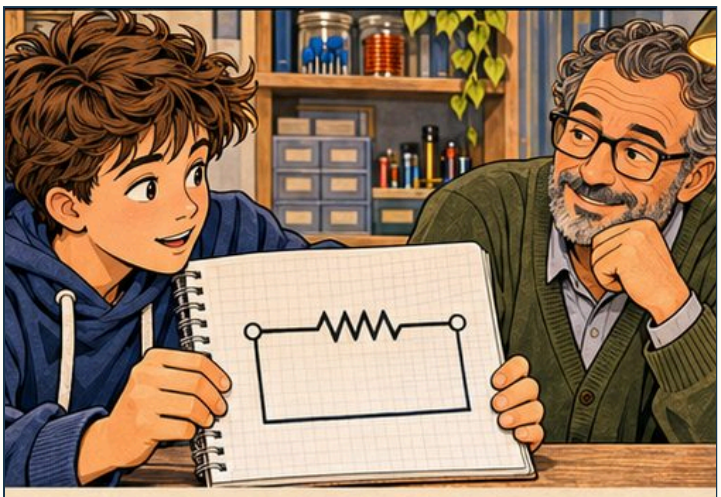


Смешение прогноза и результата помешает понять отклонения.

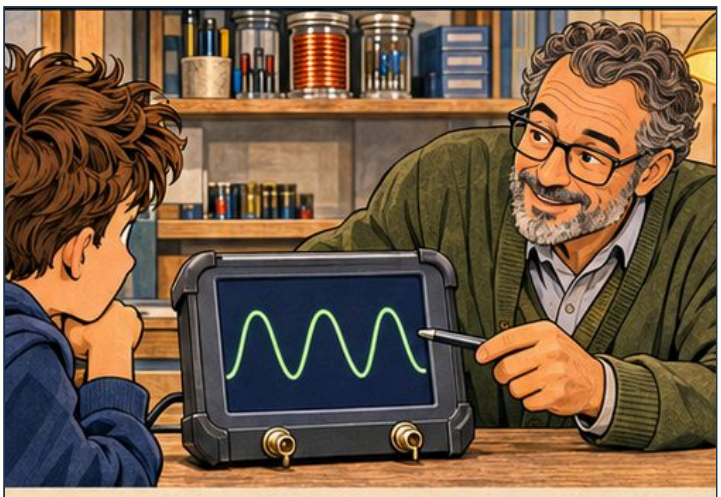


В блокноте для них отведены отдельные места.

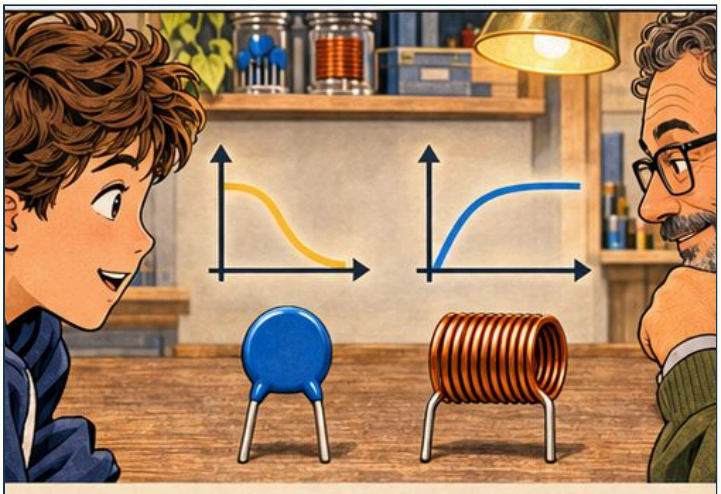
Одного сопротивления уже мало



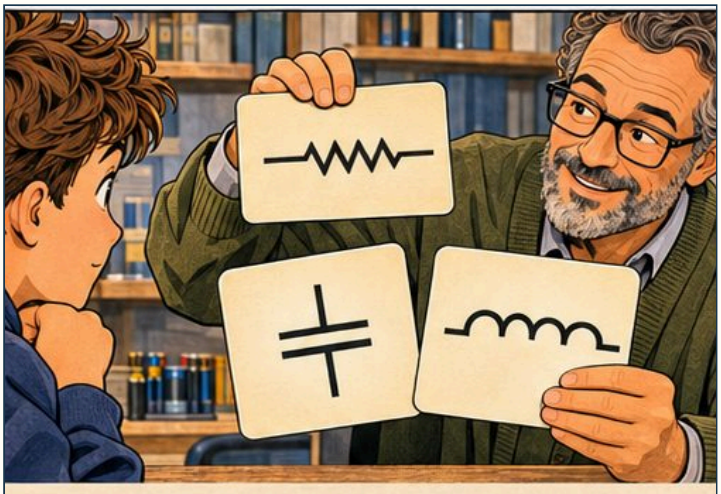
Предыдущий том связывал напряжение, ток и сопротивление при постоянном токе.



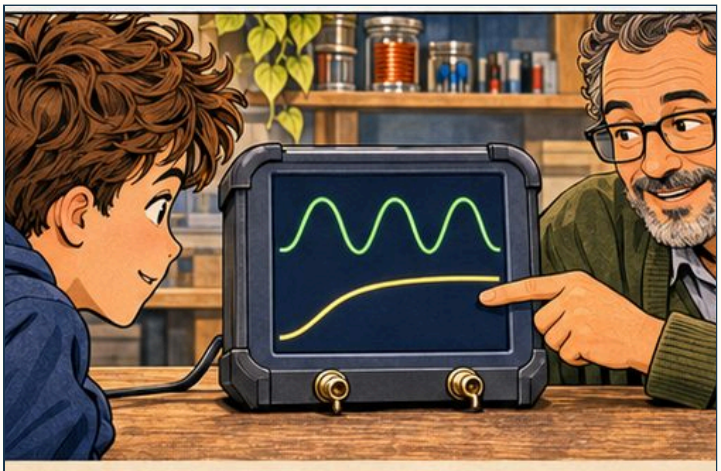
Здесь сигнал быстро меняется, и его частота важна.



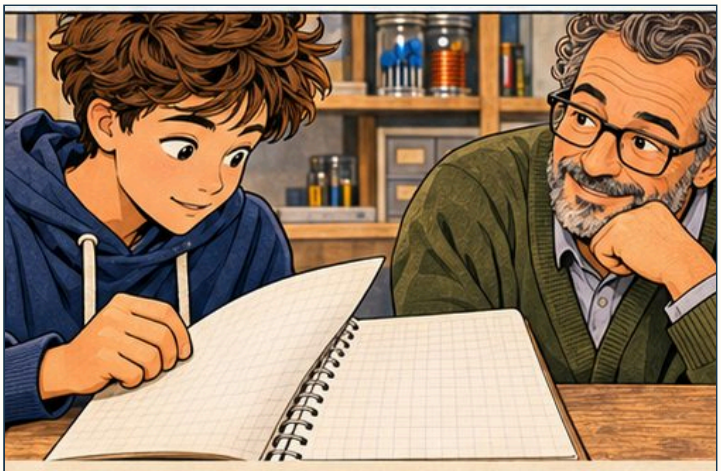
Конденсаторы и катушки оказывают зависящее от частоты противодействие.



Это реактивное сопротивление отличается от обычного активного.



Импеданс шире описывает электрическое поведение на переменном токе.

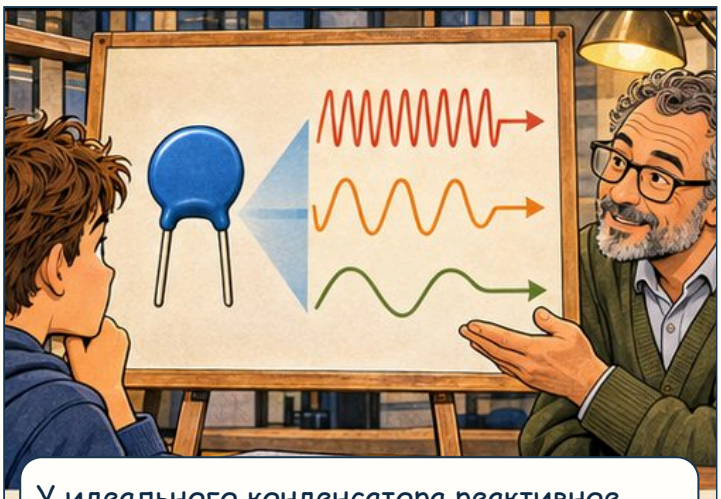


Юноша понимает, зачем нужна новая модель.

Роль конденсатора



Ёмкость обозначается C и измеряется в фарадах, F.



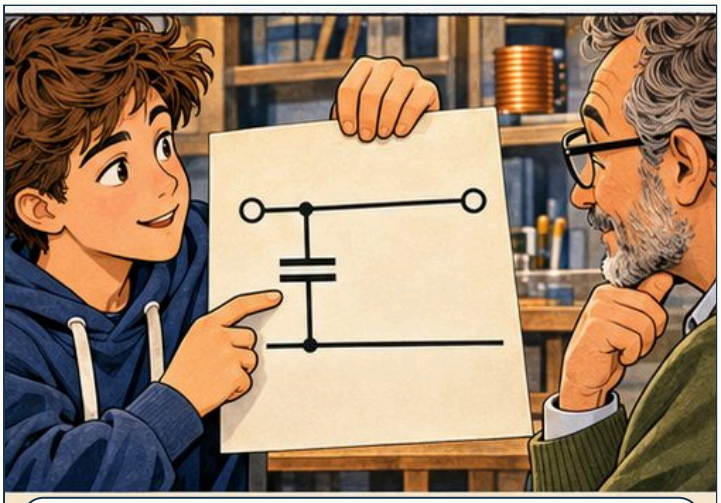
У идеального конденсатора реактивное сопротивление уменьшается с ростом частоты.



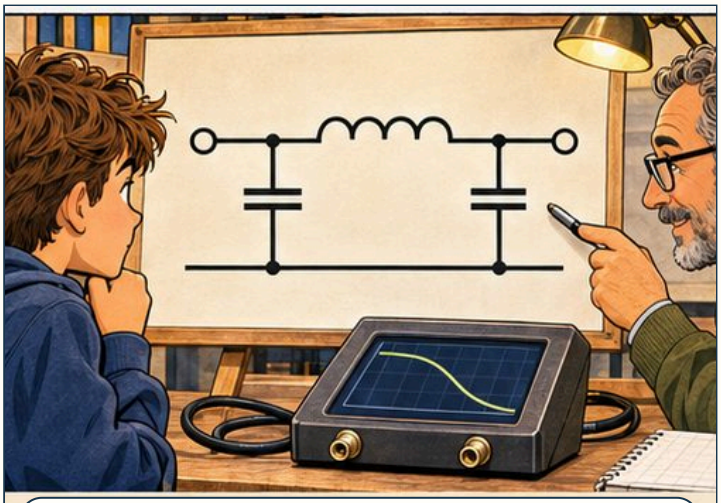
Его абсолютная величина Xc = 1/(2πfC).



При одинаковой ёмкости высоким частотам соответствует меньшее реактивное сопротивление.



В их фильтре конденсаторы подключаются к общему проводу.

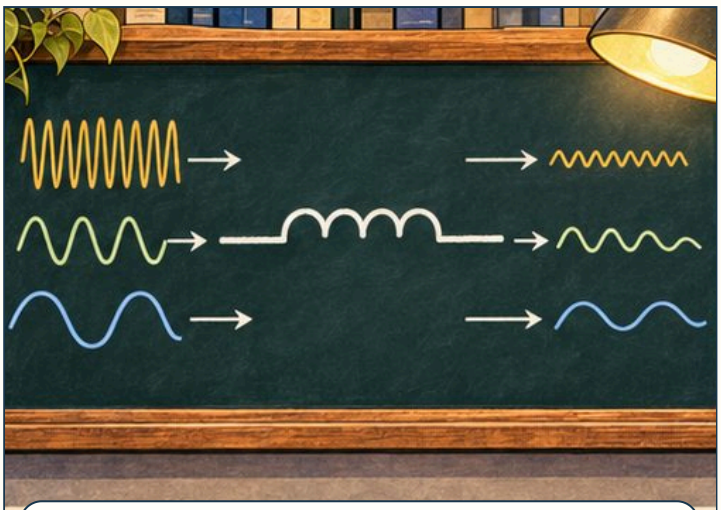


Их роль также зависит от остальной схемы.

Роль катушки



Индуктивность обозначается L и измеряется в генри, Н.



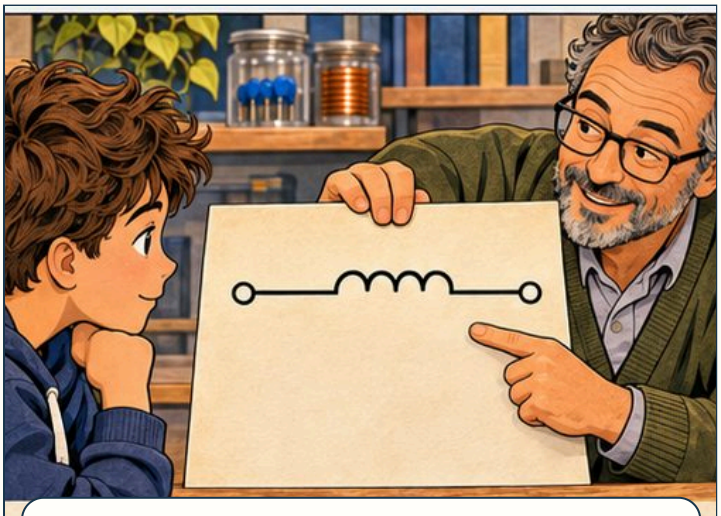
У идеальной катушки реактивное сопротивление растёт с частотой.



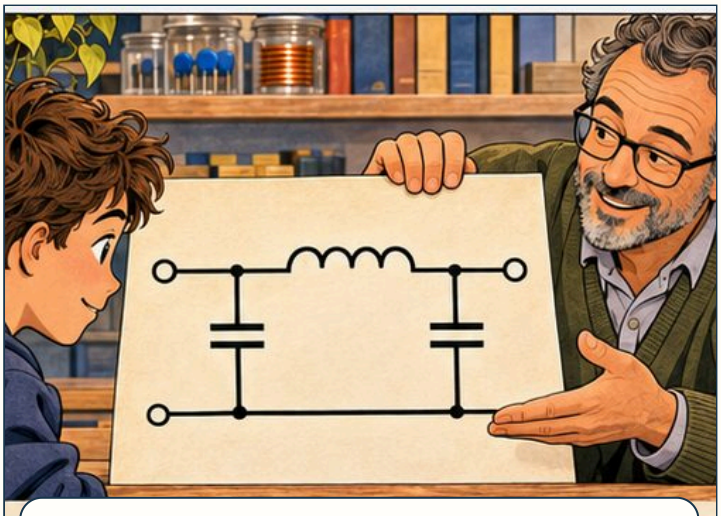
Его абсолютная величина XL = 2πfL.



При одинаковой индуктивности высоким частотам соответствует большее реактивное сопротивление.



В их фильтре катушка находится на пути сигнала.

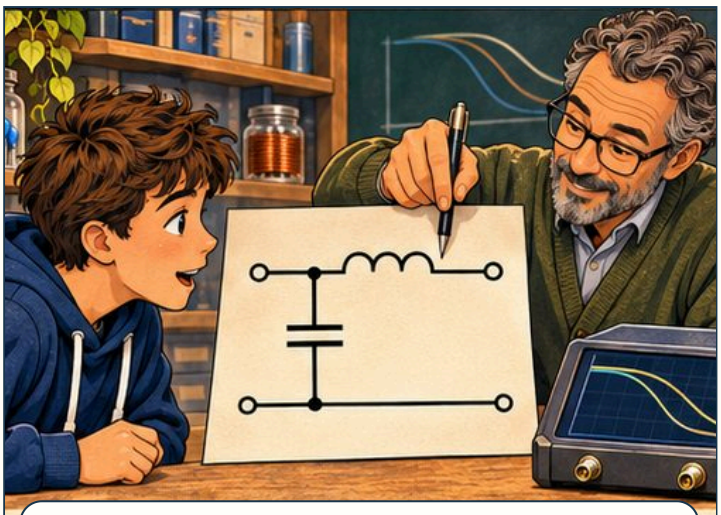


Оба типа компонентов будут действовать совместно.

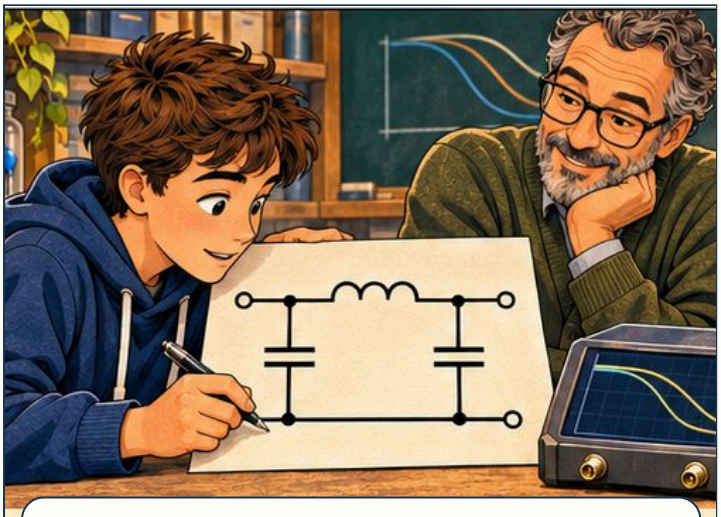
Схема принимает форму π



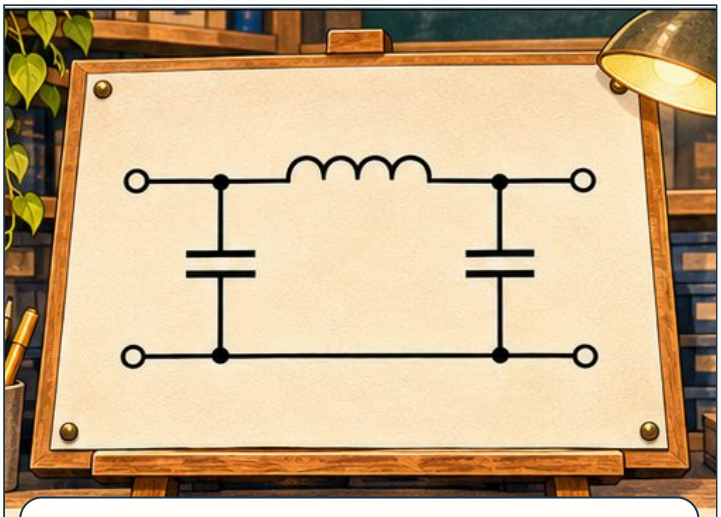
Вход соединяется с первым конденсатором, подключённым к общему проводу.



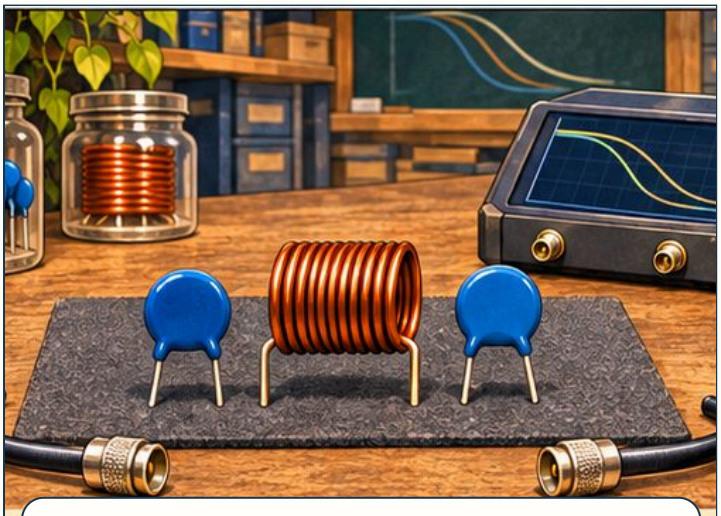
Далее катушка последовательно соединяет вход с выходом.



Второй конденсатор соединяет выход с тем же общим проводом.



По обе стороны катушки вниз идут две ветви.



Расположение напоминает греческую букву π.

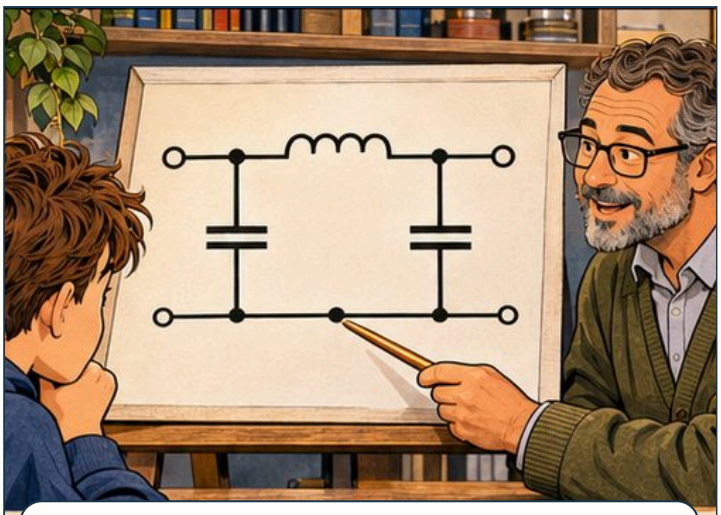


Юноша прослеживает каждое соединение карандашом.

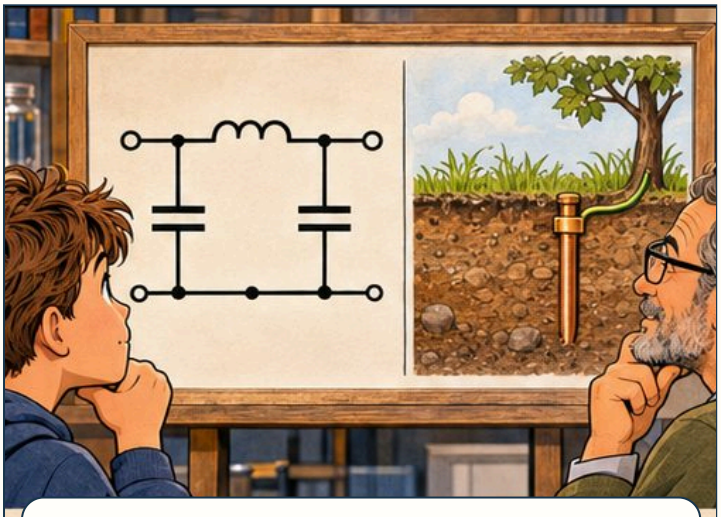
Общий провод на схеме



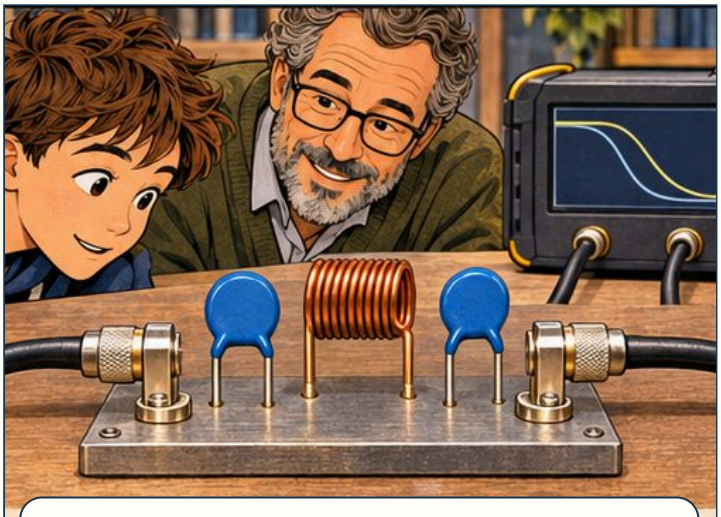
Оба конденсатора имеют общую электрическую точку отсчёта.



