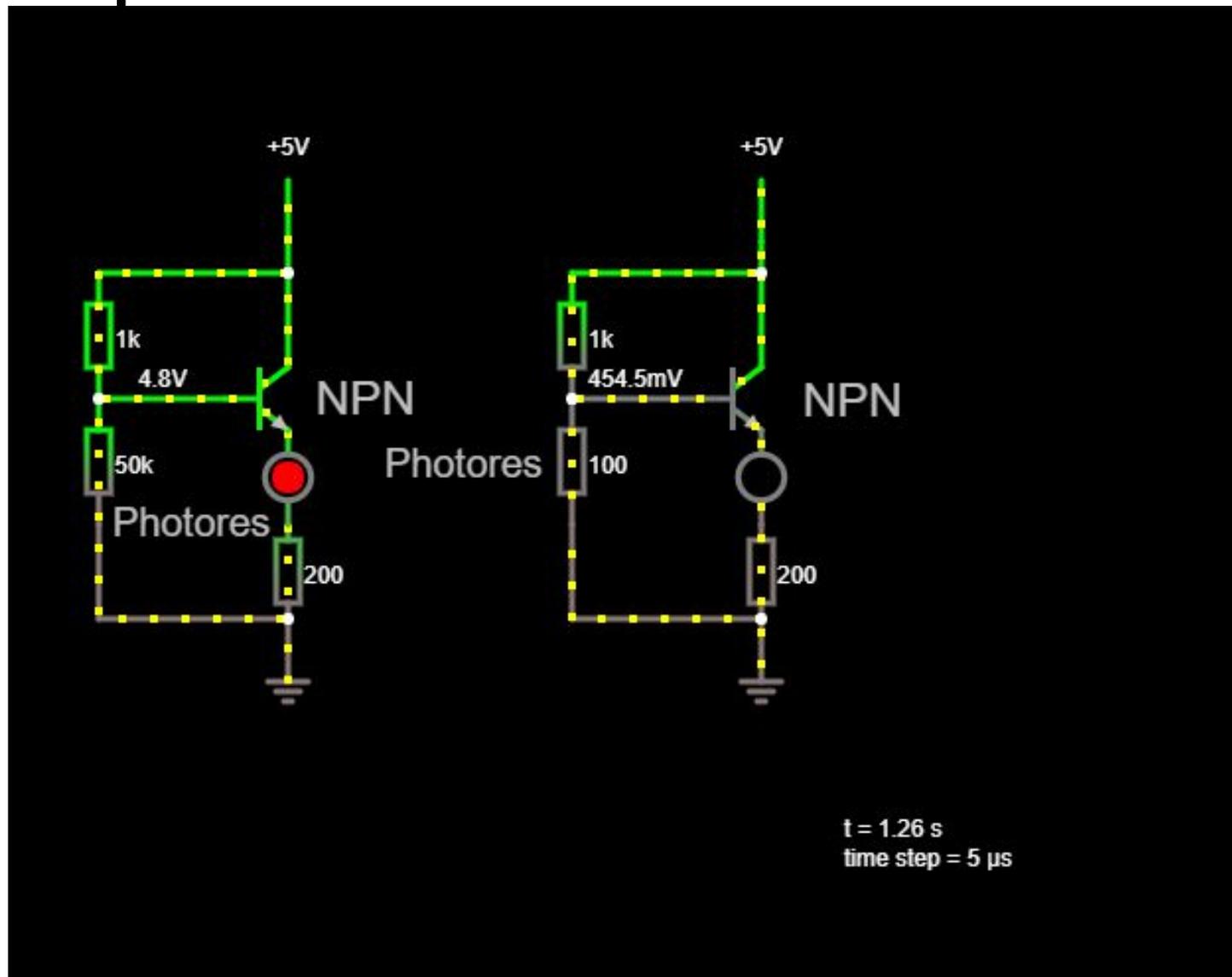


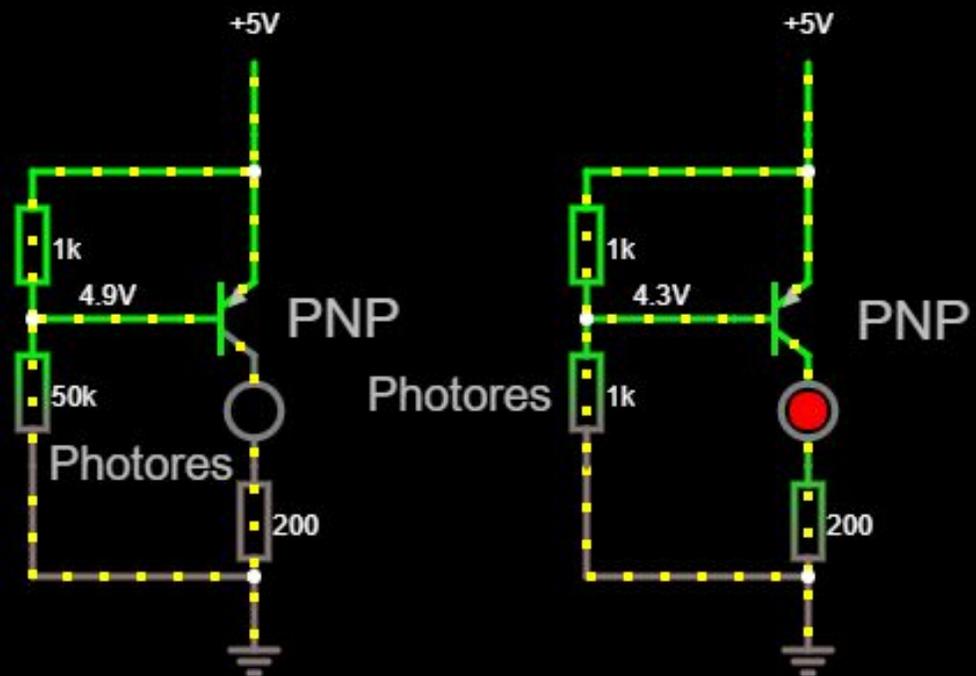
Лекция 2.

Сопротивление и пассивные фильтры

Разбор практического занятия



Разбор практического занятия



t = 3.31 s
time step = 5 μ s

Сегодня

1. Сопротивление;
2. Делители напряжения;
3. Динамическое сопротивление;
4. Сигналы;
5. RC-схема;
6. Полное и реактивное сопротивление;
7. Делители напряжения переменного тока;
8. RC-фильтр;
9. LC-фильтр.
10. Классические фильтры;