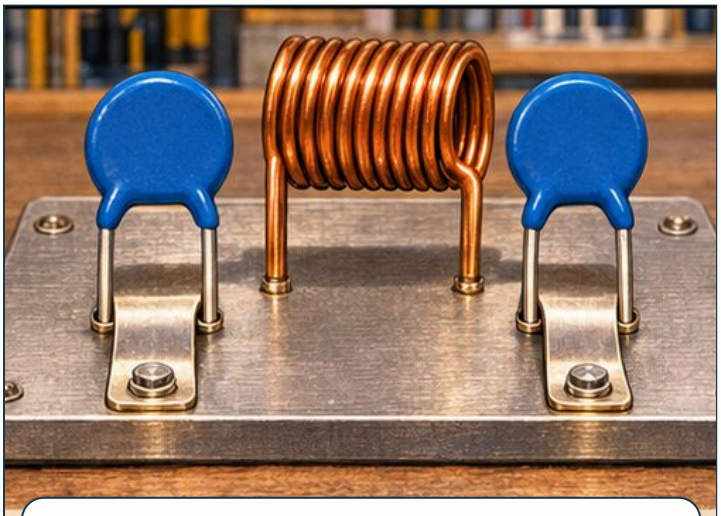
Здесь символ общего провода обозначает именно эту точку схемы.



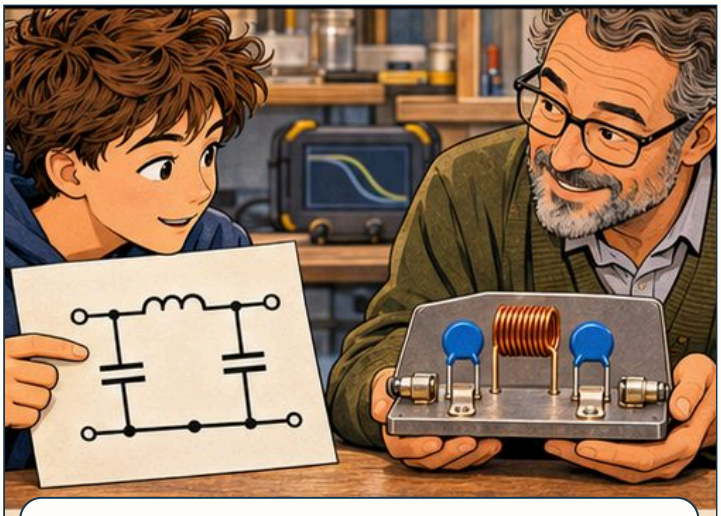
Он не означает автоматически соединение с землёй.



Экраны коаксиальных кабелей подключаются к ней согласно проекту.



Короткое соединение ограничивает некоторые паразитные эффекты.

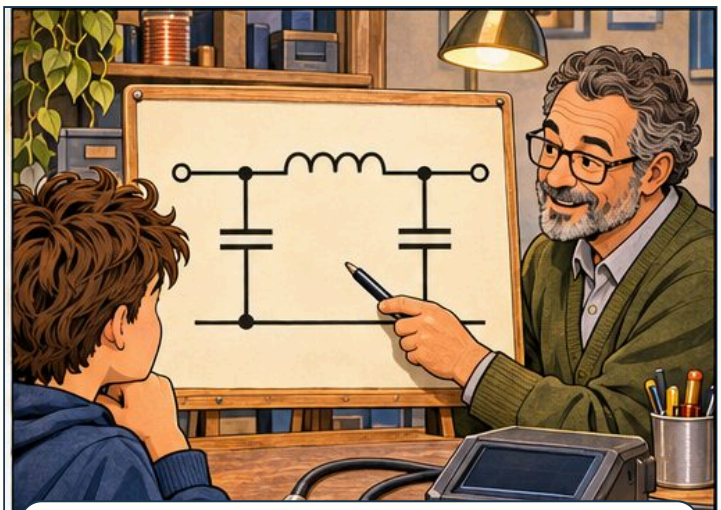


Юноша различает символ и его практическое воплощение.

Три элемента, один порядок



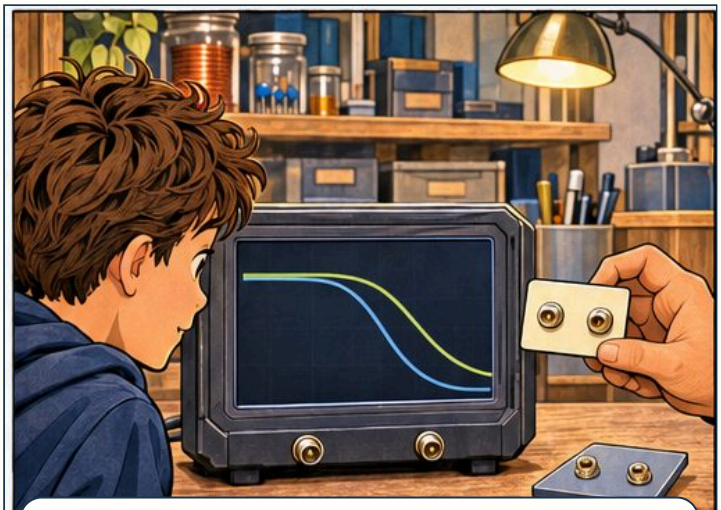
В этой идеальной цепи три реактивных элемента: C, L и C.



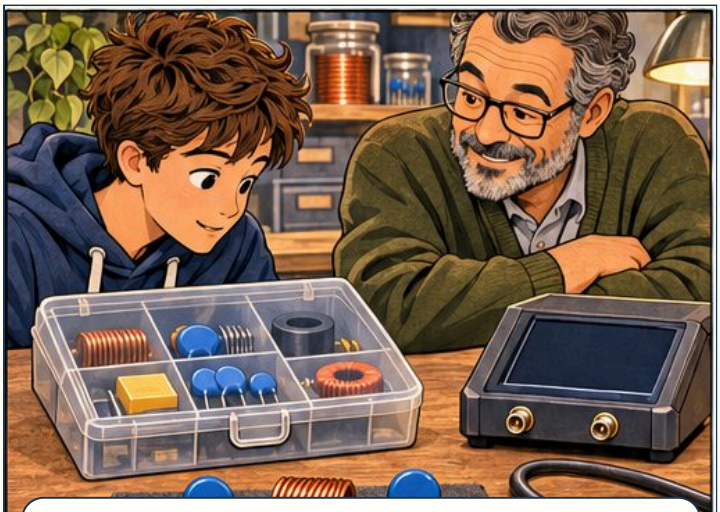
Здесь они образуют фильтр нижних частот третьего порядка.



Порядок характеризует в том числе далёкий асимптотический наклон модели.



Но неподходящий импеданс изменил бы характеристику.



Случайное добавление компонентов не создаёт нужный фильтр.

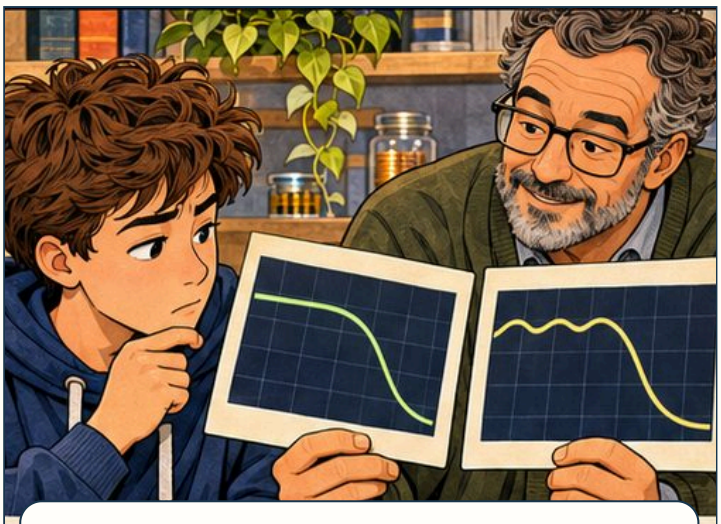


Топология схемы должна соответствовать её расчёту.

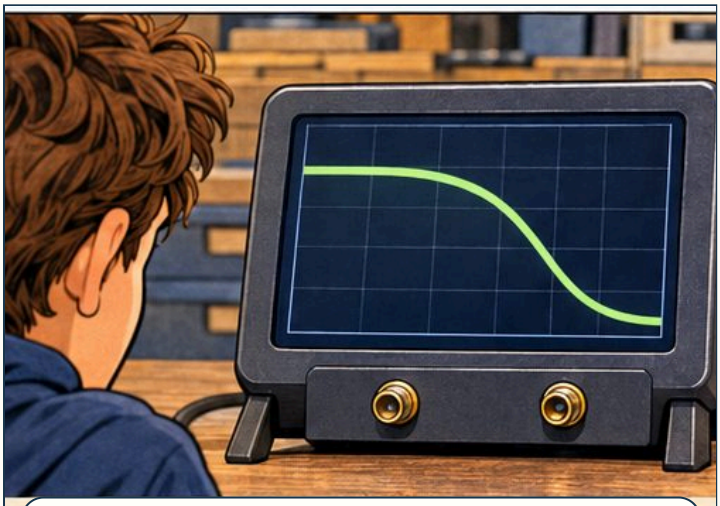
Почему Баттерворт?



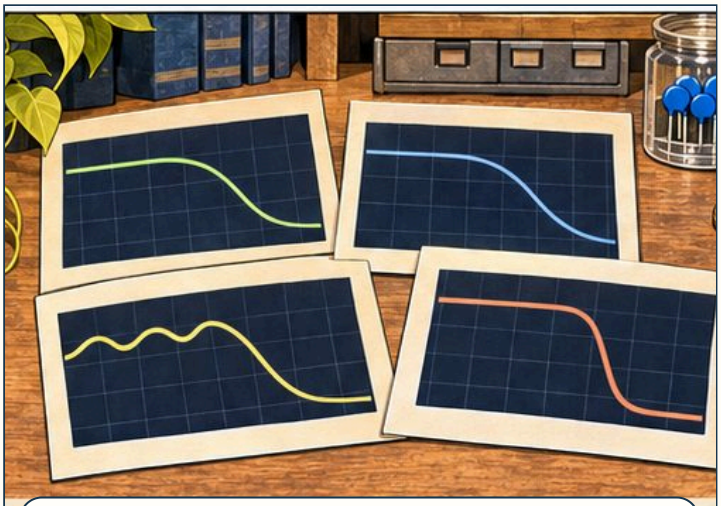
Характеристика Баттерворта максимально плоская в полосе пропускания.



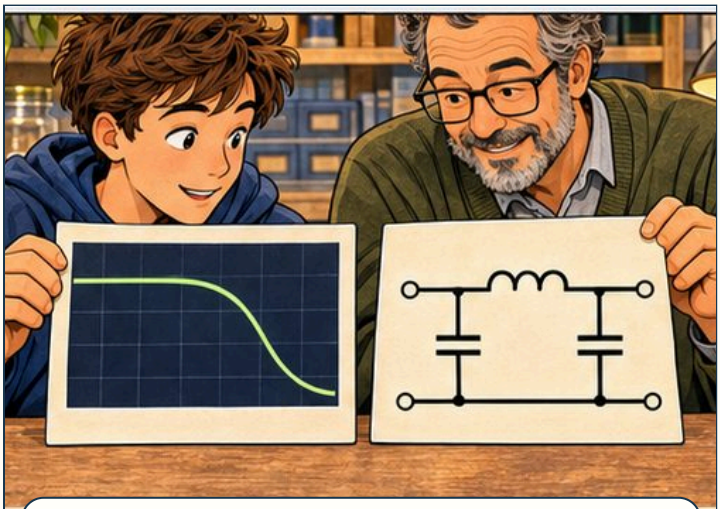
Идеальная модель не имеет неравномерности в этой полосе.



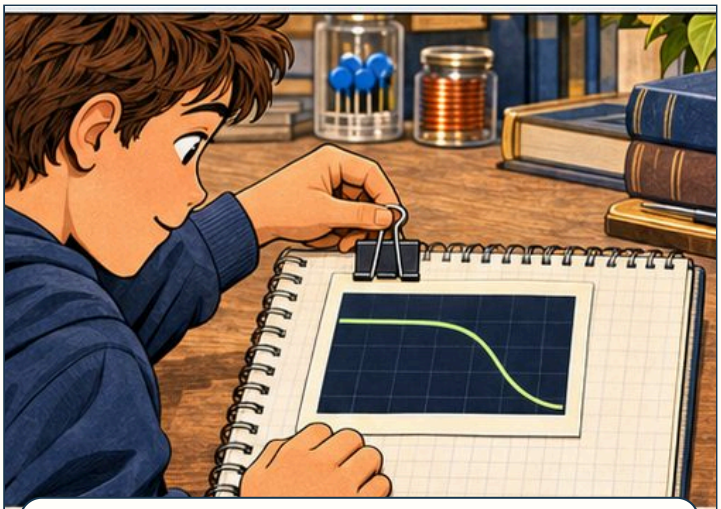
Переход остаётся постепенным, с характерной кривизной.



Другие характеристики принимают иные компромиссы.

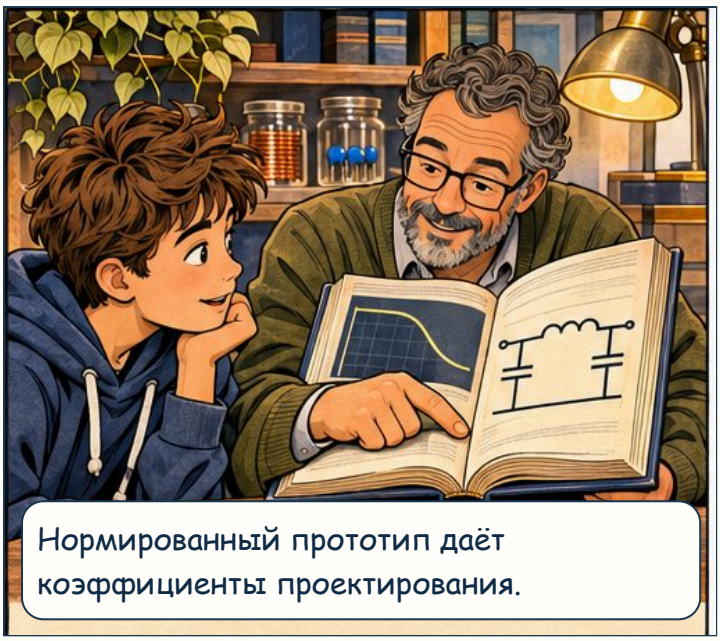


Это семейство выбрано для понятного первого проекта.



Название уточняет больше, чем просто «нижних частот».

Начать с прототипа

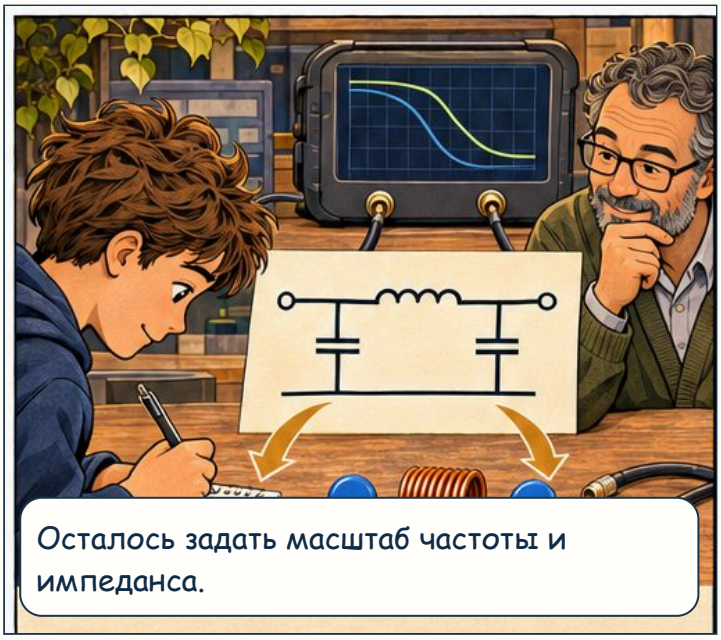




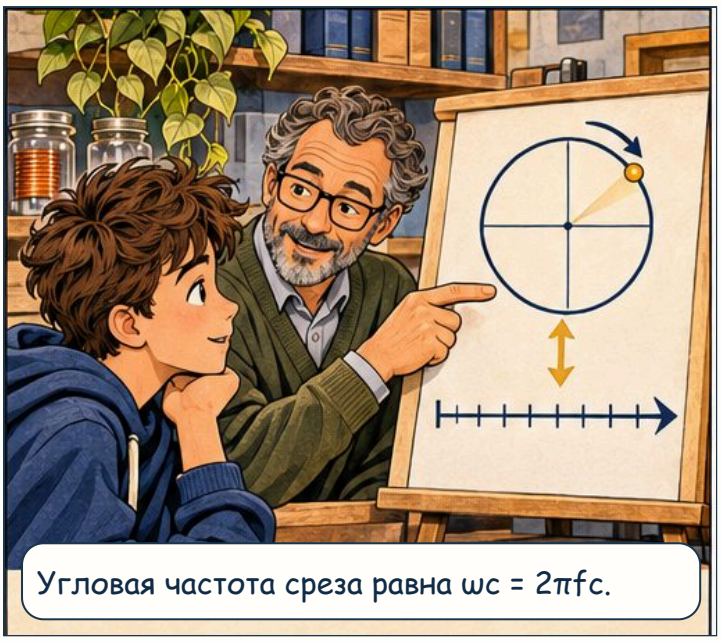




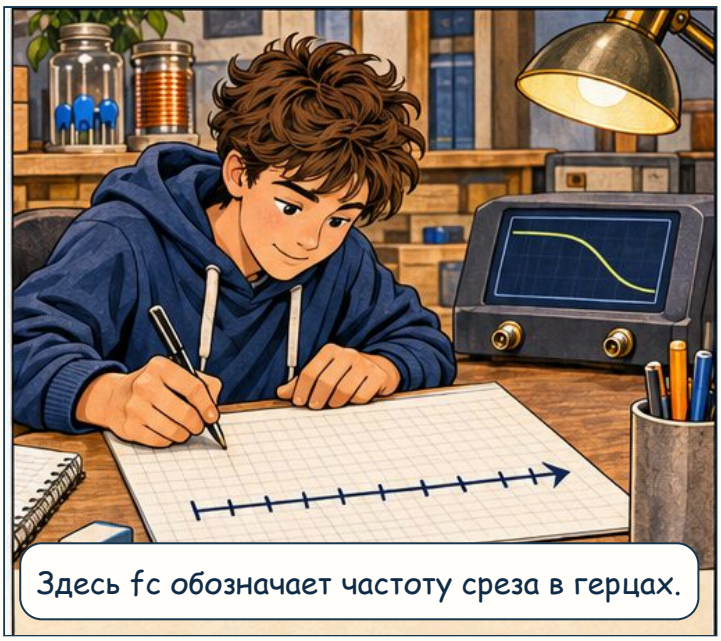




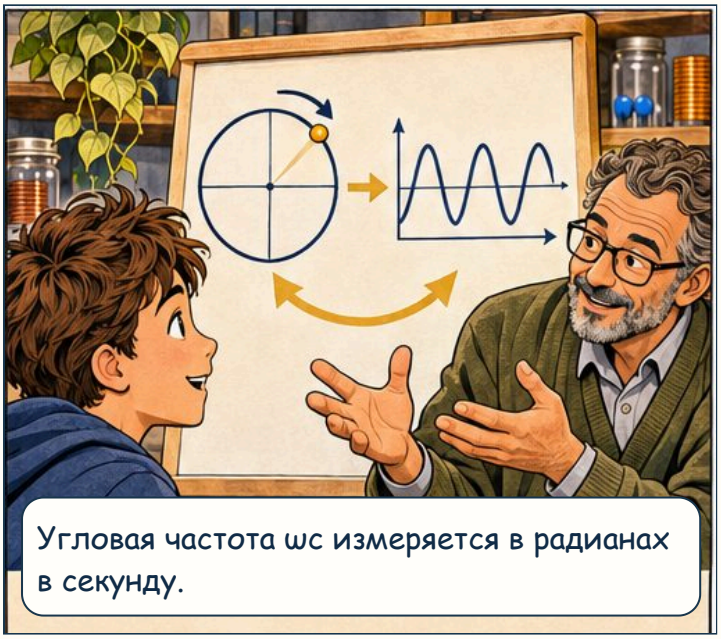
Изменить масштаб



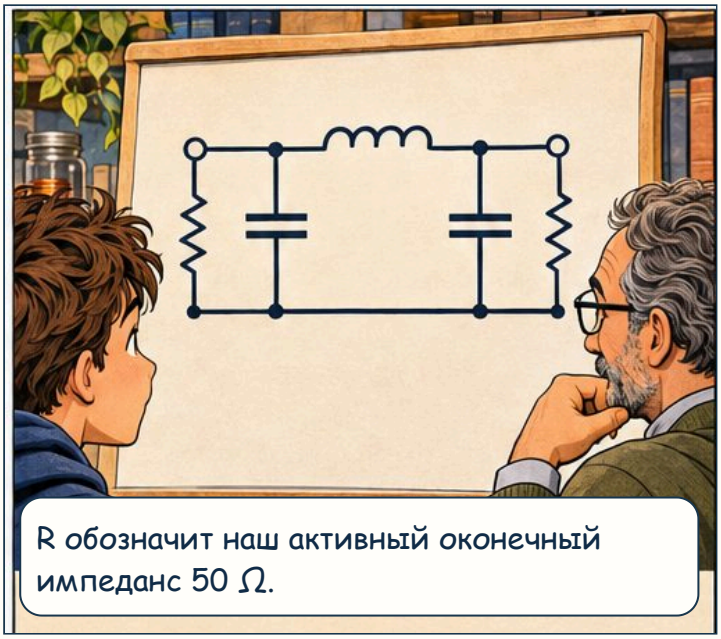
Угловая частота среза равна ωc = 2πfc.



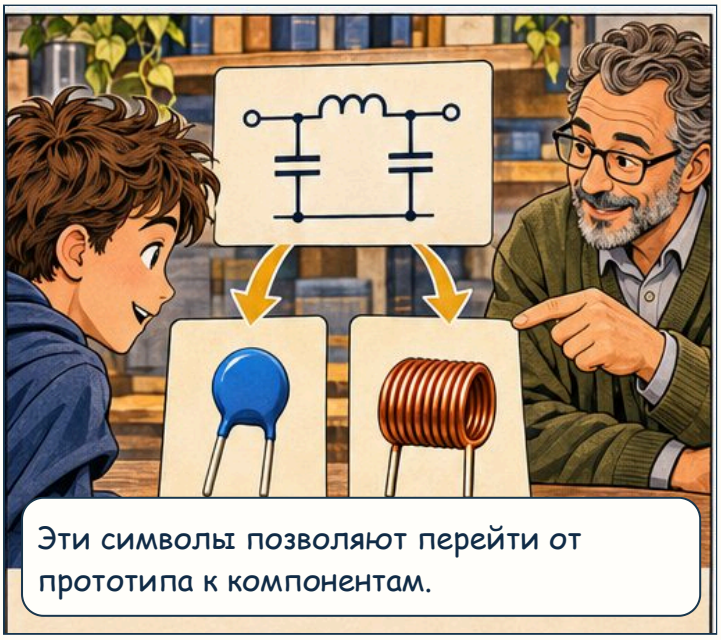
Здесь fc обозначает частоту среза в герцах.



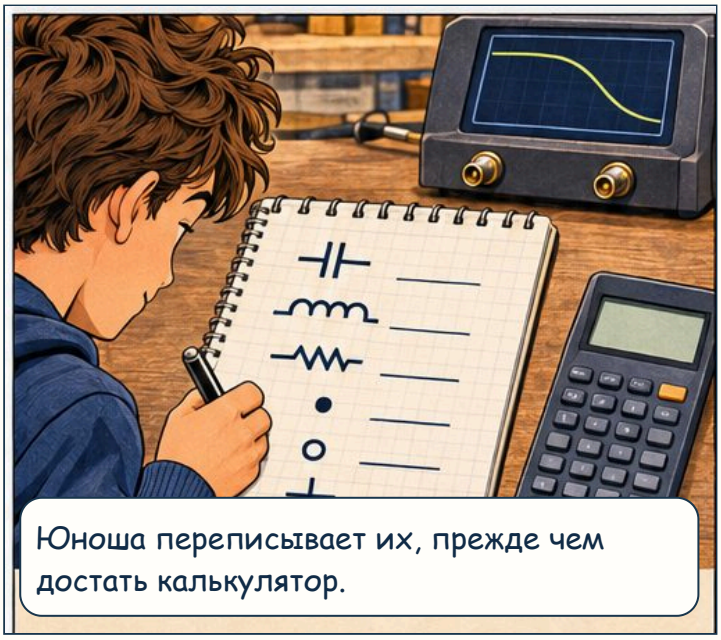
Угловая частота ωc измеряется в радианах в секунду.



R обозначит наш активный оконечный импеданс 50 Ω.



Эти символы позволяют перейти от прототипа к компонентам.

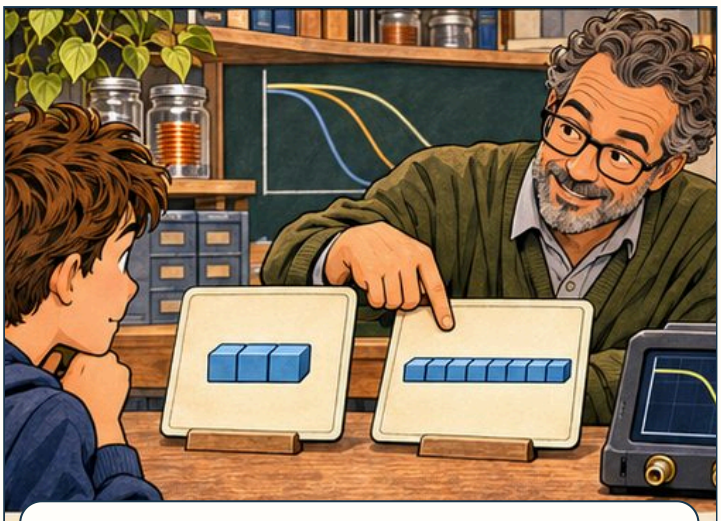


Юноша переписывает их, прежде чем достать калькулятор.

Сначала единицы, затем числа



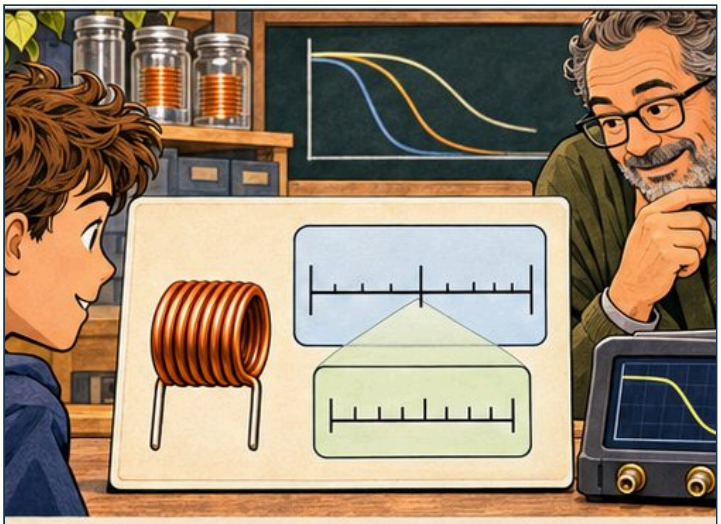
Один мегагерц равен миллиону герц.



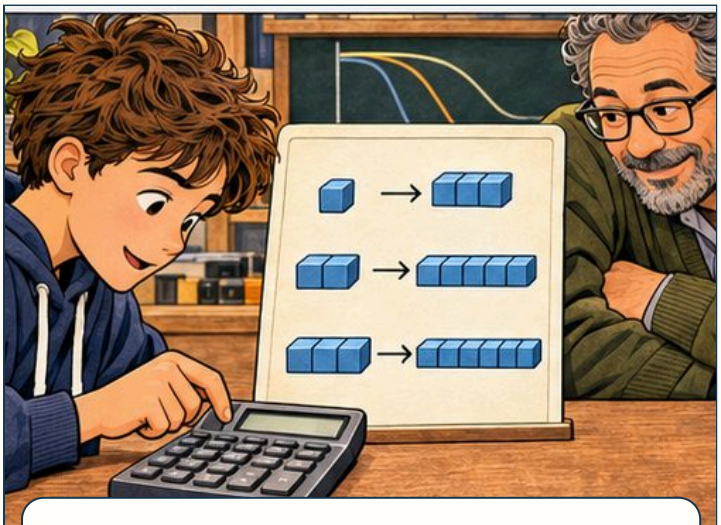
Их частота среза 10 MHz равна 10 000 000 Hz.



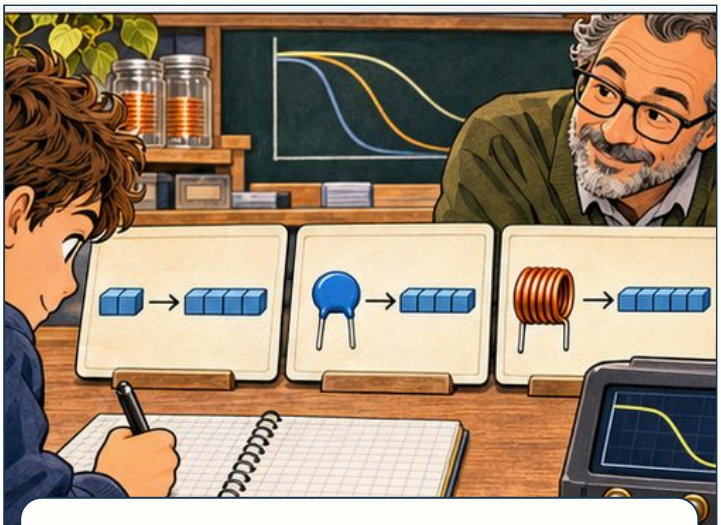
Один пикофарад равен 10^{-12} F.



Один микрогенри равен 10^{-6} H.



Формулы сначала используют основные единицы.



Юноша держит переводы единиц на виду рядом с расчётами.

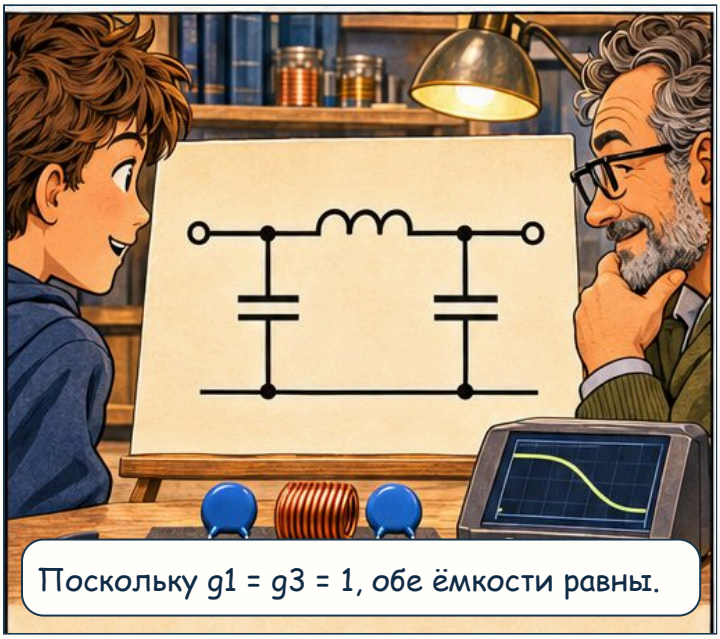
Формулы конденсаторов



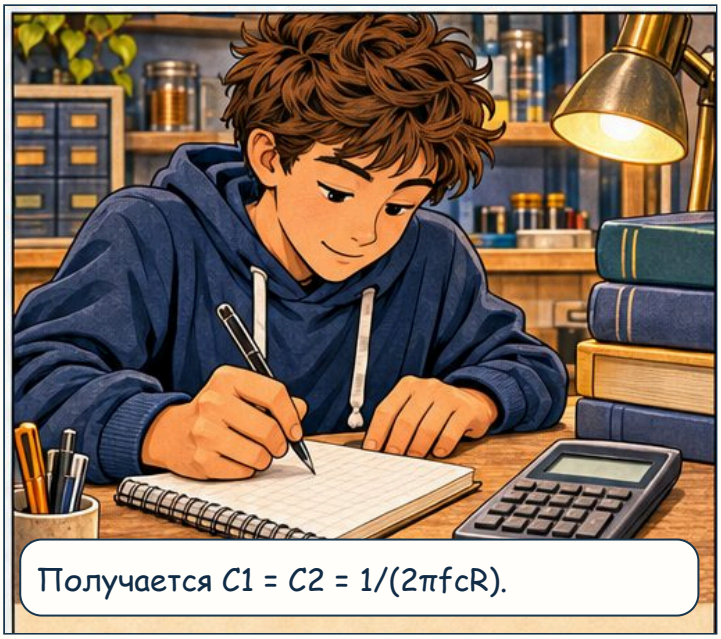
Для этой структуры C1 = g1/(ωcR).



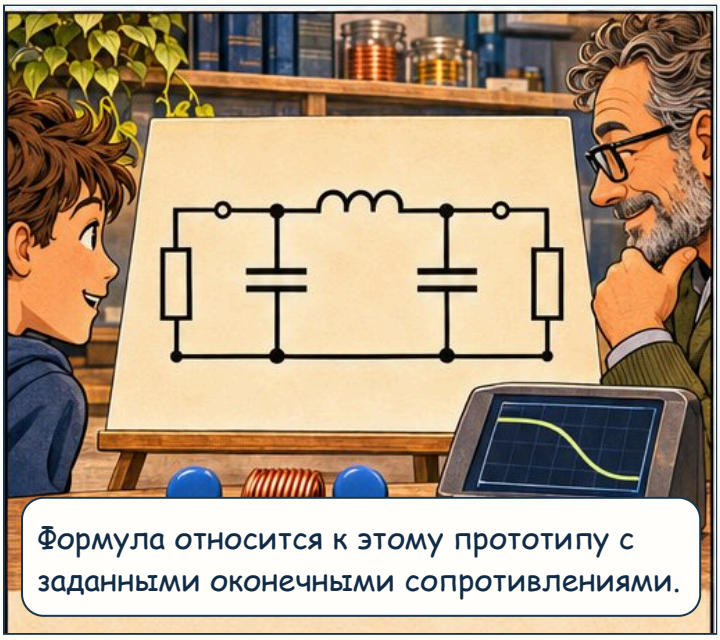
Третий коэффициент даёт C2 = g3/(ωcR).



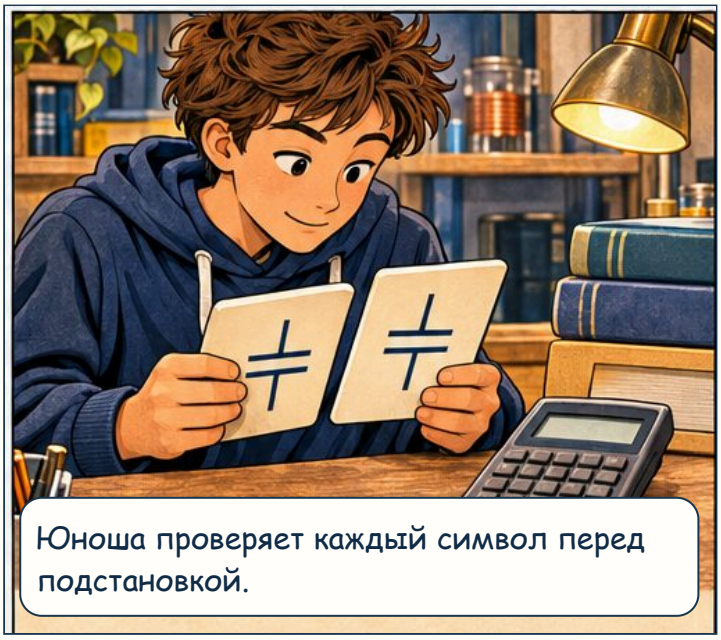
Поскольку g1 = g3 = 1, обе ёмкости равны.



Получается C1 = C2 = 1/(2πfcR).



Формула относится к этому прототипу с заданными оконечными сопротивлениями.



Юноша проверяет каждый символ перед подстановкой.

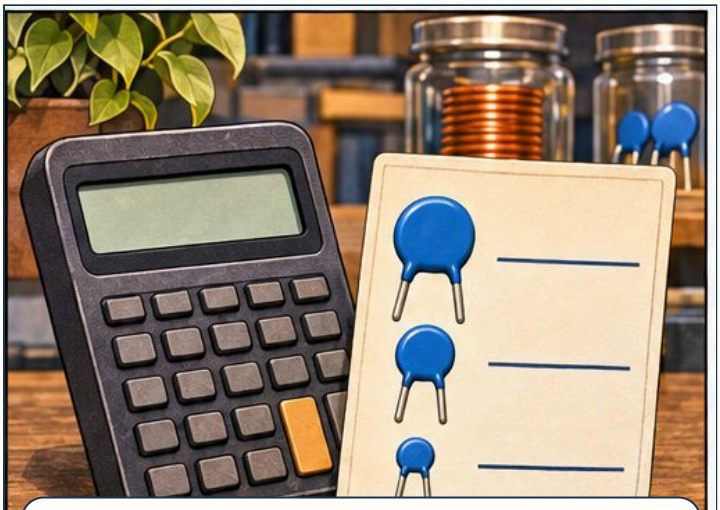
Рассчитать ёмкости



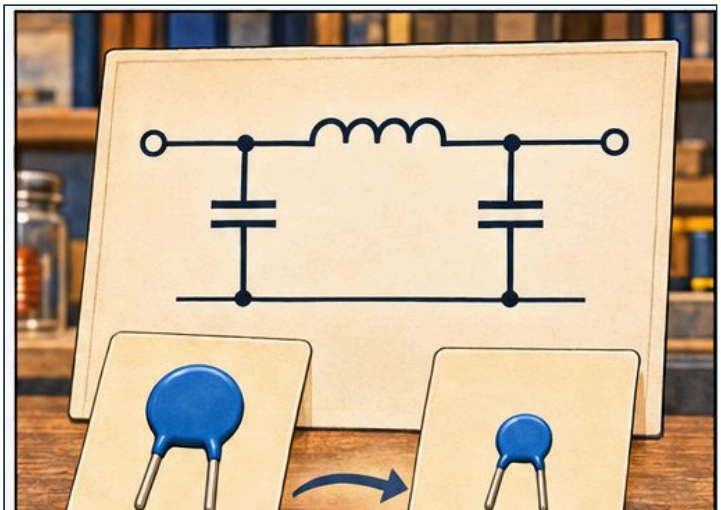
Они подставляют fc = 10 000 000 Hz и R = 50 Ω.



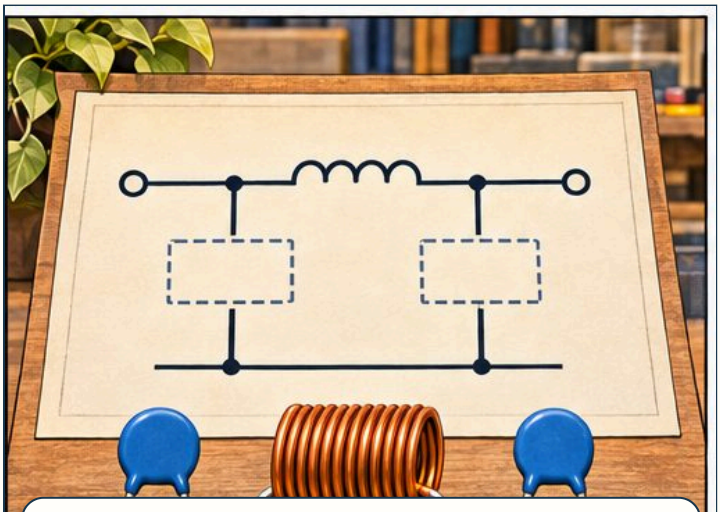
Знаменатель составляет примерно 3,142 × 10^{9}.



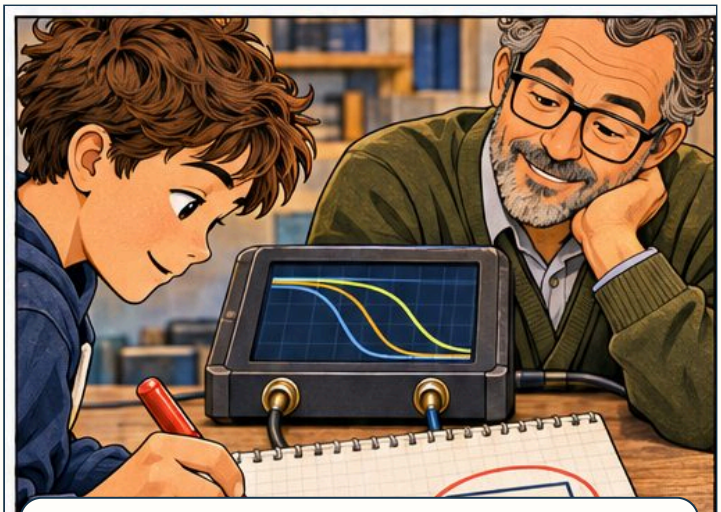
Каждая идеальная ёмкость равна примерно 3,183 × 10^{-10} F.



В пикофарадах это около 318,3 pF.

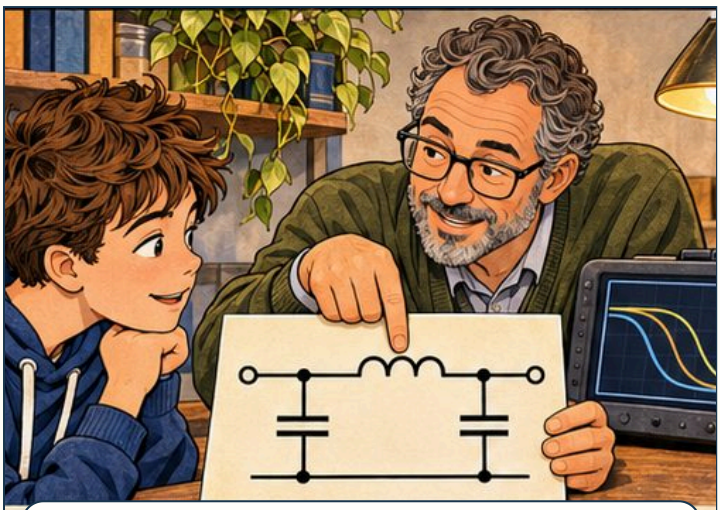


Оба конденсатора получат одинаковое теоретическое значение.



Lucas записывает результат с хорошо видимой единицей.

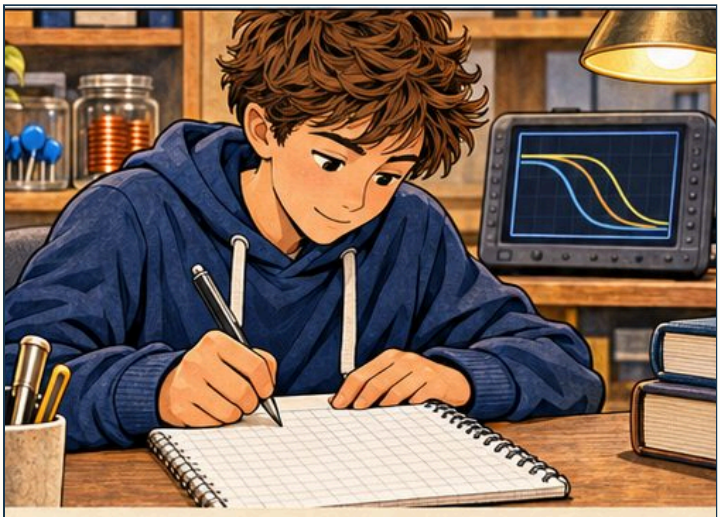
Формула катушки



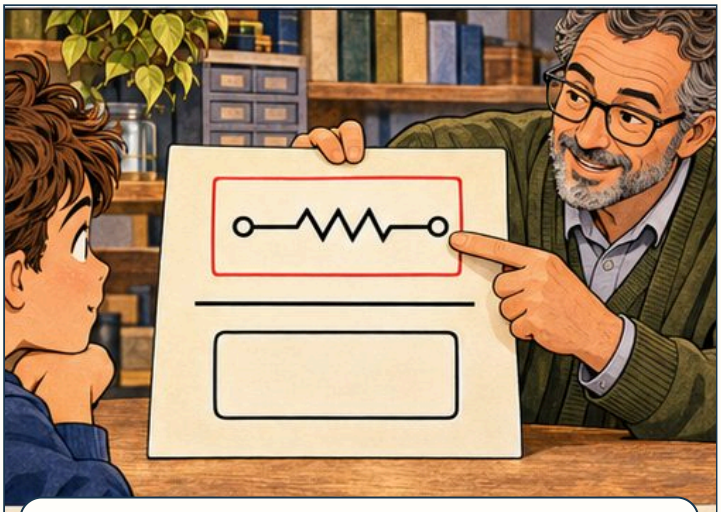
Для последовательной катушки L = g2R/ωc.



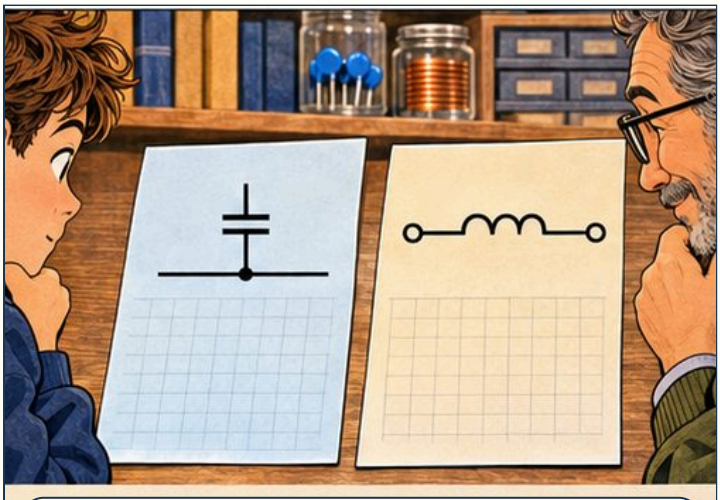
Средний коэффициент здесь g2 = 2.



Следовательно, L = 2R/(2πfc).



Окончечное сопротивление на этот раз находится в числителе.



Юноша сравнивает формулу с формулой конденсаторов.



Внешнее сходство не отменяет повторной проверки.