11. Операционные усилители.

Сопротивление

- $I = \frac{U}{R}$
- $P = I * U$
- $P = I^2 * R$



R1

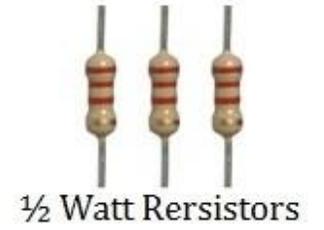


R2

Мощность и размеры сопротивлений

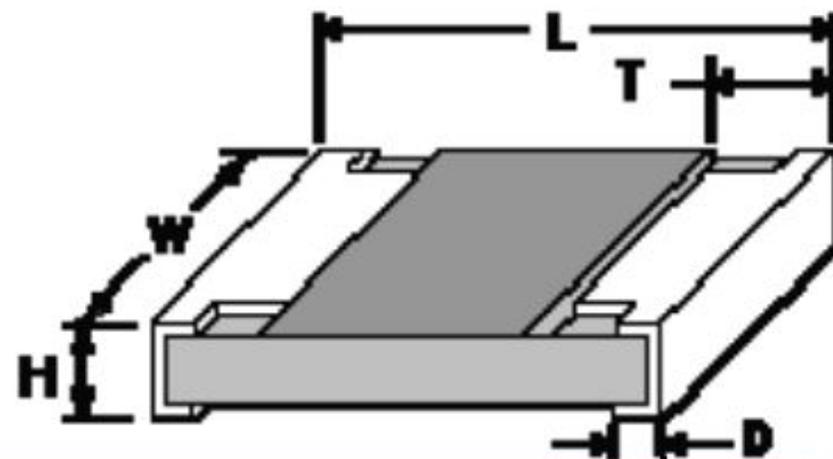
Table 1: Typical Power Ratings

JDI Size	EIA Size	Rated Power, Watts
R07	0402	.005 W
R14	0603	.02 W
R15	0805	.04 W
R18	1206	.08 W
S41	1210	0.2 W
S43	1812	0.4 W
H42	1515	0.4 W
H47	2520	0.9 W
H51	3530	1.5 W
H62	4540	2.1 W
H66	5550	2.8 W
H70	6560	3.8 W



Основные размеры SMD - компонентов

Резисторы

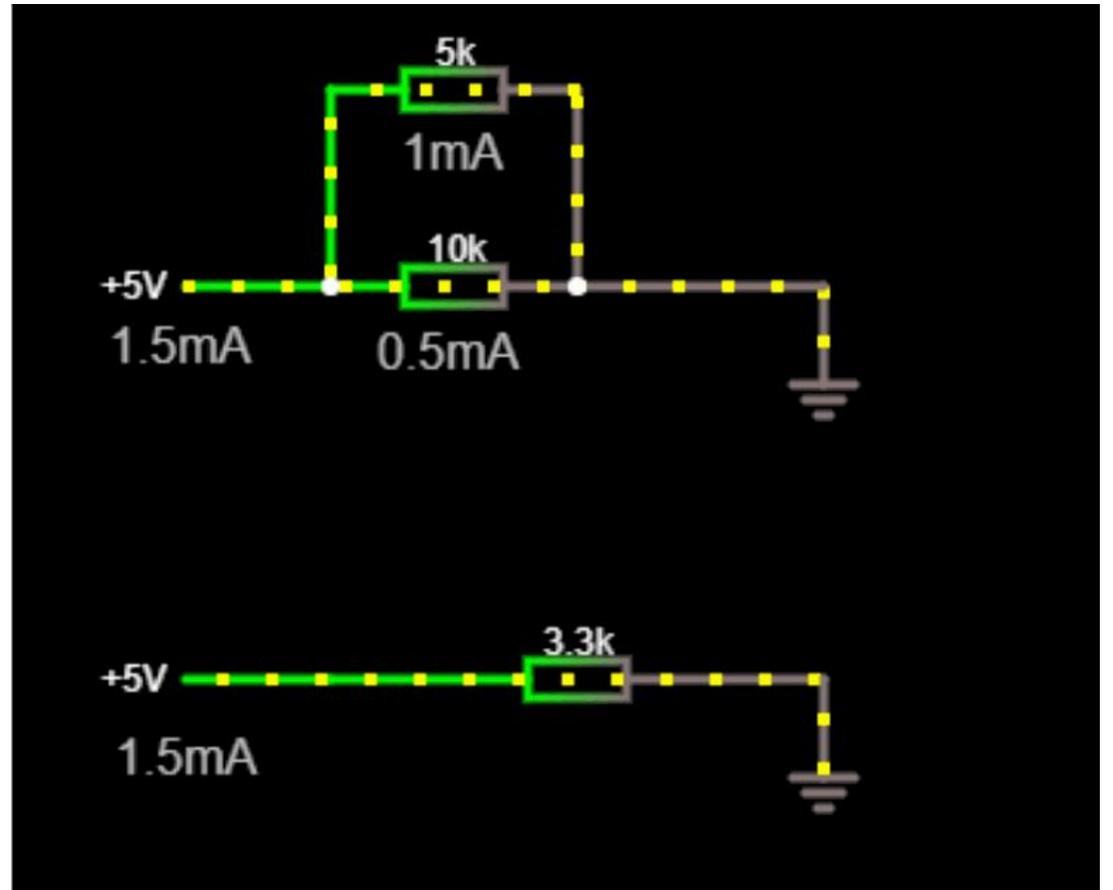
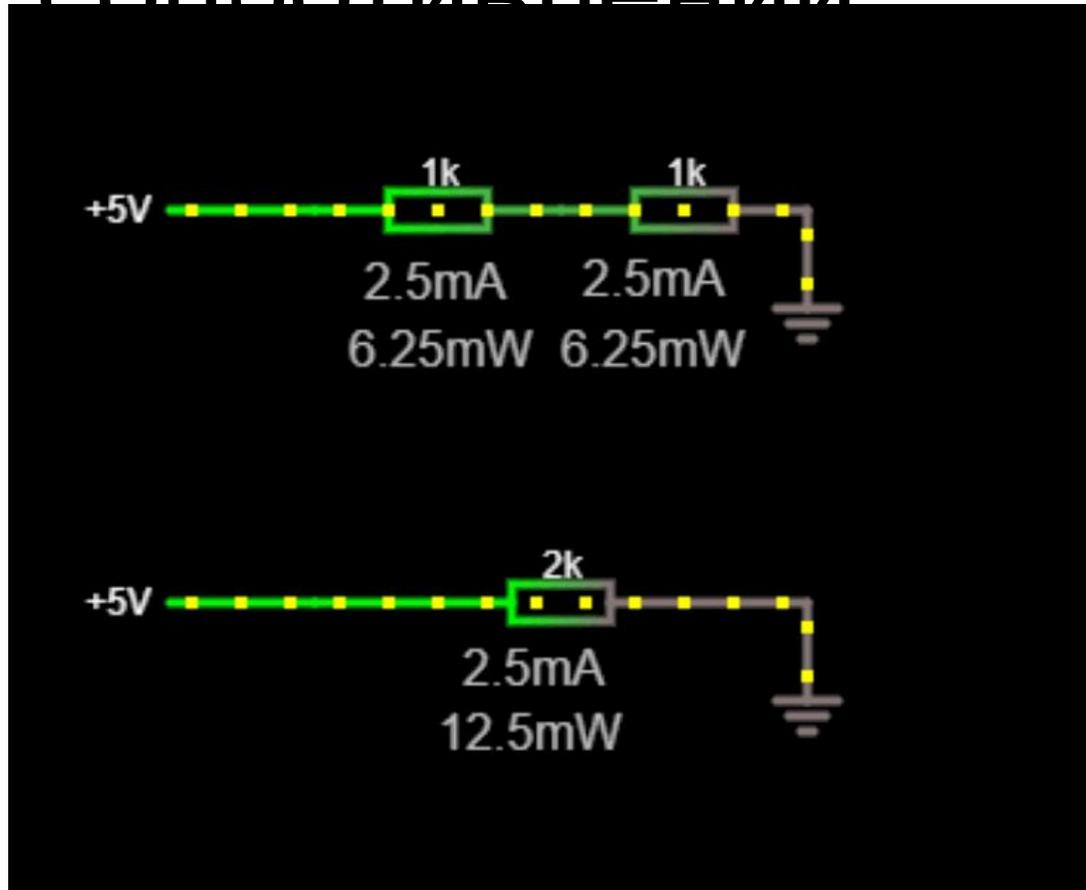