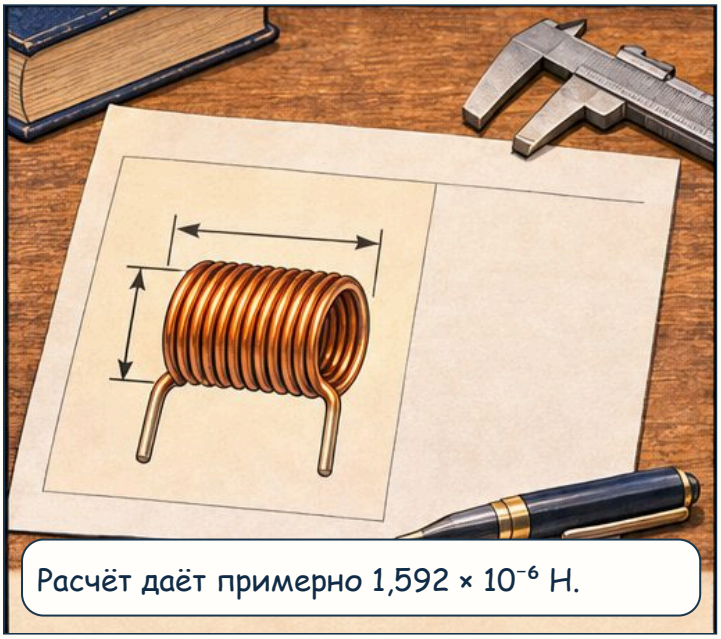
Рассчитать индуктивность



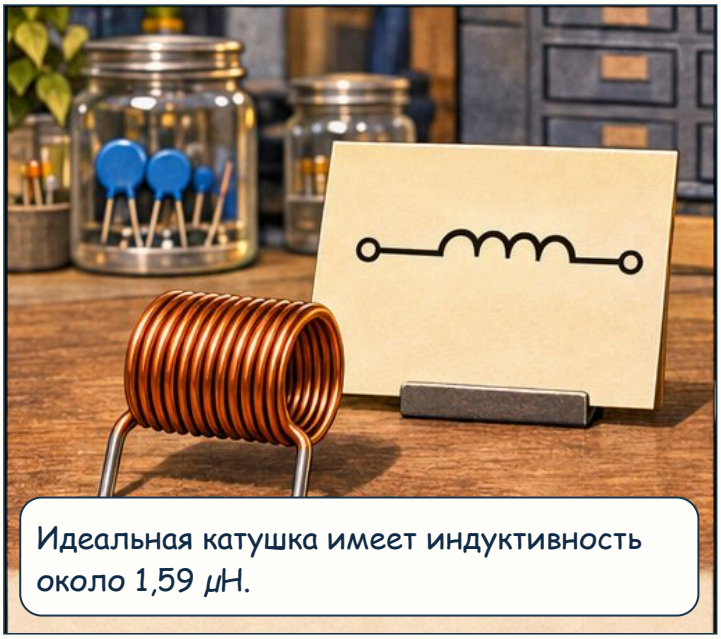
Числитель равен 2 × 50, то есть 100 Ω.



Знаменатель равен 2π × 10 000 000, примерно 6,283 × 10^{7} s^{-1}.



Расчёт даёт примерно 1,592 × 10^{-6} H.



Идеальная катушка имеет индуктивность около 1,59 μH.

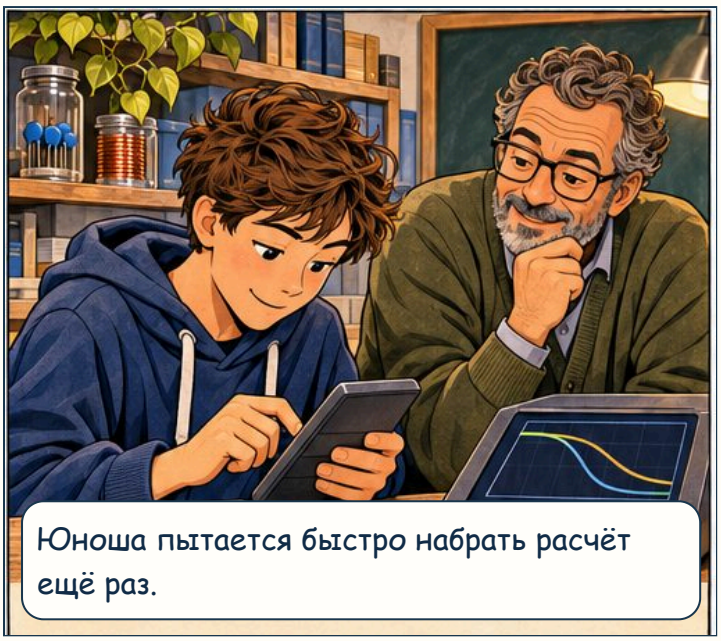


Они собирают три результата на одной схеме.



Теперь у проекта есть первое полное определение.

Ошибка в миллион раз



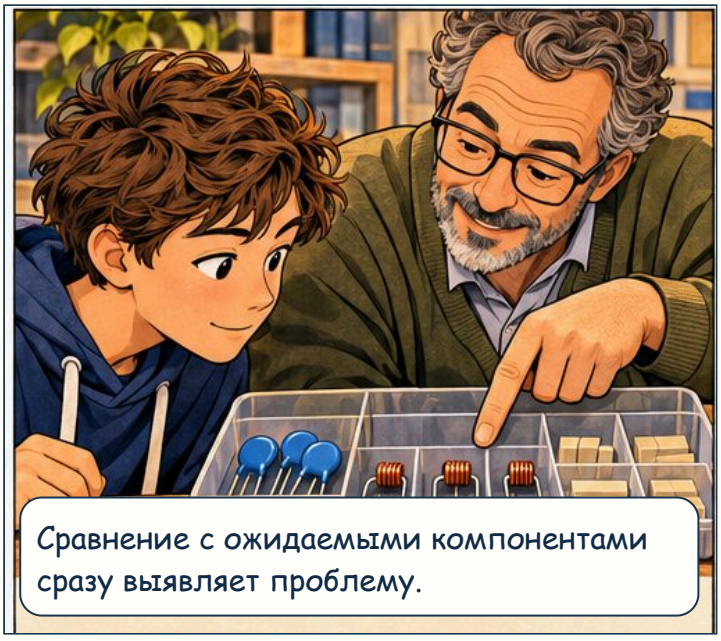
Юноша пытается быстро набрать расчёт ещё раз.



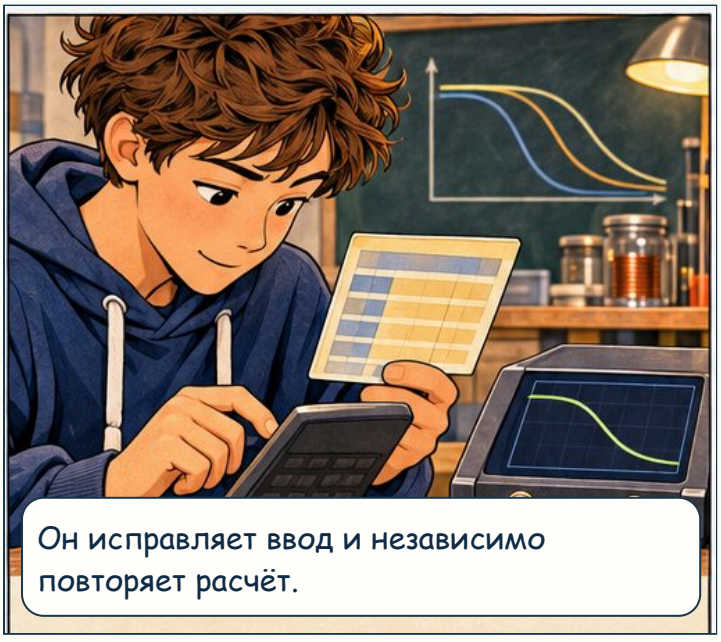
Он вводит 10 вместо 10 000 000.



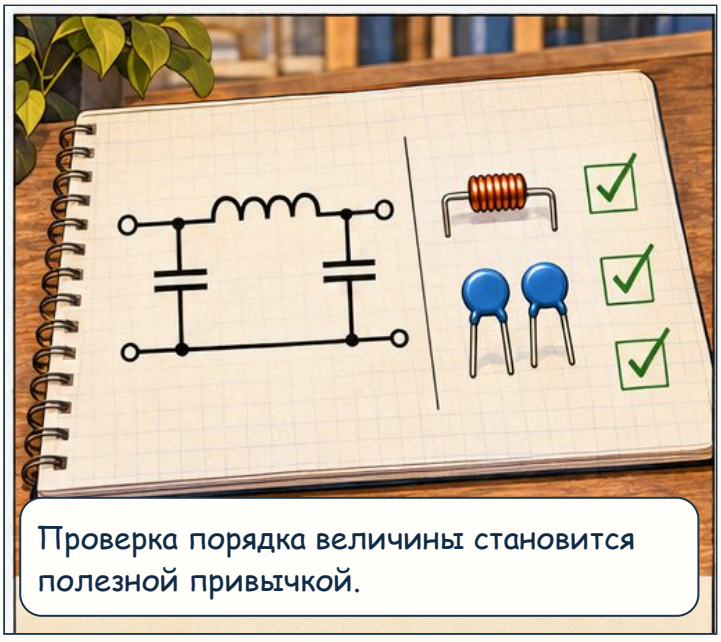
Результат становится в миллион раз больше нужного.



Сравнение с ожидаемыми компонентами сразу выявляет проблему.



Он исправляет ввод и независимо повторяет расчёт.



Проверка порядка величины становится полезной привычкой.

Предсказать целую кривую



Три значения ещё не описывают всю характеристику.



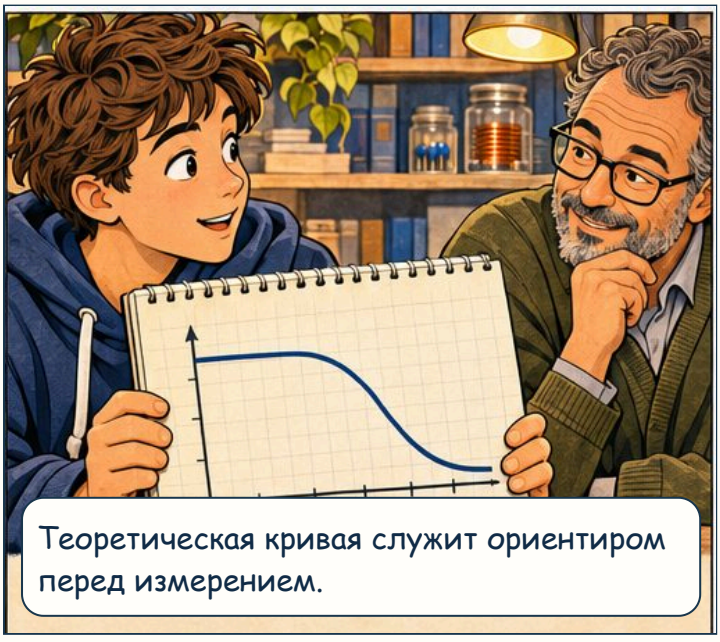
В идеальной модели квадрат модуля S21 равен $1/[1 + (f/fc)^6]$.



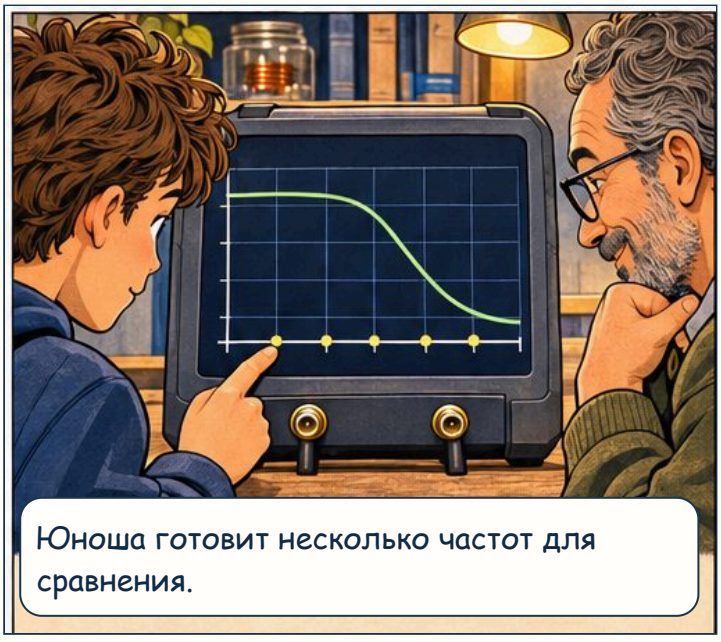
Здесь S21 описывает передачу между опорными портами 50 Ω.



Передаваемая мощность, следовательно, зависит от отношения f/fc.



Теоретическая кривая служит ориентиром перед измерением.



Юноша готовит несколько частот для сравнения.

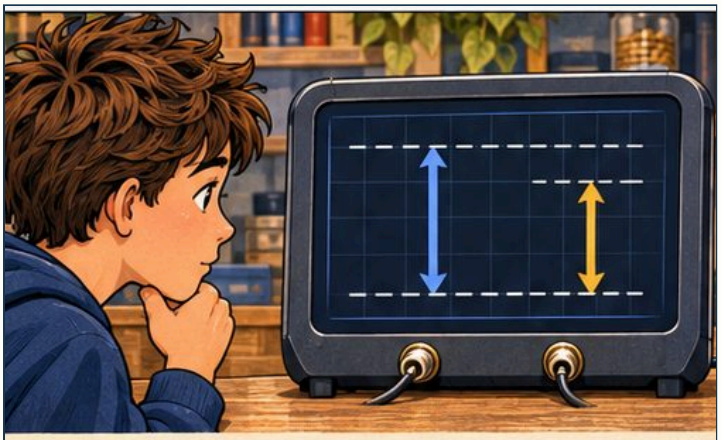
Что значит минус три децибела?



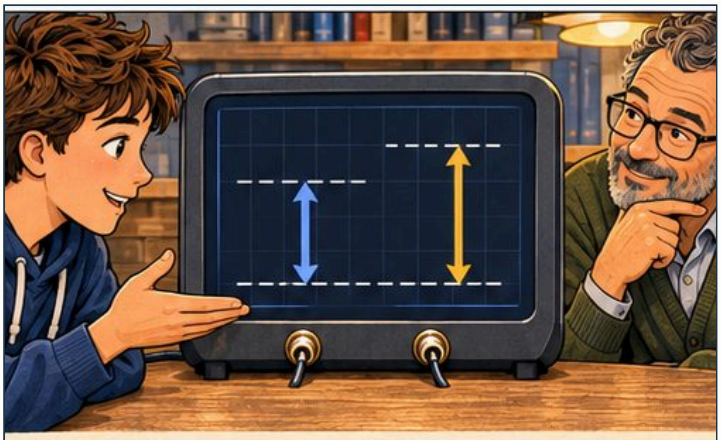
При f = fc идеальный коэффициент передачи мощности равен 1/2.



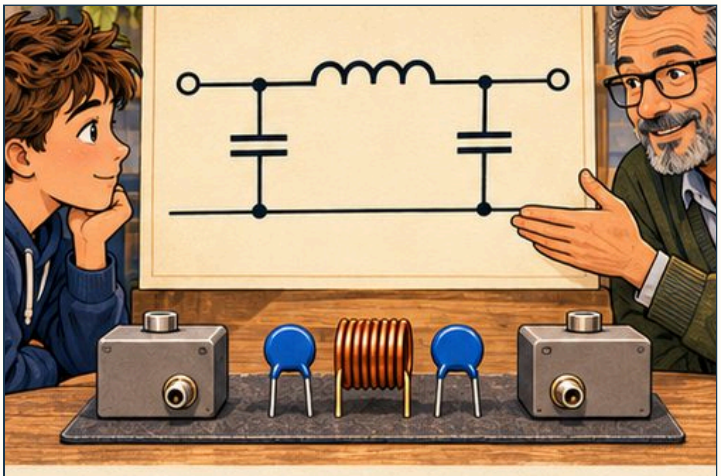
В децибелах 10 log10(1/2) даёт примерно −3,01 dB.



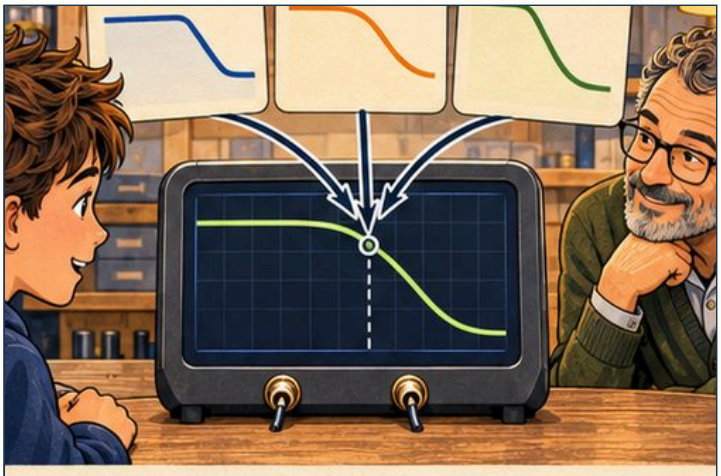
Модуль S21 тогда составляет около 0,707.



Значит, эта амплитуда не равна половине.



Расчёт использует подходящие опорные импедансы 50 Ω.

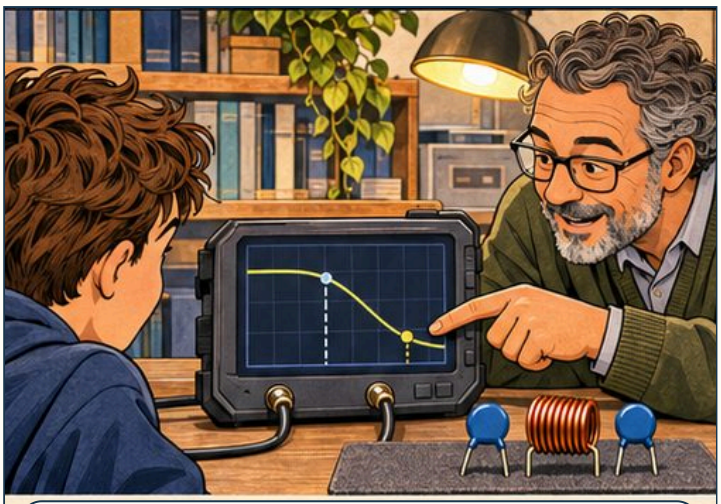


Юноша связывает три записи одной точки кривой.

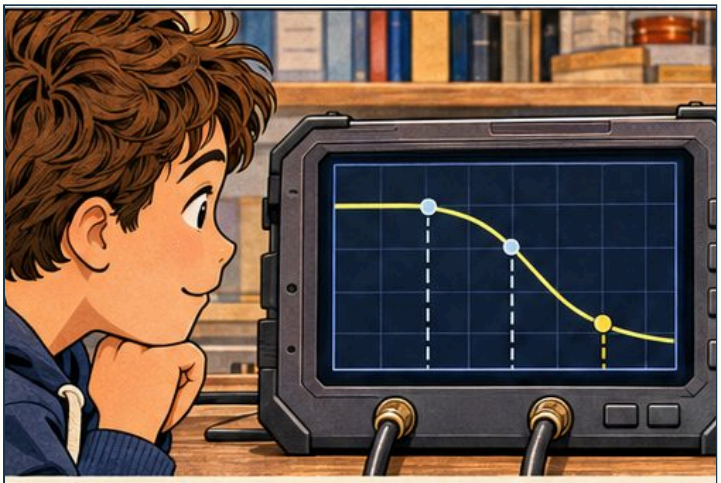
Выше частоты среза



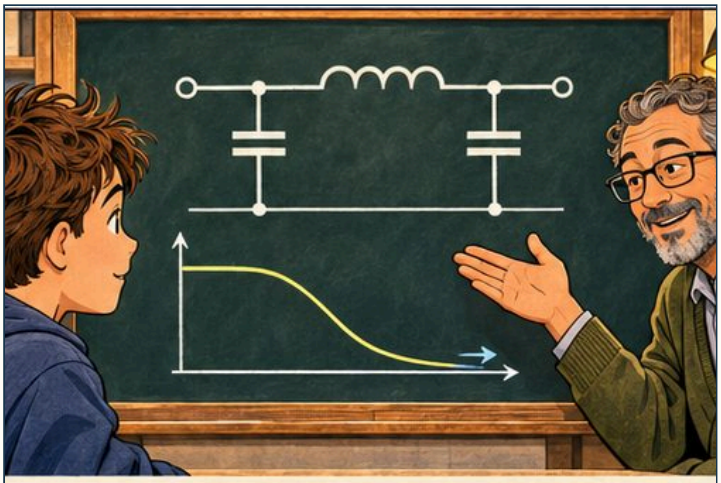
При 20 MHz отношение f/fc равно 2.



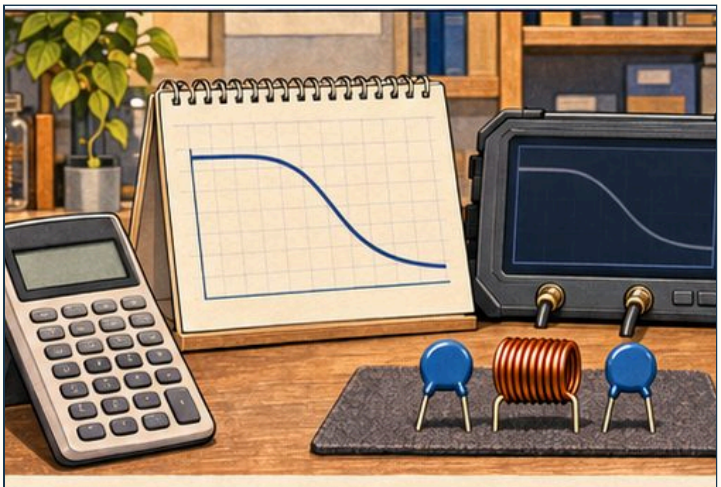
Идеальная передача становится примерно −18,13 dB.



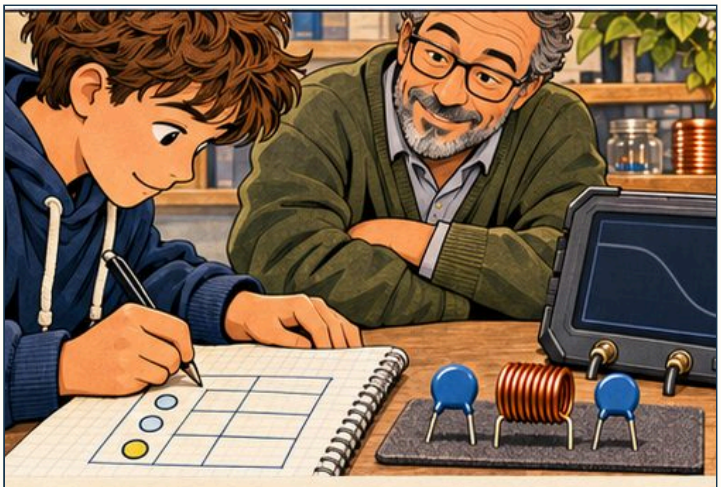
При 30 MHz f/fc равно 3: примерно −28,63 dB.



Ослабление растёт, но остаётся конечным.

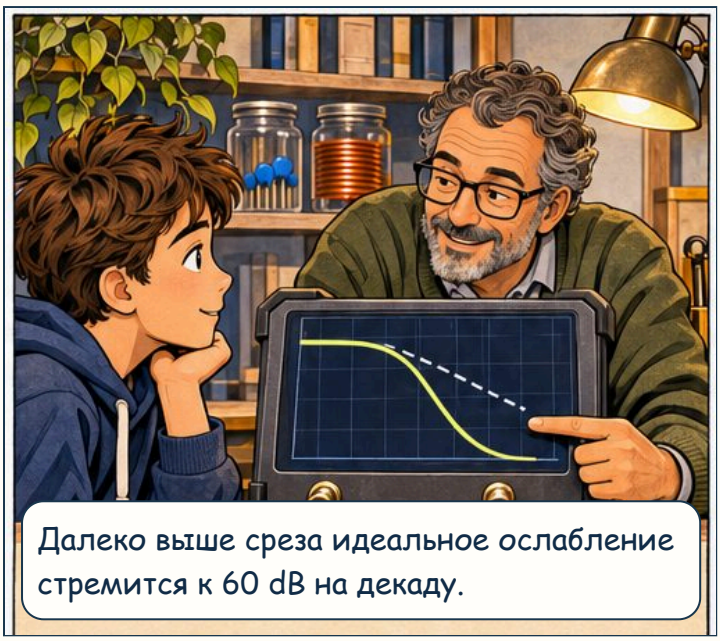


Эти числа рассчитаны, а не измерены на их схеме.

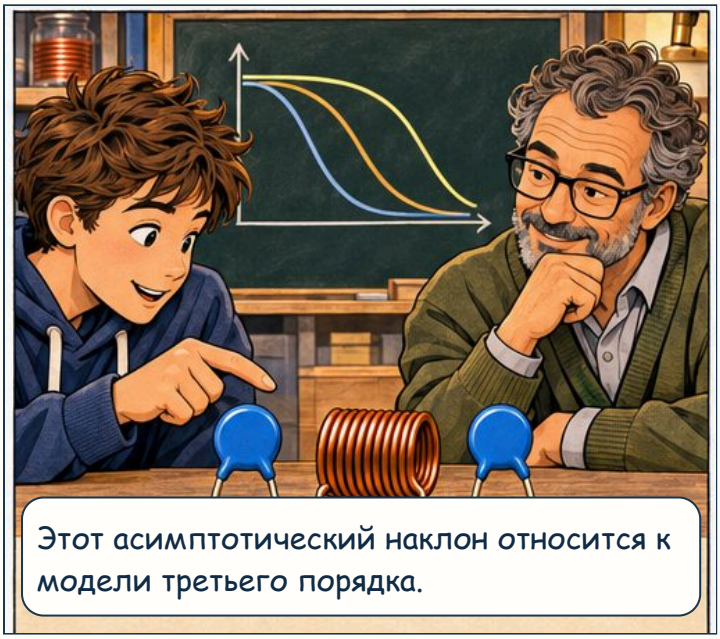


Юноша помещает их в столбец прогнозов.

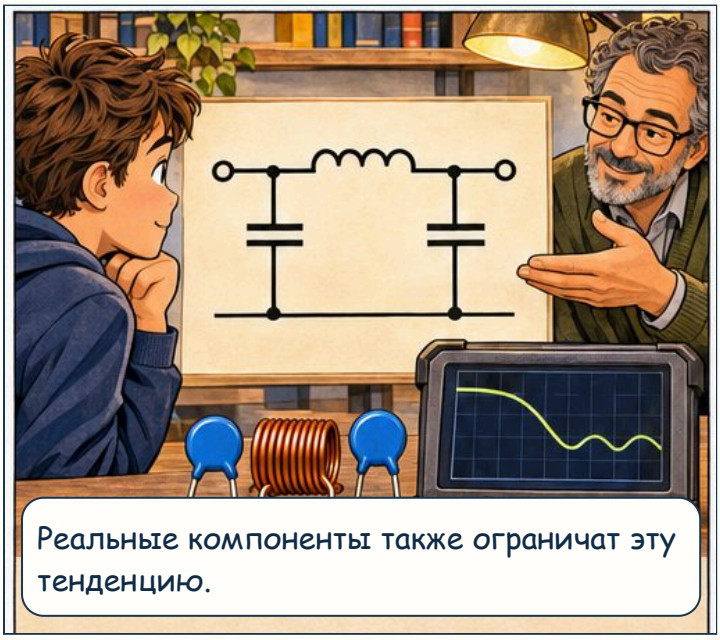
Наклон не является обещанием

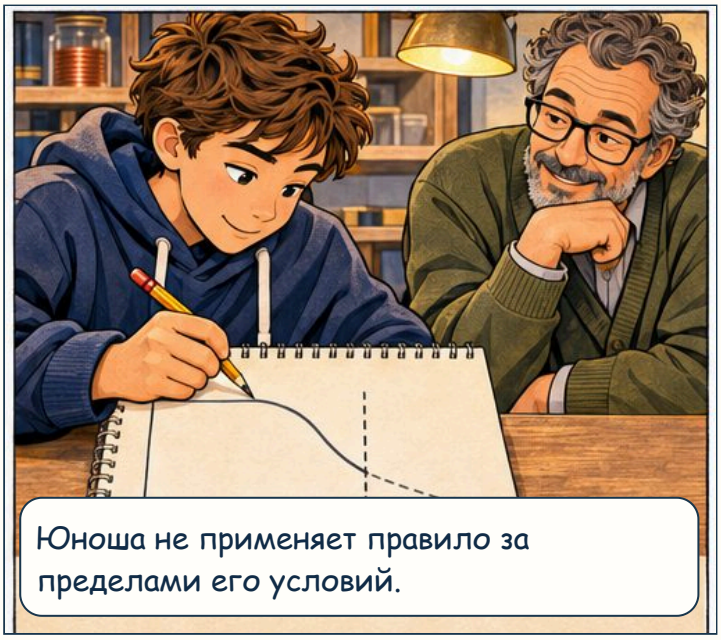




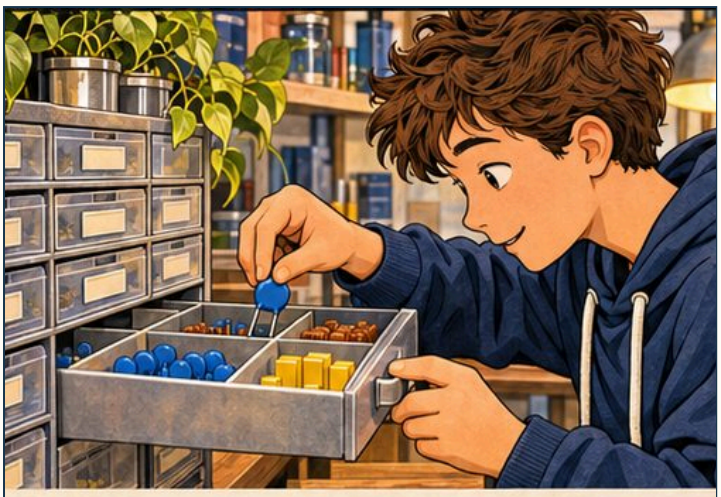




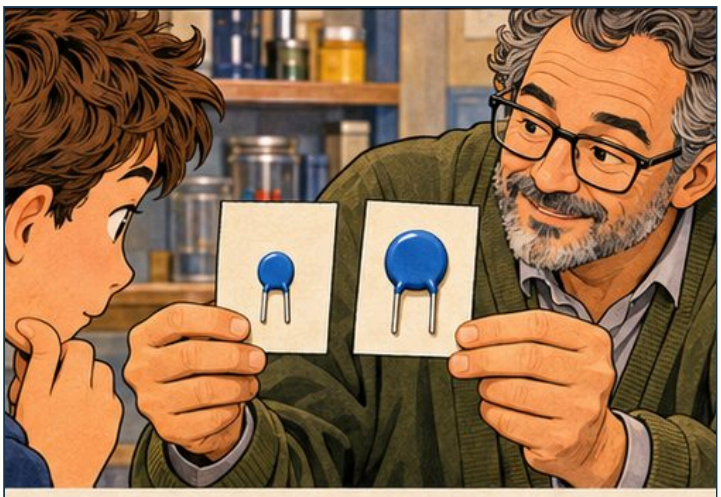




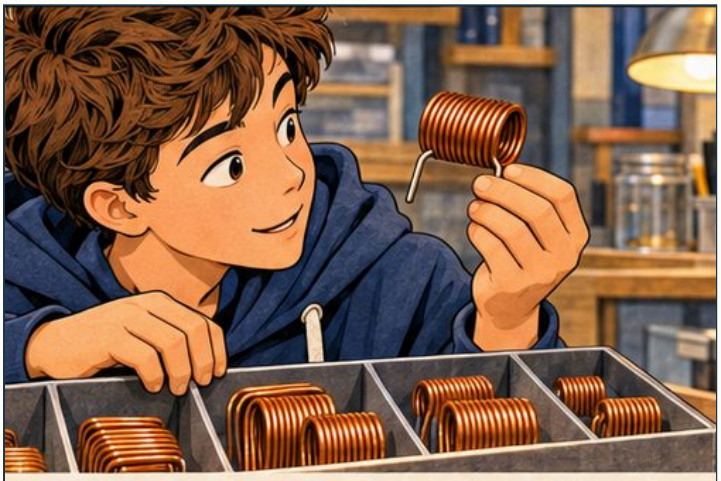
Доступные номиналы



В ящике необязательно есть конденсаторы на 318,3 pF.



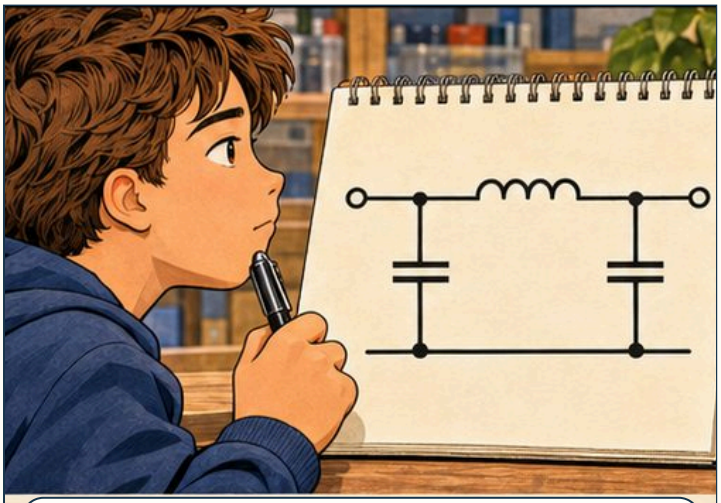
Распространённое значение 330 pF не равно расчётному.



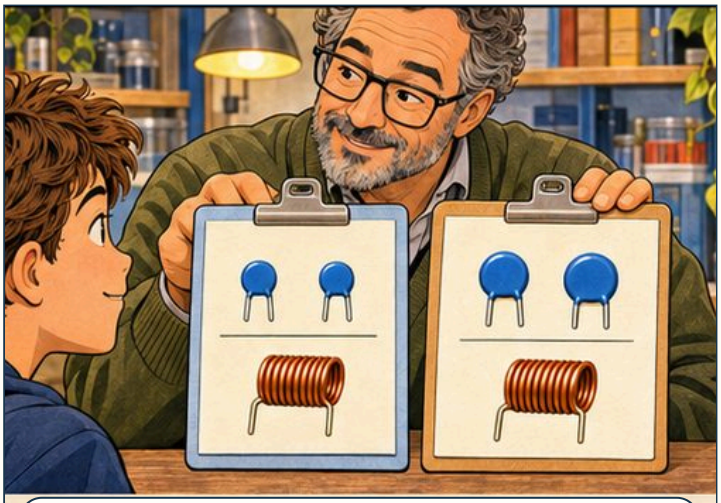
Катушка 1,6 μH близка к рассчитанной величине.



Выбор этих значений требует пересчёта или моделирования характеристики.

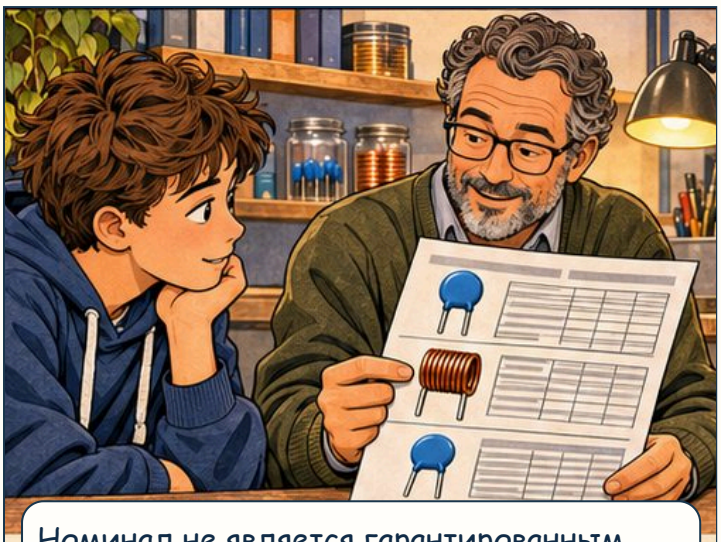


Нельзя автоматически назвать эту схему «ровно 10 MHz».



Юноша отдельно хранит идеальные и выбранные значения.

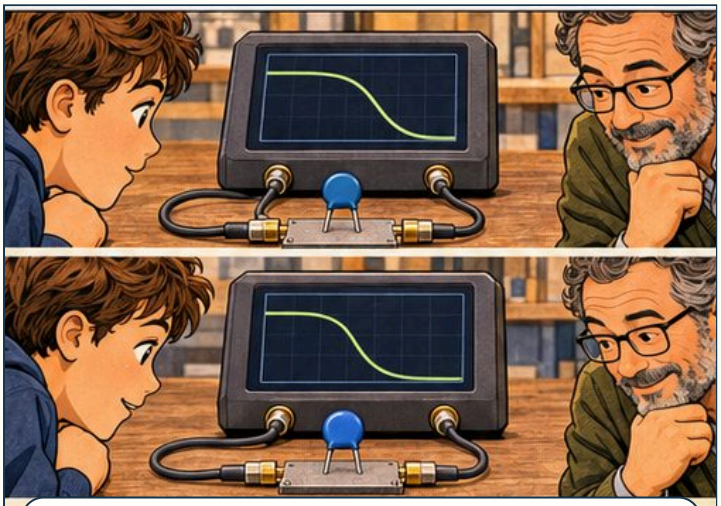
У каждой детали свой допуск



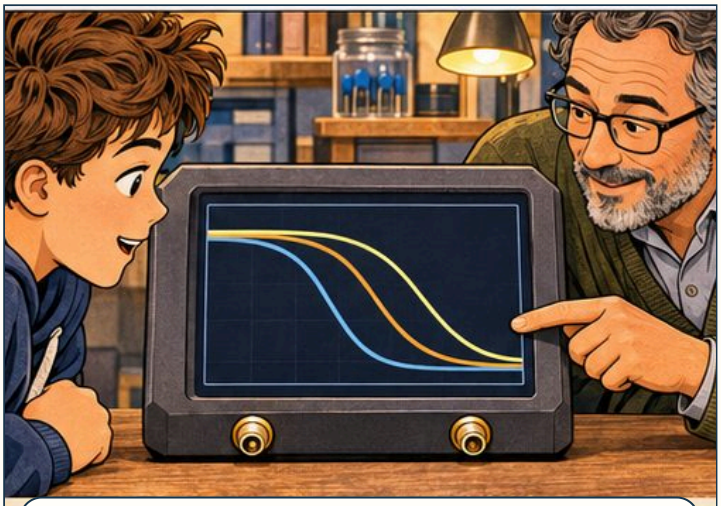
Номинал не является гарантированным точным значением.



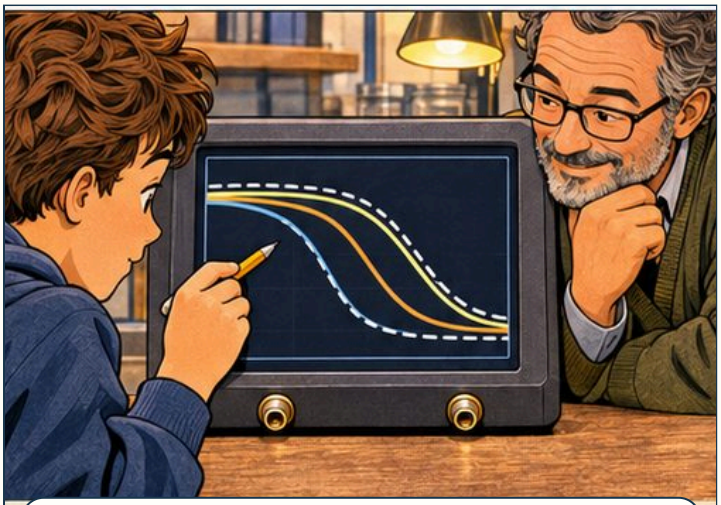
Допуски конденсаторов и катушки важны.



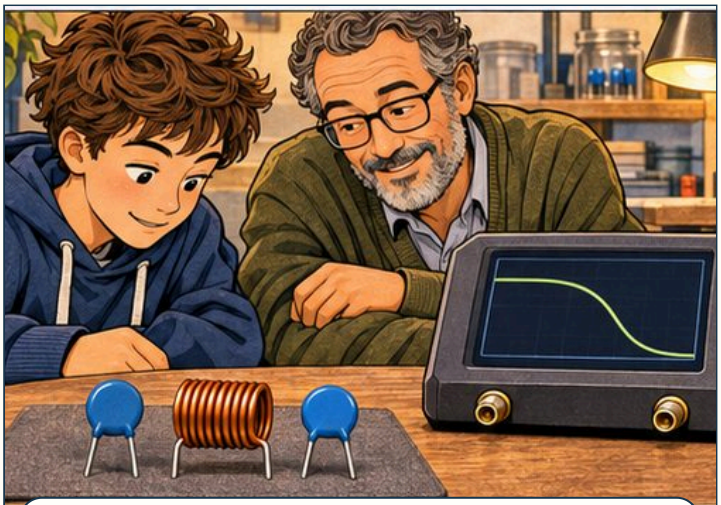
Компоненты с одинаковой маркировкой могут немного различаться.



Моделирование позволяет исследовать разные сочетания значений.



Оно помогает предвидеть диапазон возможных характеристик.



Затем измерение проверит реально использованные детали.

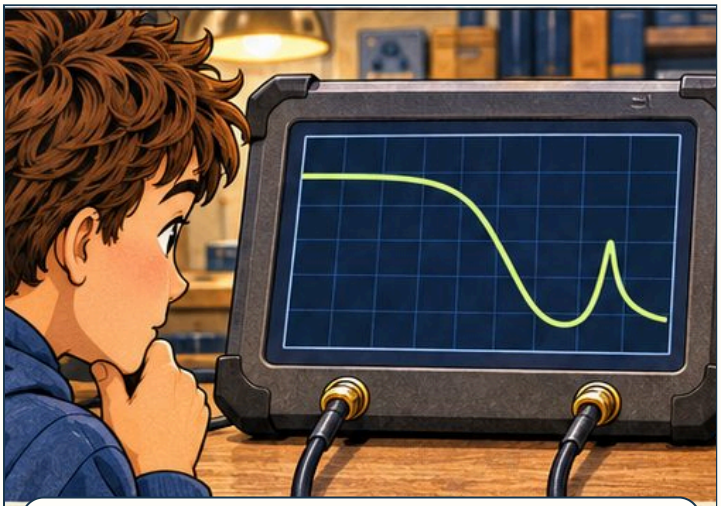
Скрытые компоненты



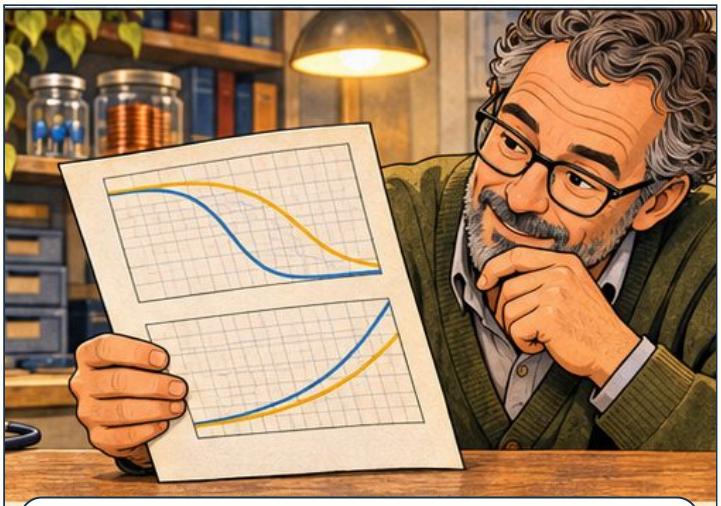
Реальная катушка также имеет сопротивление и паразитную ёмкость.



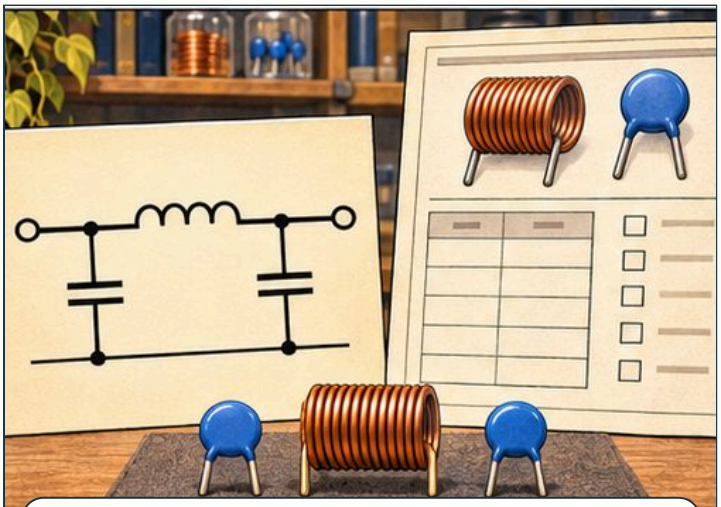
Конденсатор имеет, среди прочего, потери и паразитную индуктивность.



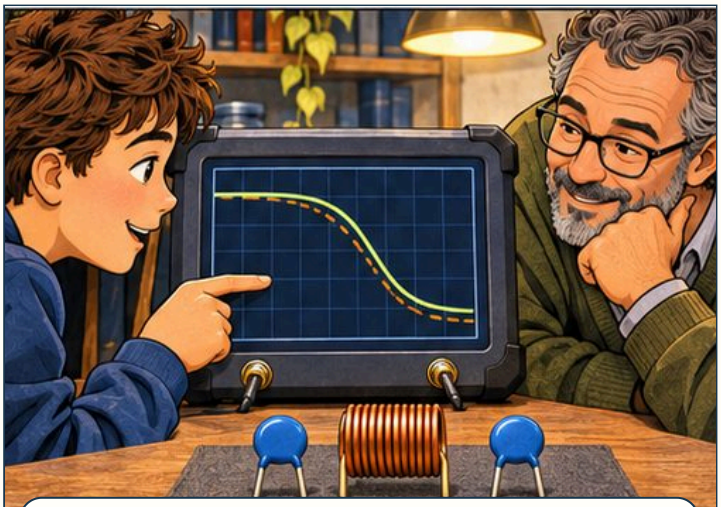
Вблизи некоторых резонансов их поведение меняется.



Технические описания указывают ограничения для проверки.

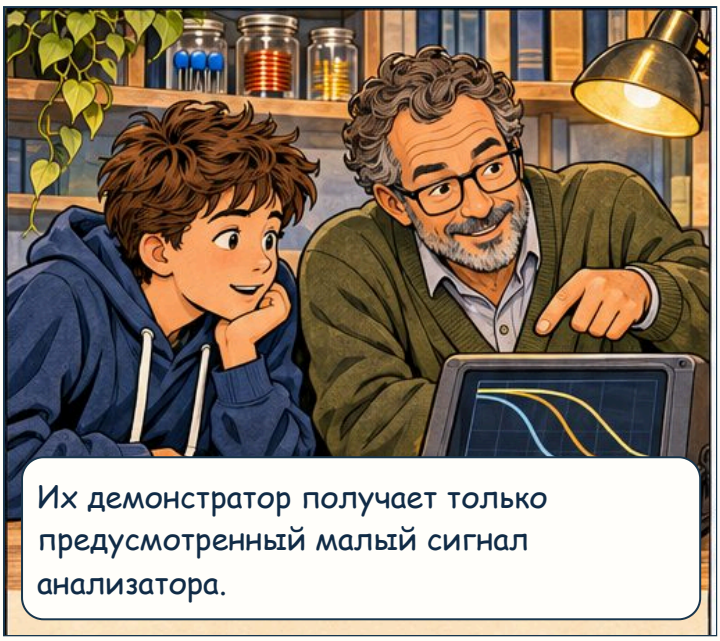


Одного значения в пикофарадах или микрогенри недостаточно.

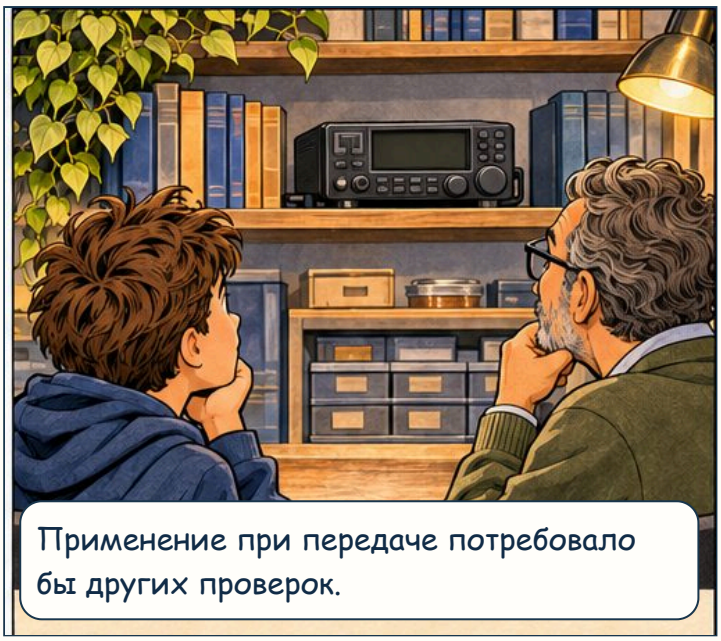


Юноша учится читать дальше первой строки.

Стенд не аттестует передатчик



Их демонстратор получает только предусмотренный малый сигнал анализатора.



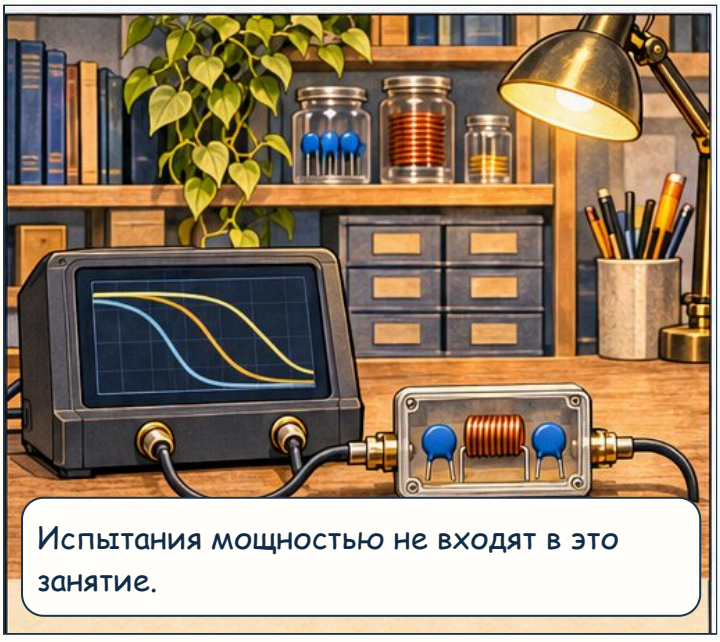
Применение при передаче потребовало бы других проверок.



Нужно было бы изучить напряжения, токи, нагрев и допустимую мощность.



Допустимое напряжение конденсатора не аттестует весь фильтр.



Испытания мощностью не входят в это занятие.



Юноша ясно записывает ограничения своего устройства.

Спланировать монтаж

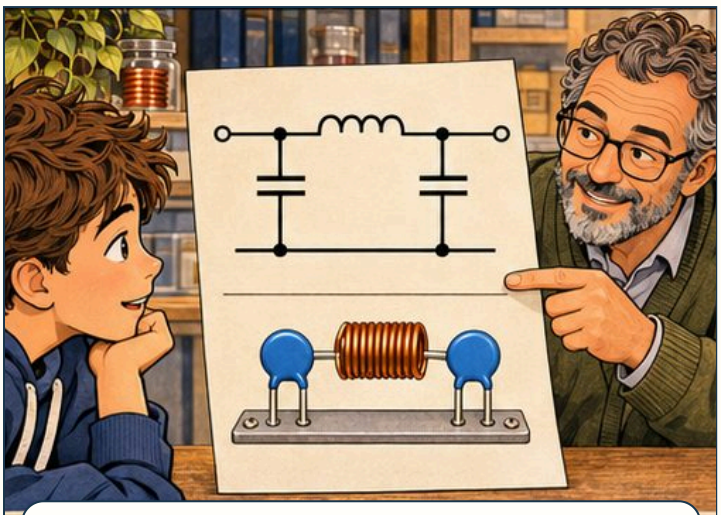
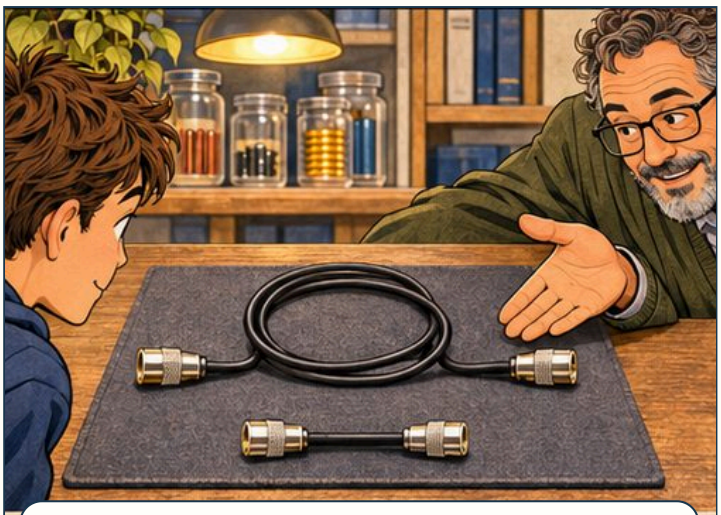
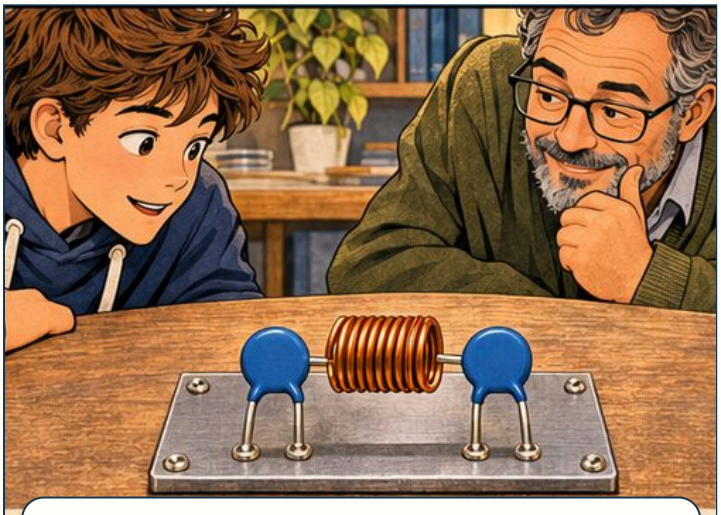


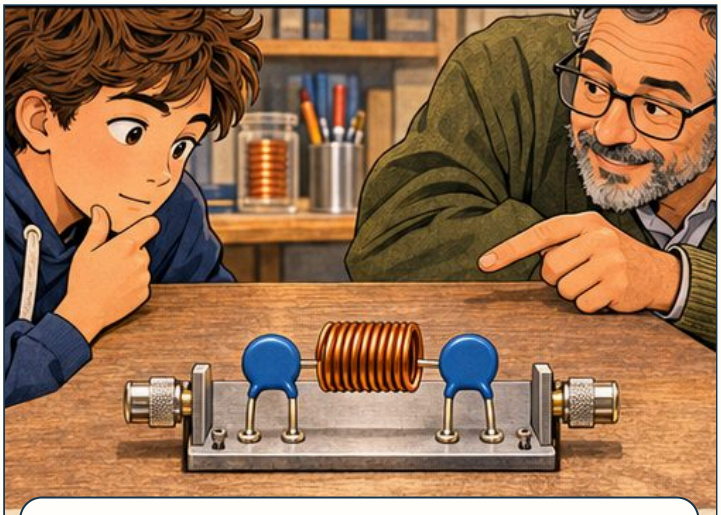
Схема показывает соединения, но не всю их геометрию.



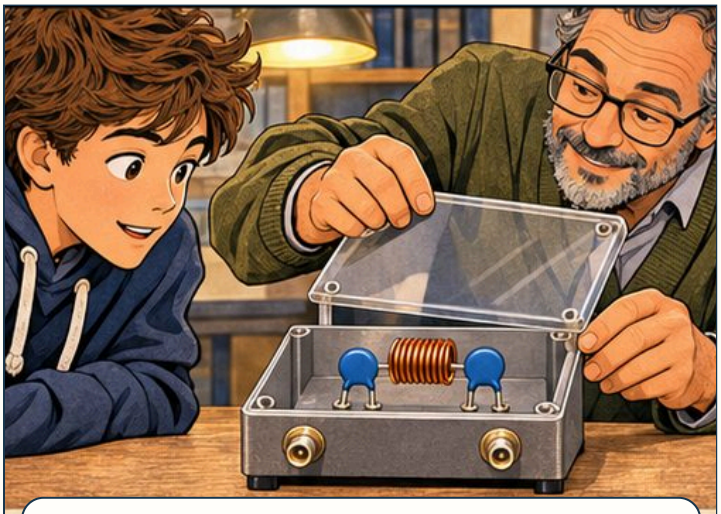
На этих частотах важны длины соединений и расположение.



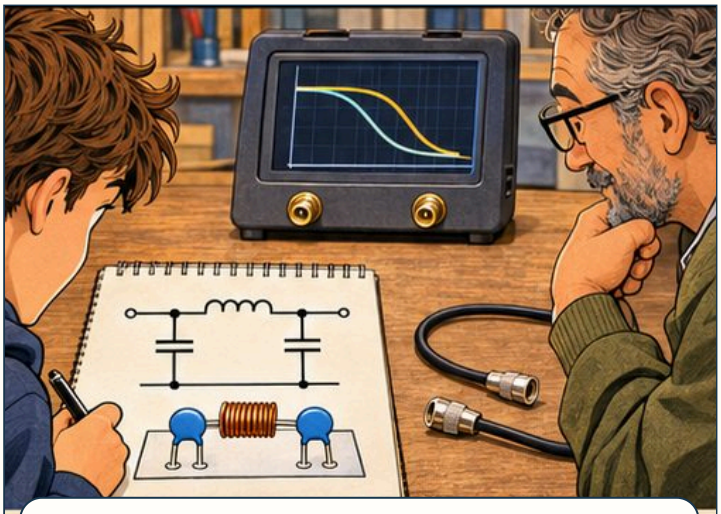
Они предусматривают общий провод и короткие соединения.



Пути, способные непосредственно связываться между собой, также разносят.



Henri готовит демонстратор, подходящий для измерений.

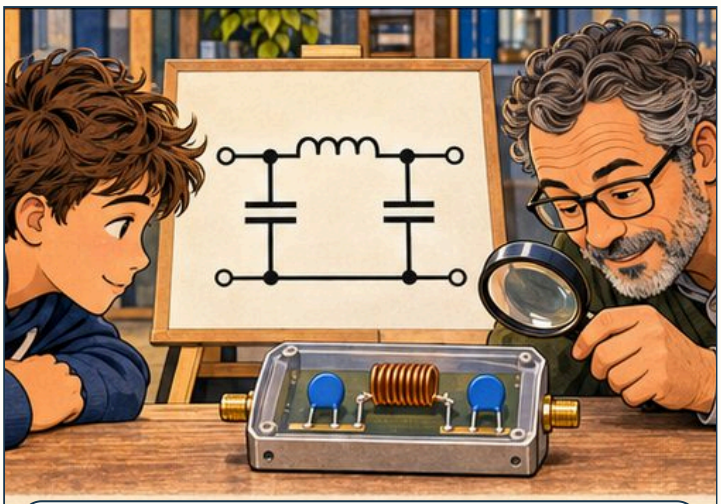


Lucas сравнивает монтаж со схемой, соединение за соединением.

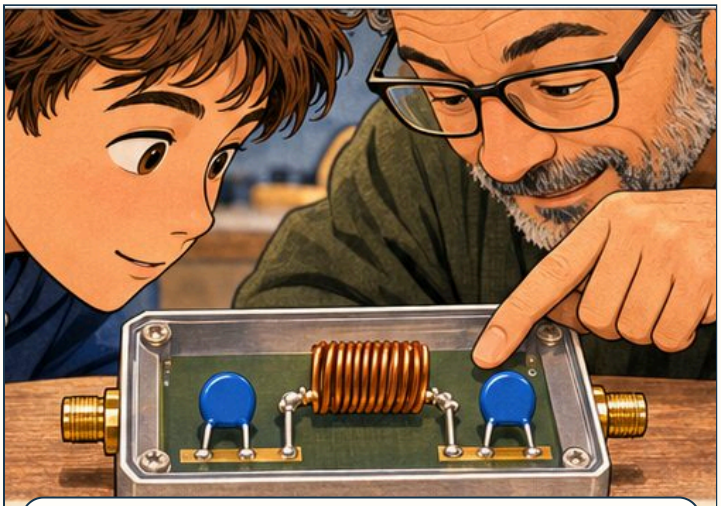
Проверить перед подключением



Измерительный источник остаётся выключенным во время подготовки.



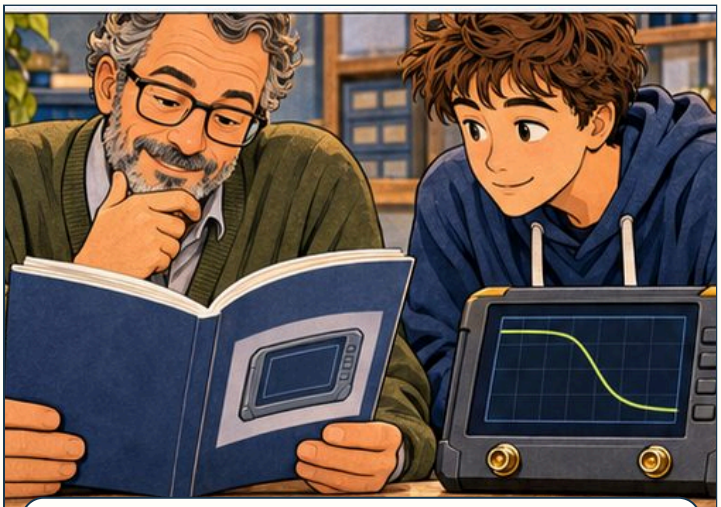
Они проверяют соединения, компоненты и общий провод.



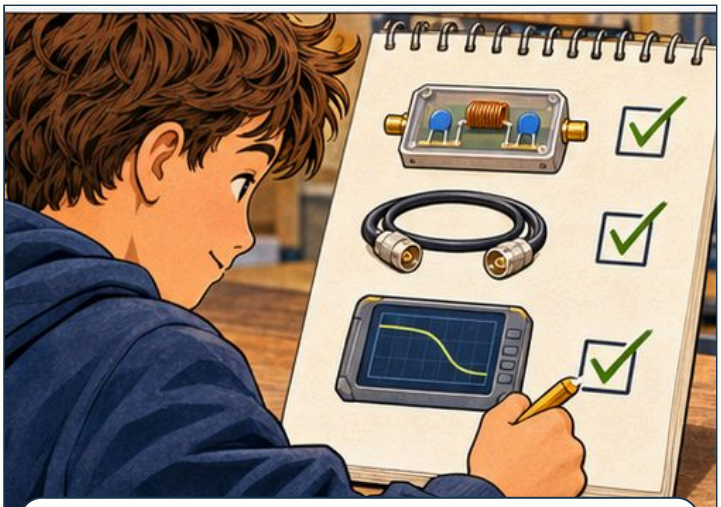
Ищут короткие замыкания, ошибки монтажа и повреждённые детали.



Затем осматривают разъёмы и кабели.



Наставник проверяет входные ограничения прибора.

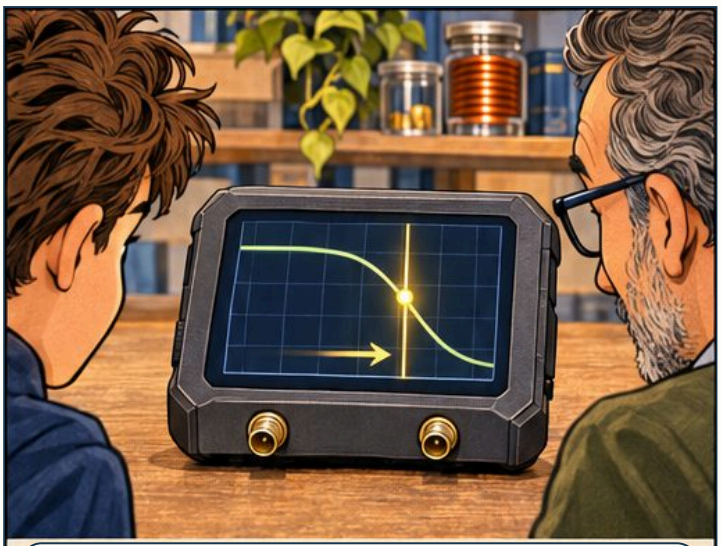


Юноша заканчивает список перед первым сканированием.

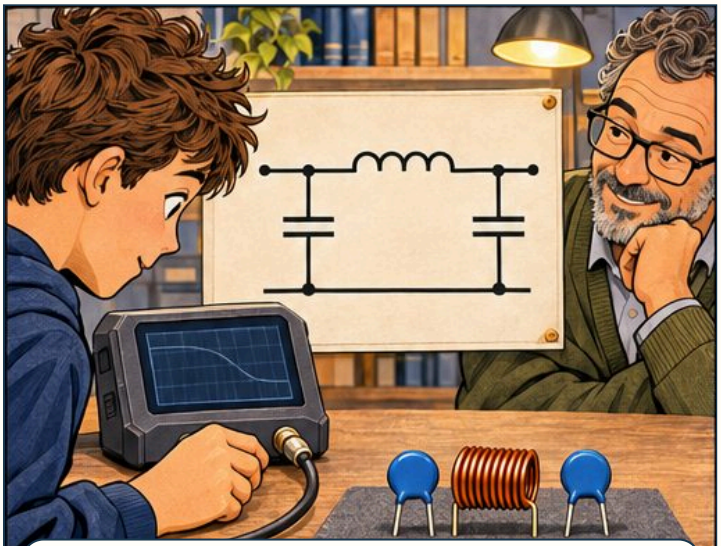
Анализатор задаёт вопросы



Анализатор цепей посылает известный малый сигнал.



Он сканирует выбранный диапазон частот.



Порт 1 подаёт сигнал на вход фильтра.



Порт 2 наблюдает передачу на выходе.



Параметр S21 позволяет отслеживать эту передачу.

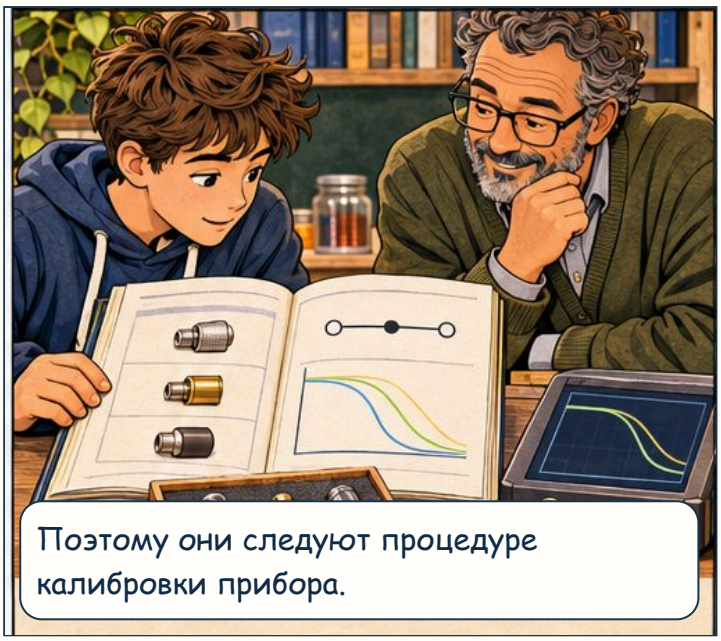


Порты обеспечивают заданные опорные импедансы 50 Ω.

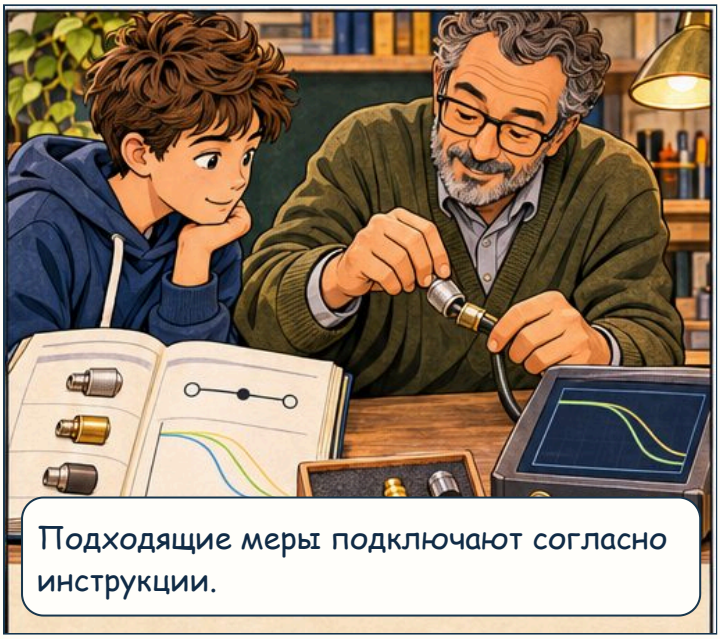
Калибровать в нужном месте



Кабели и переходники участвуют в измерении.



Поэтому они следуют процедуре калибровки прибора.



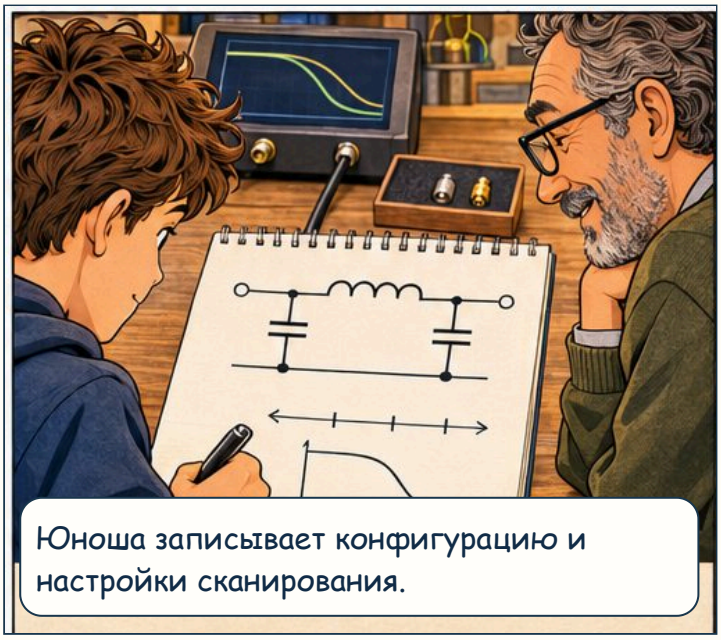
Подходящие меры подключают согласно инструкции.



Опорные плоскости располагают на концах кабелей.



После калибровки эти соединения по возможности сохраняют.



Юноша записывает конфигурацию и настройки сканирования.

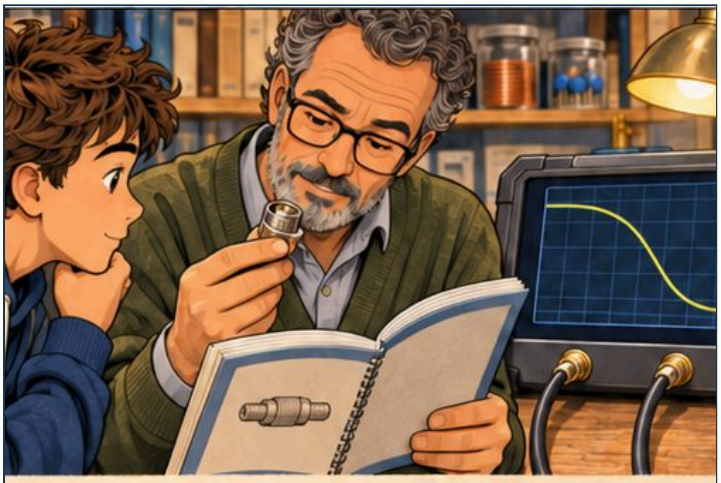
Проверить прямой путь



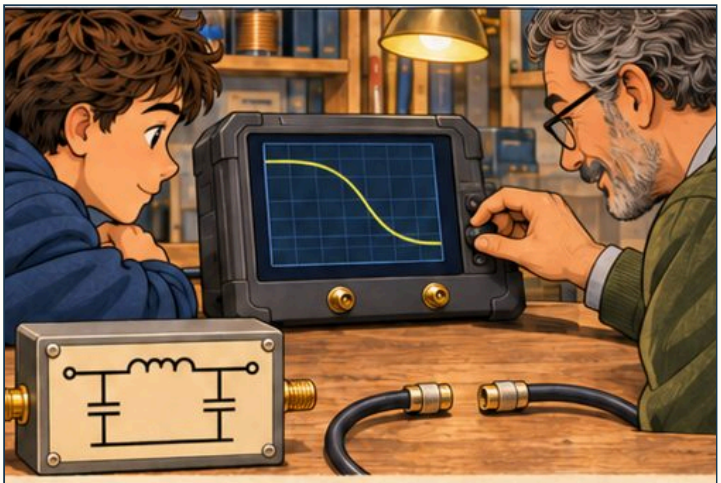
До фильтра прямое соединение позволяет проверить опорный результат.



Ожидаемая передача должна соответствовать этому соединению.



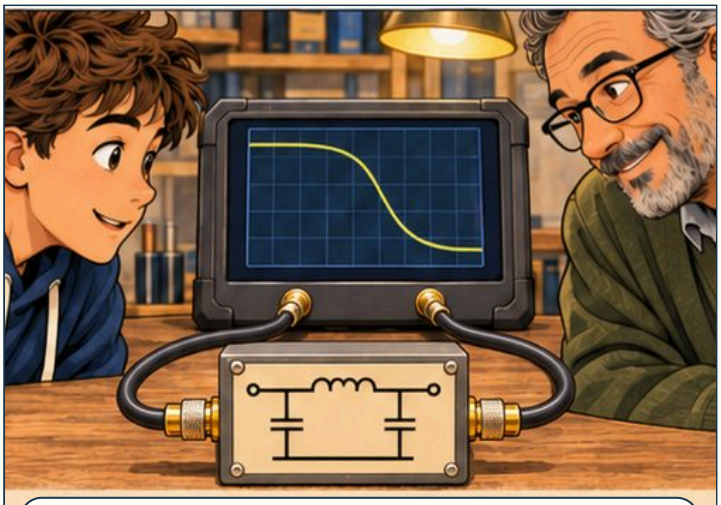
Аномалия требует проверки кабелей, калибровки и настроек.



Нельзя менять фильтр, чтобы скрыть неисправность стенда.



Закончив проверку, источник останавливают для подключения.

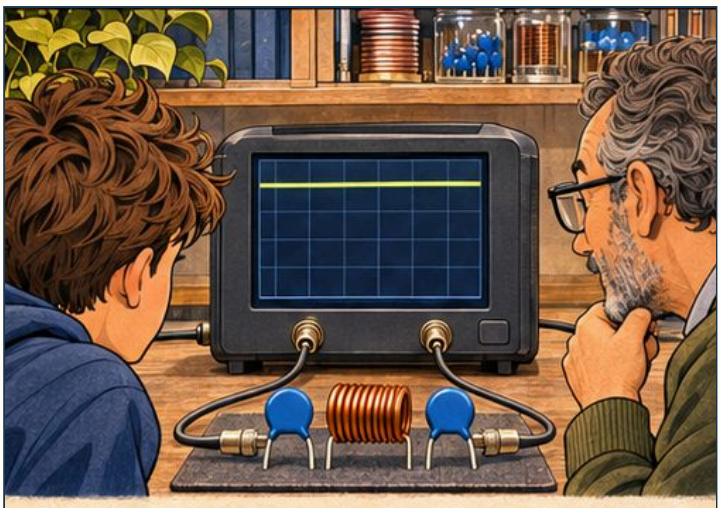


Затем фильтр занимает место между двумя кабелями.

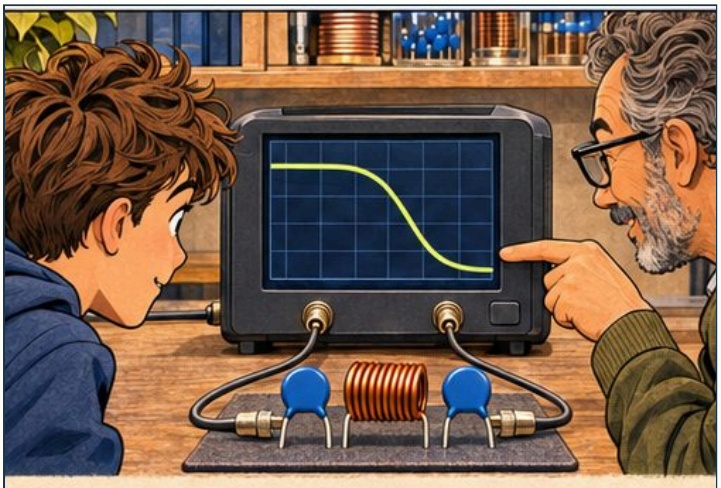
Первое сканирование



Они запускают сканирование полезной полосы и переходной области.



На низких частотах кривая остаётся выше.



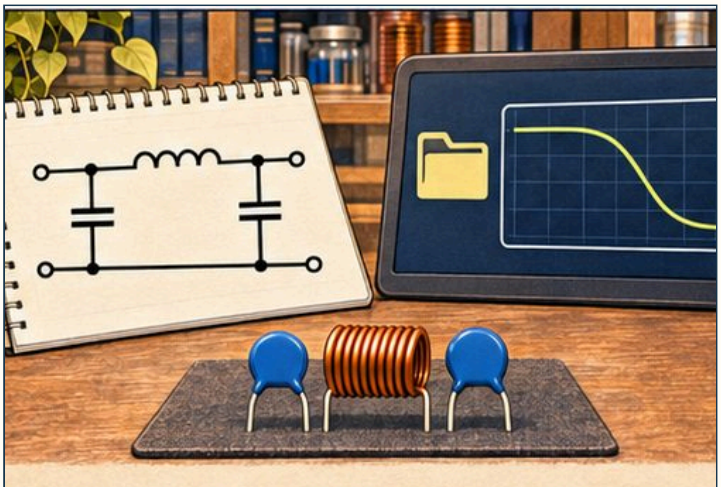
Затем опускается с ростом частоты.



Юноша узнаёт ожидаемую форму, не предполагая полного совпадения.

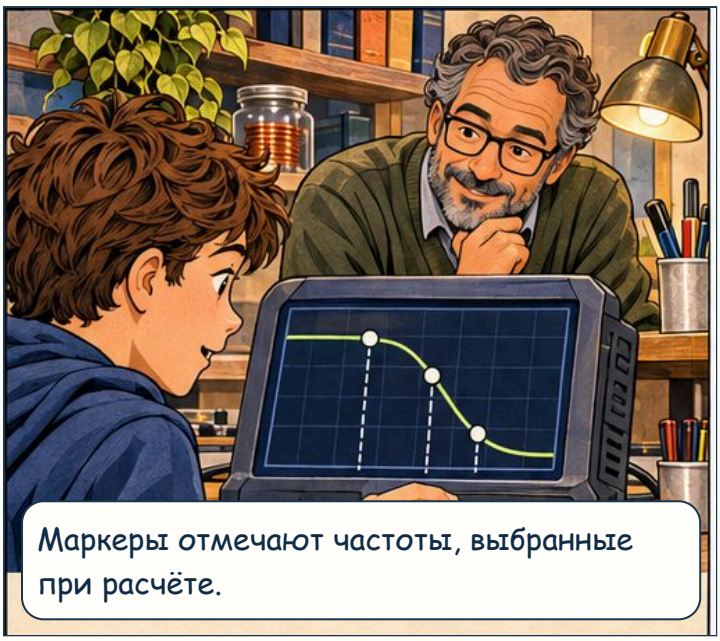


Он сохраняет кривую и условия измерения.



Сохранённый результат позволит сравнивать после каждого изменения.

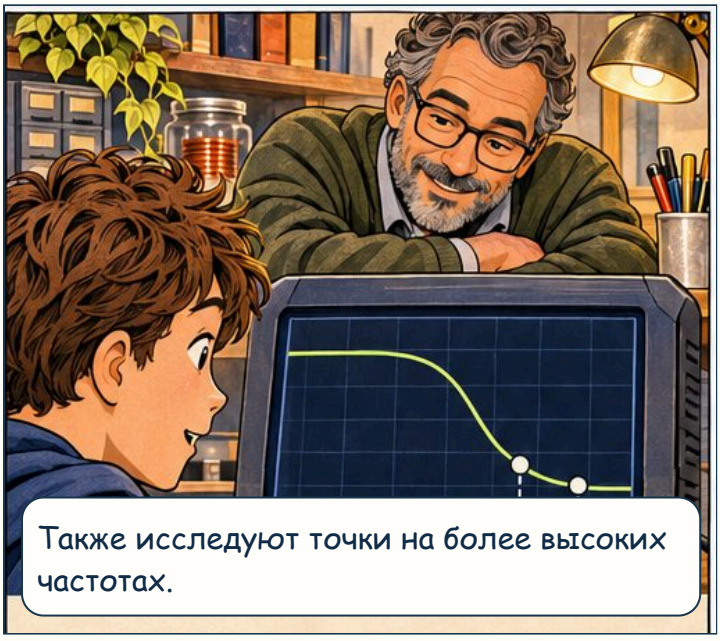
Считать точные точки



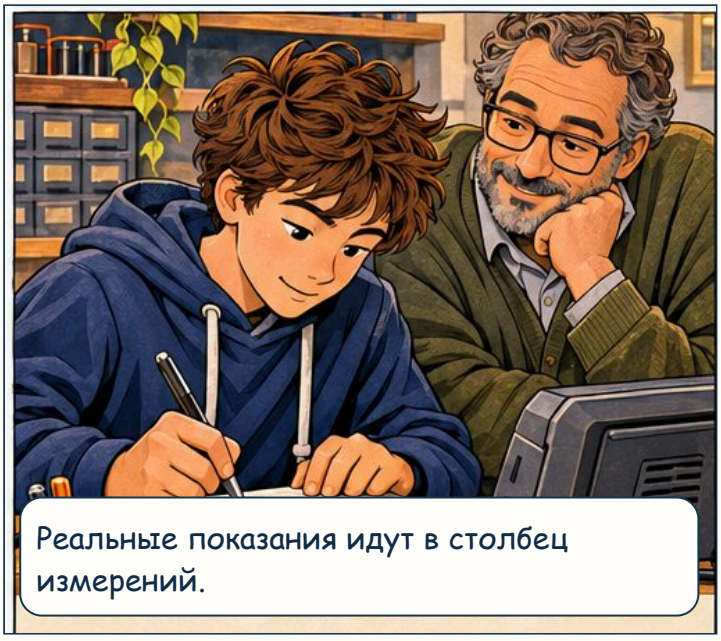
Маркеры отмечают частоты, выбранные при расчёте.



Они считывают передачу около ожидаемой частоты среза.



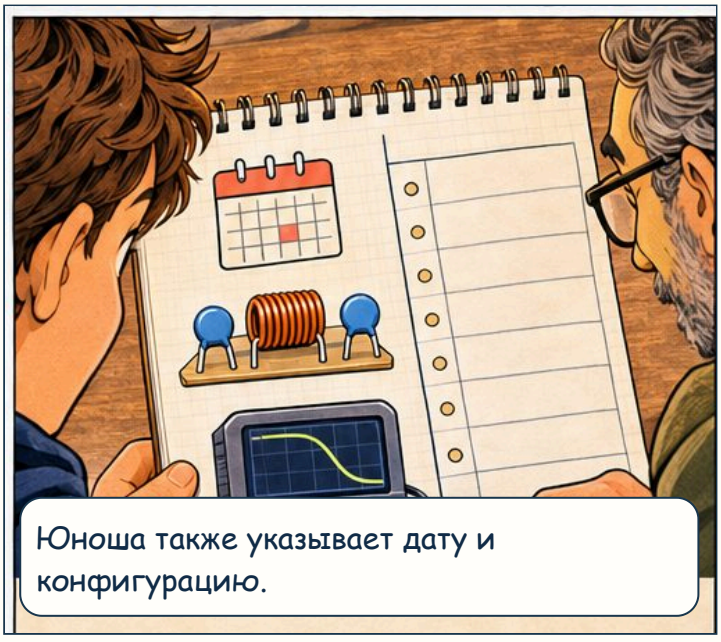
Также исследуют точки на более высоких частотах.



Реальные показания идут в столбец измерений.

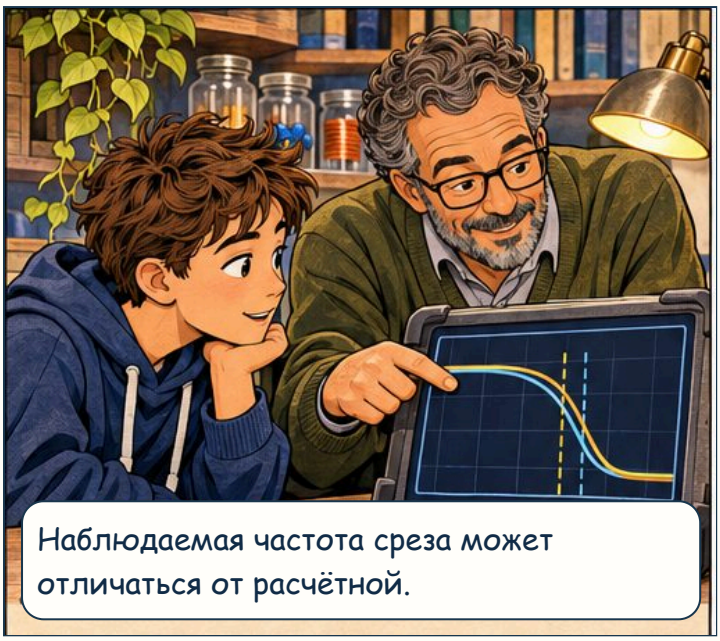


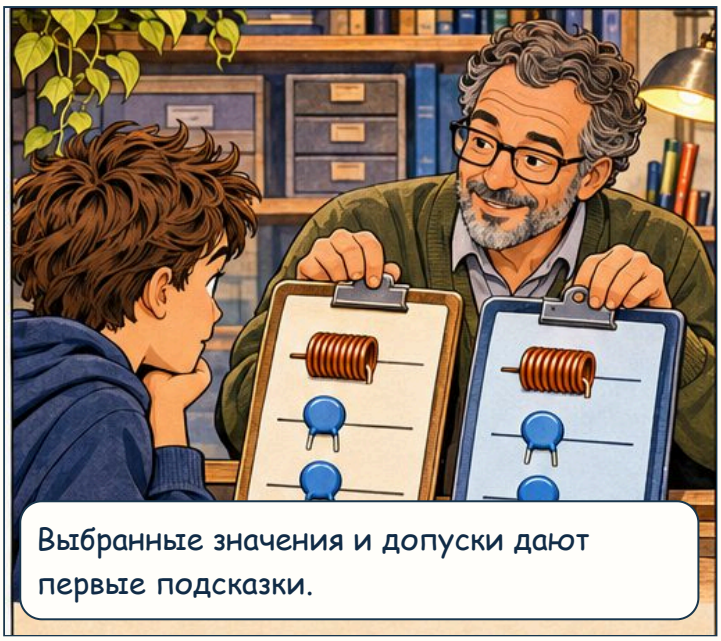
Они сохраняют показание, даже если оно отличается от прогноза.

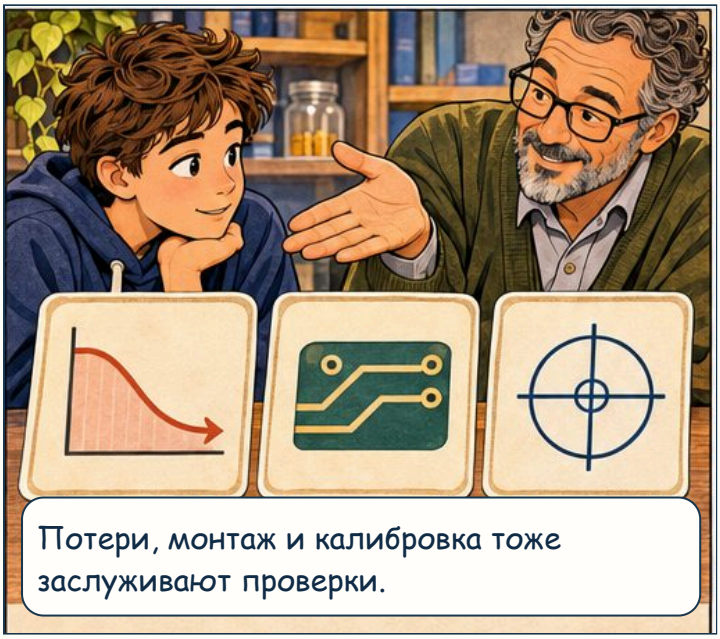


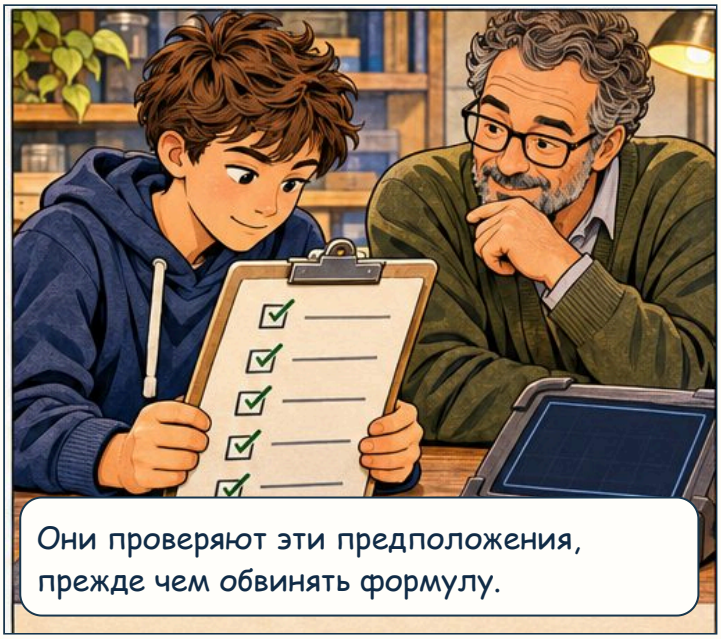
Юноша также указывает дату и конфигурацию.

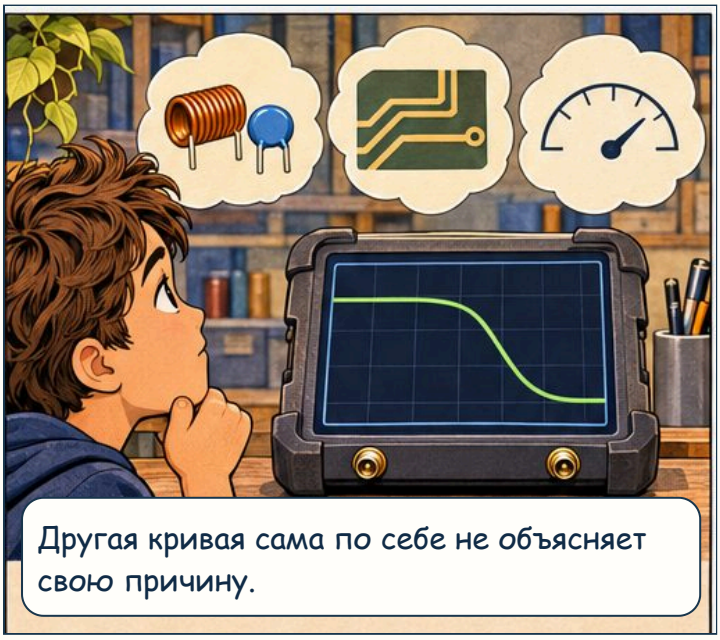
Понять отклонение

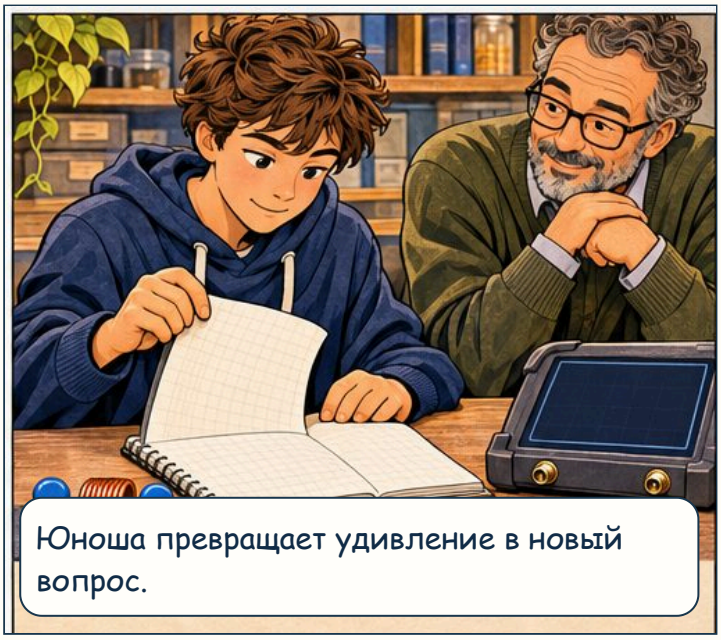




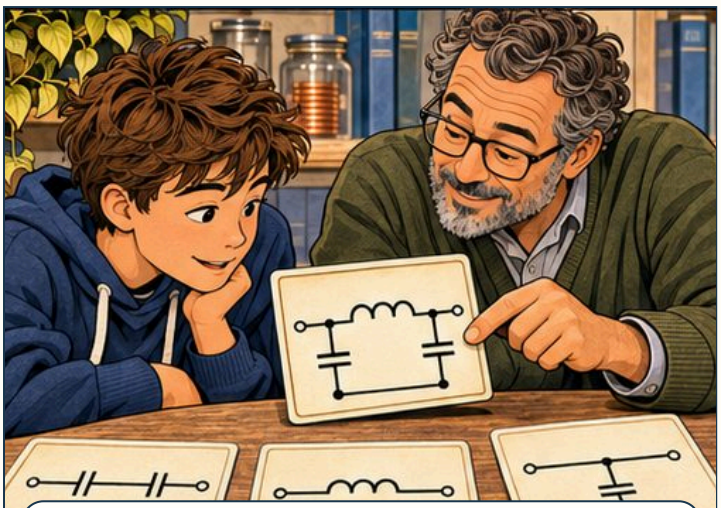




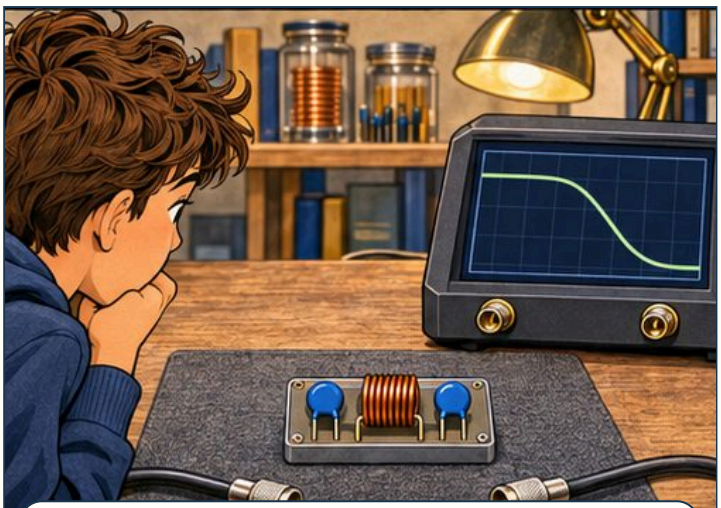




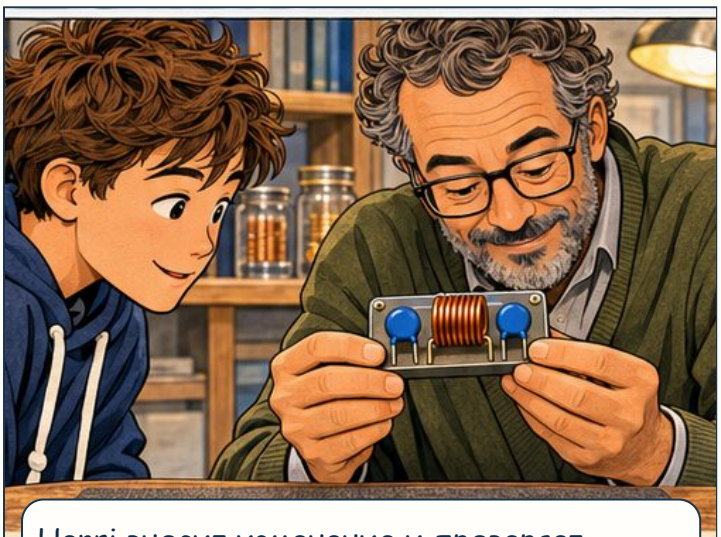
Одно изменение за раз



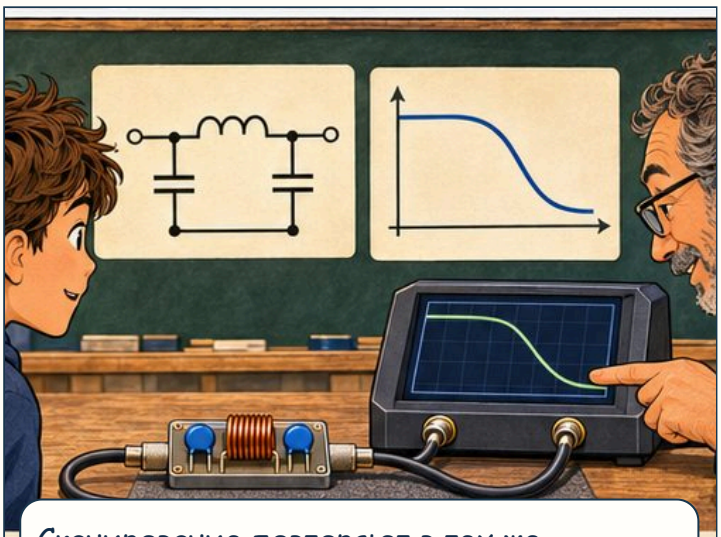
Они выбирают одну гипотезу и готовят обоснованное изменение.



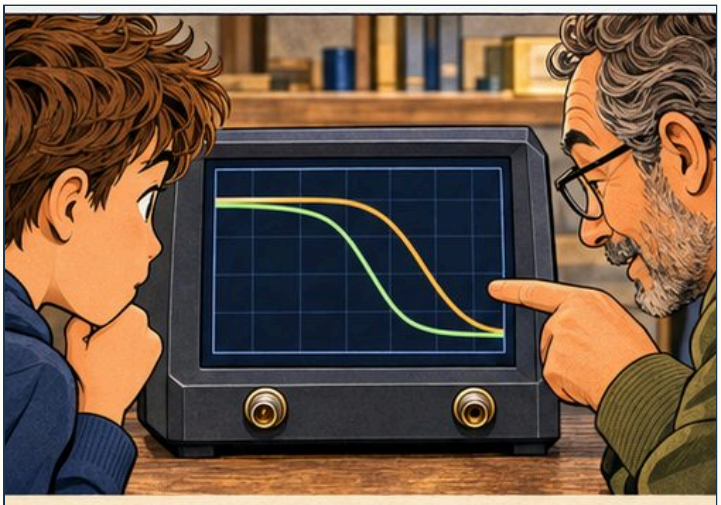
Перед работой источник останавливают, а модуль отключают.



Henri вносит изменение и проверяет схему.



Сканирование повторяют в тех же задокументированных условиях.

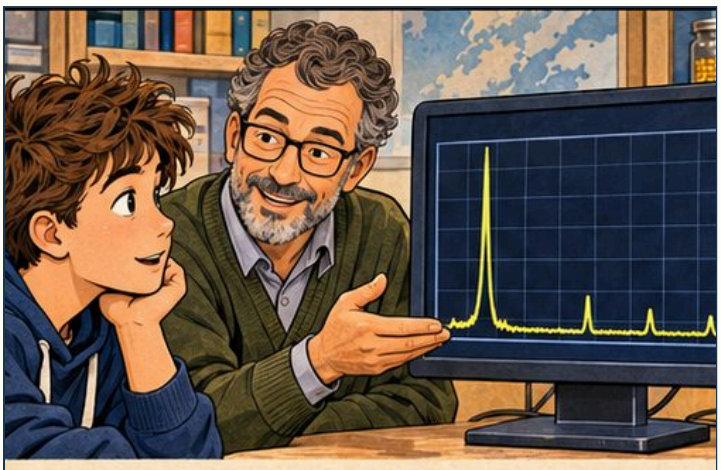


Они сравнивают старую и новую кривые.

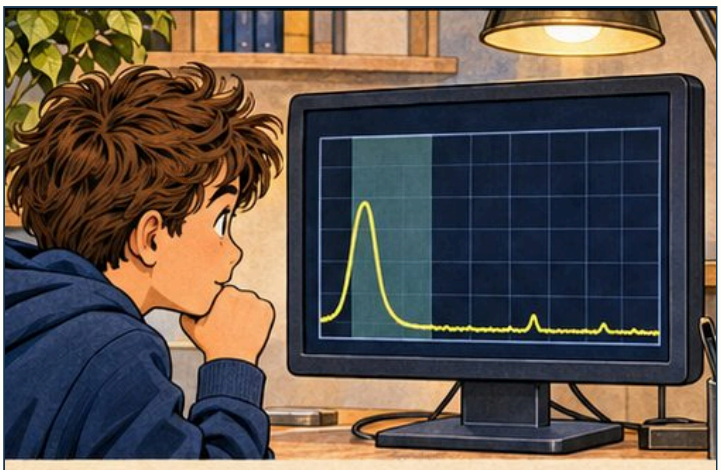


Метод не позволяет смешать несколько возможных причин.

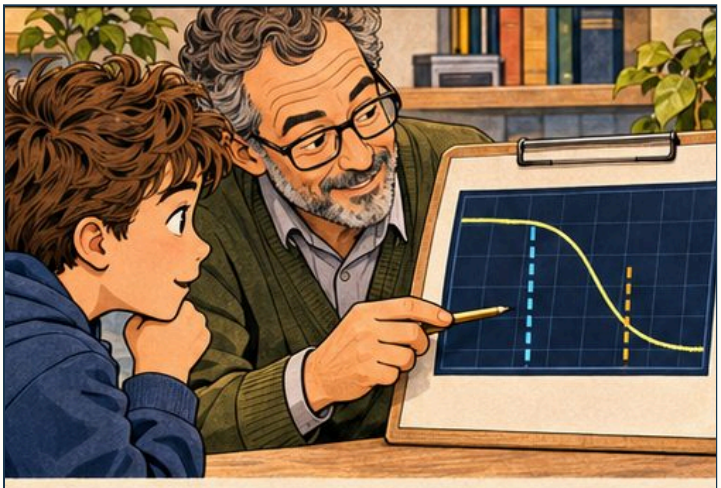
У ослабления есть пределы



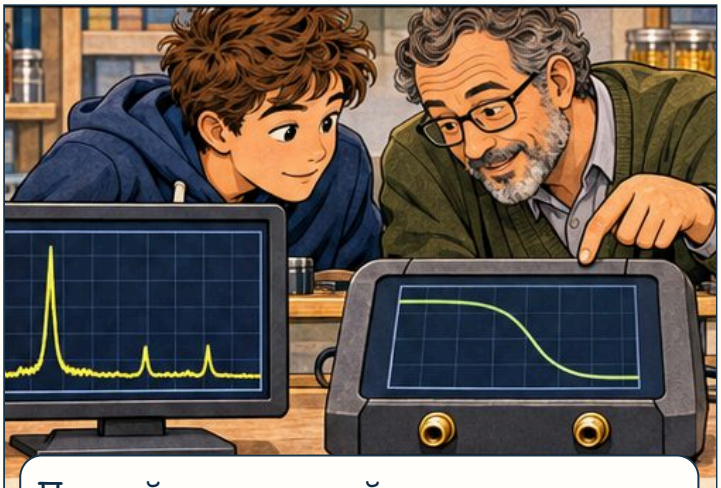
Фильтр нижних частот не удаляет все нежелательные составляющие.



Составляющая внутри полосы пропускания ослабляется мало.



Подавление зависит от частоты и реализации.



Полный спектральный контроль потребовал бы дополнительных подходящих измерений.

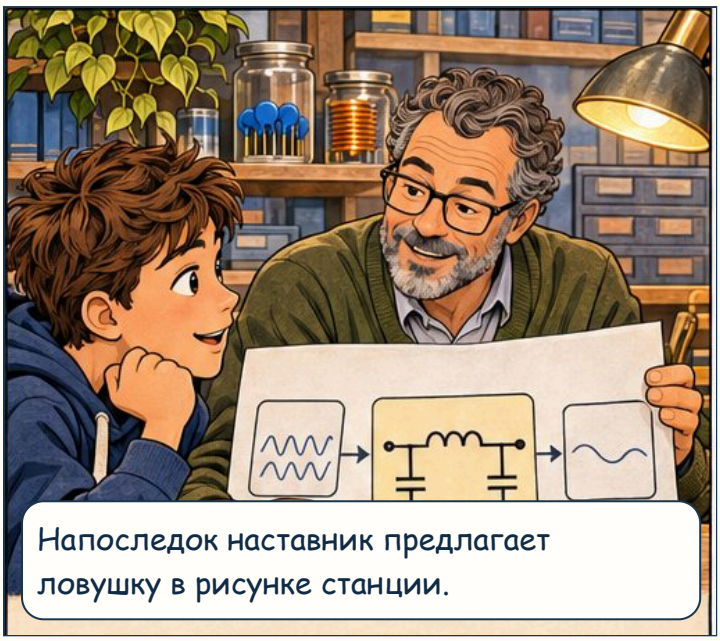


Наличие фильтра не доказывает соответствие станции требованиям.

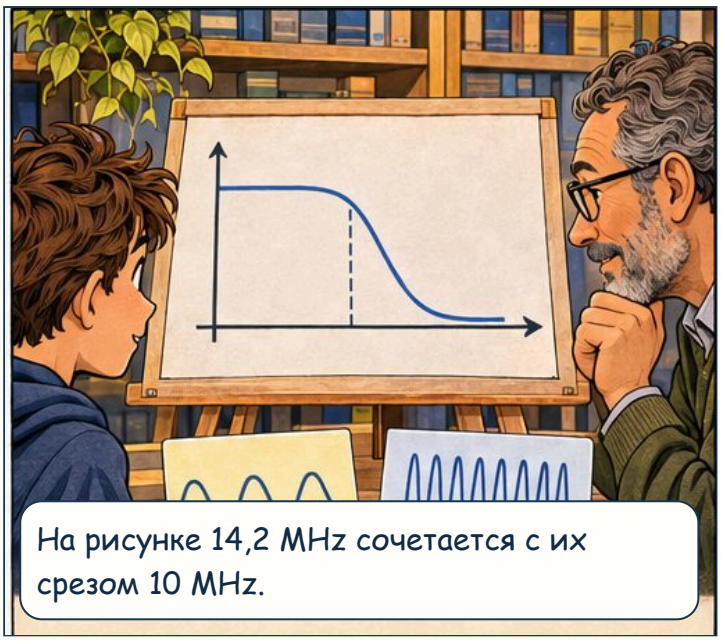


Юноша отличает полезную функцию от общей гарантии.

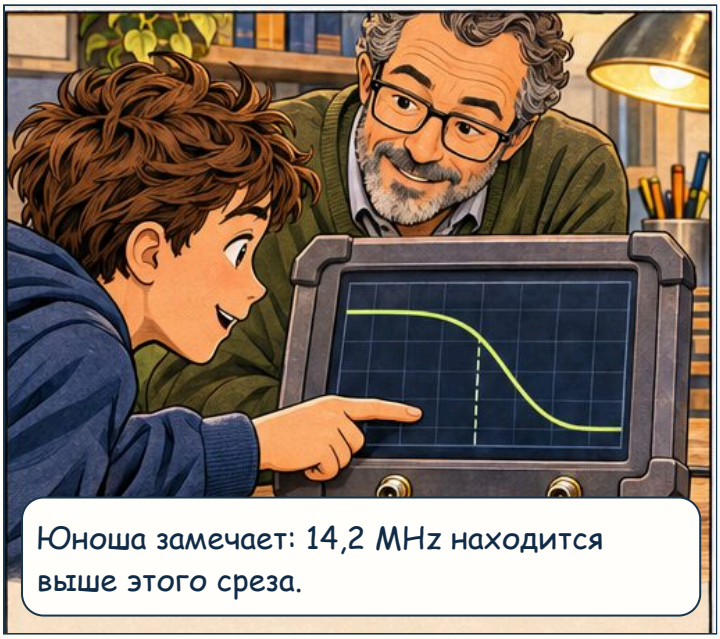
Полезная частота должна пройти



Напоследок наставник предлагает ловушку в рисунке станции.



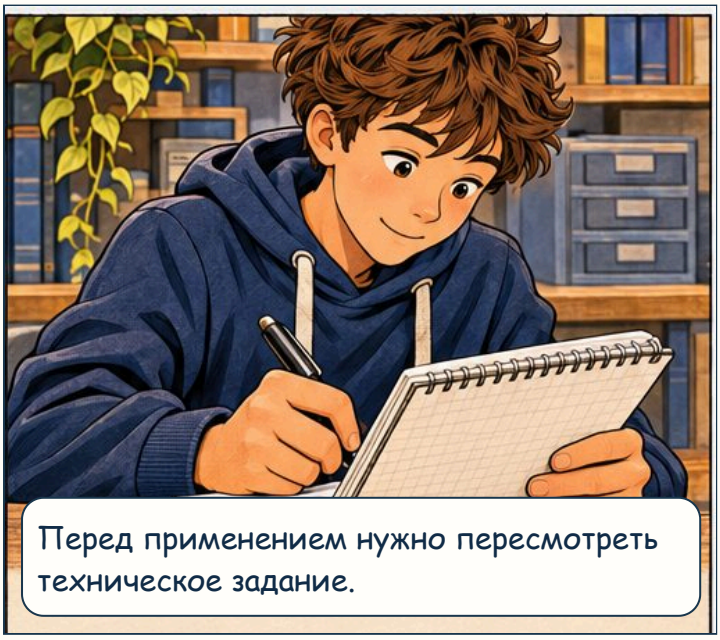
На рисунке 14,2 MHz сочетается с их срезом 10 MHz.



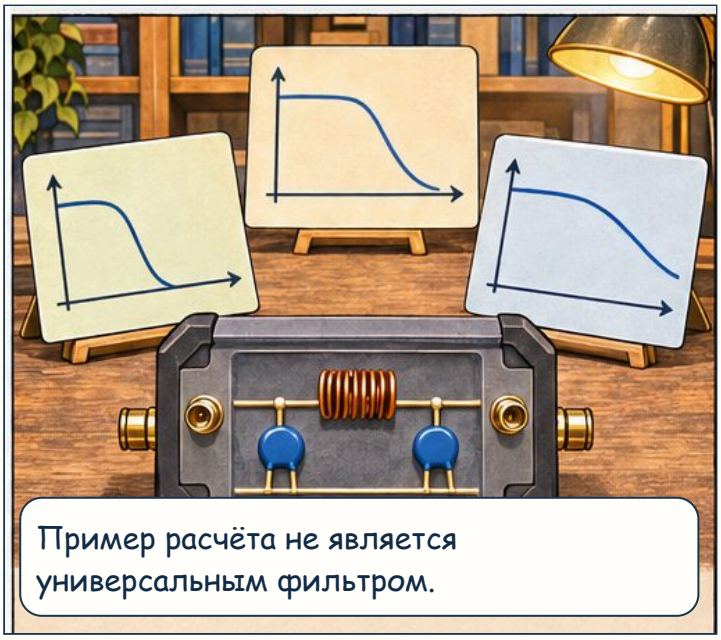
Юноша замечает: 14,2 MHz находится выше этого среза.



Такой выбор ослабил бы и нужный сигнал.

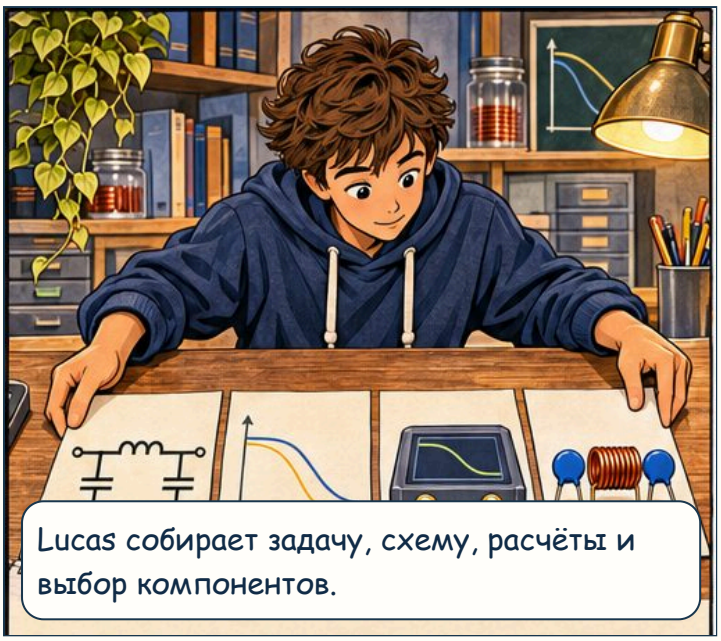


Перед применением нужно пересмотреть техническое задание.

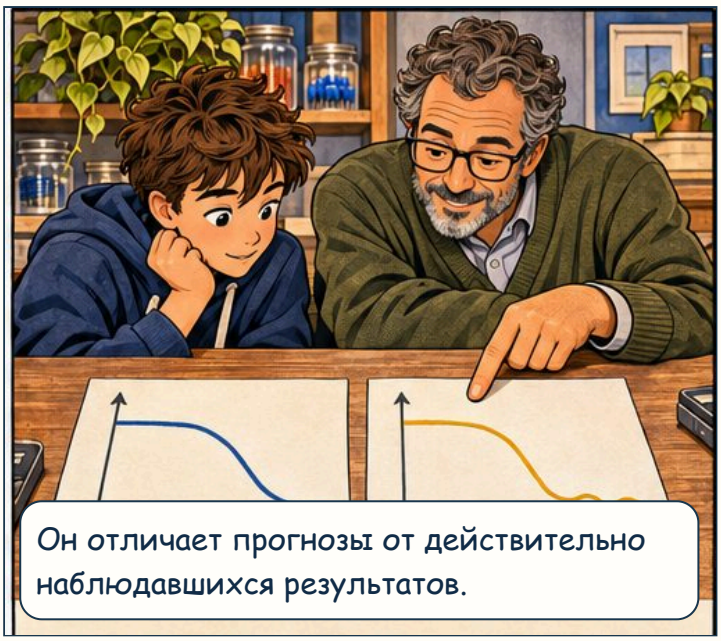


Пример расчёта не является универсальным фильтром.

Подготовить объяснение для других



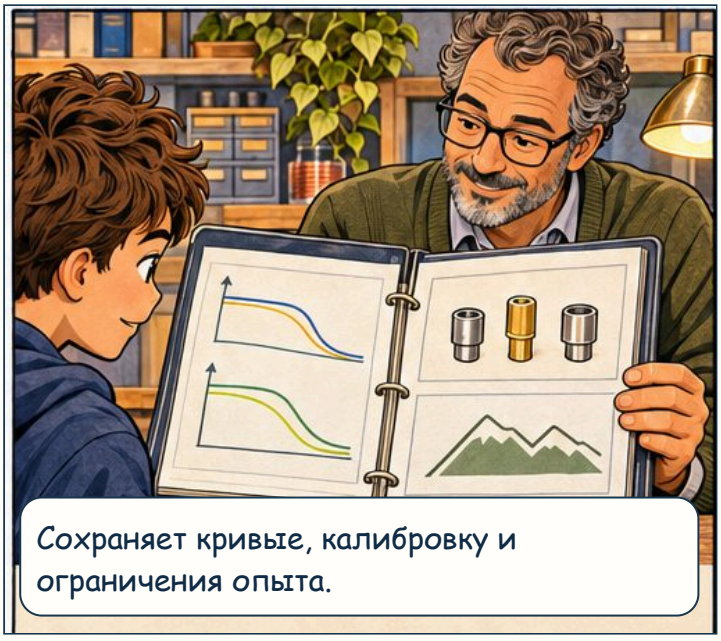
Lucas собирает задачу, схему, расчёты и выбор компонентов.



Он отличает прогнозы от действительно наблюдавшихся результатов.



Указывает опорные 50 Ω и использованный малый сигнал.



Сохраняет кривые, калибровку и ограничения опыта.



Henri изображает посетителя и задаёт последний вопрос.



Теперь юноша может объяснить важность каждого условия.

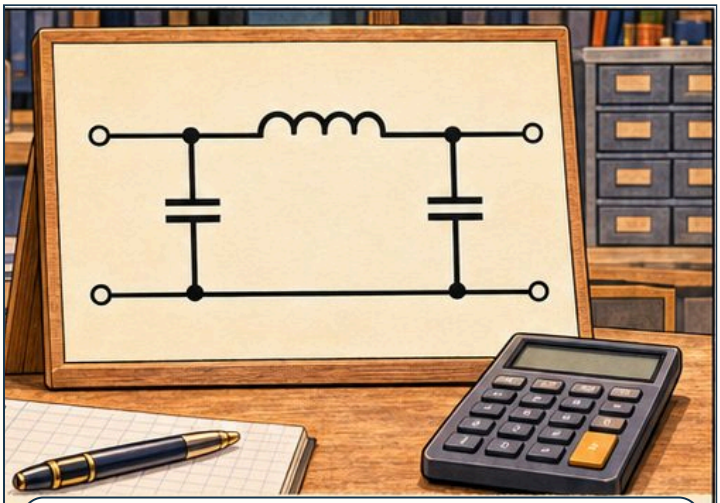
Понять, рассчитать, измерить



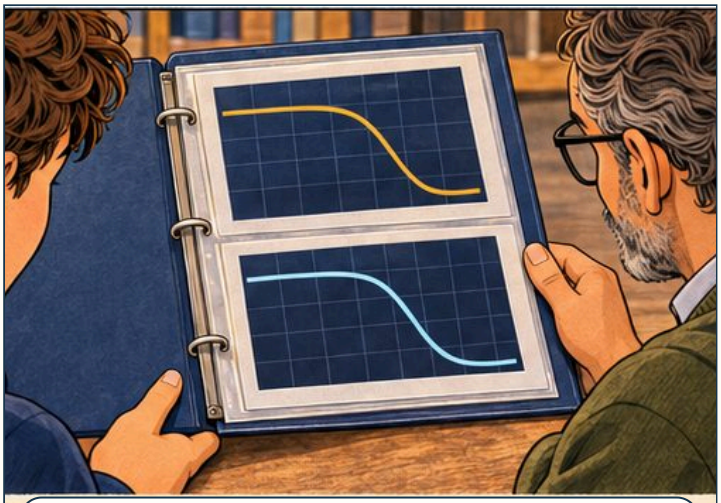
Три компонента возвращаются в учебную коробку.



Юноша теперь связывает потребность с характеристикой фильтра.



Он умеет рассчитать этот π-фильтр Баттерворта и проверить единицы.



Также умеет измерять, сравнивать и исследовать отклонения.



Блокнот хранит метод с предположениями и ограничениями.



В клубе следующее открытие уже начинается с вопроса.