Типоразмер EIA	Типоразмер метрический	L (mm)	W (mm)	H (mm)	D (mm)	T (mm)
0402	1005	1.0 ± 0.1	0.5 ± 0.05	0.35 ± 0.05	0.25 ± 0.1	0.2 ± 0.1
0603	1608	1.6 ± 0.1	0.85 ± 0.1	0.45 ± 0.05	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.2
0805	2012	2.1 ± 0.1	1.3 ± 0.1	0.5 ± 0.05	0.4 ± 0.2	0.4 ± 0.2
1206	3216	3.1 ± 0.1	1.6 ± 0.1	0.55 ± 0.05	0.5 ± 0.25	0.5 ± 0.25
1210	3225	3.1 ± 0.1	2.6 ± 0.1	0.55 ± 0.05	0.4 ± 0.2	0.5 ± 0.25
2010	5025	5.0 ± 0.1	2.5 ± 0.1	0.55 ± 0.05	0.4 ± 0.2	0.6 ± 0.25
2512	6332	6.35 ± 0.1	3.2 ± 0.1	0.55 ± 0.05	0.4 ± 0.2	0.6 ± 0.25

Последовательное и параллельное соединение

- При последовательном – сопротивления складываются.
- При параллельном – складываются обратные сопротивления.
- $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$
- Проводимость – G - сименс $1/R$ (мо), $1/R=G_1+G_2$

Примеры последовательного и параллельного соединения сопротивлений



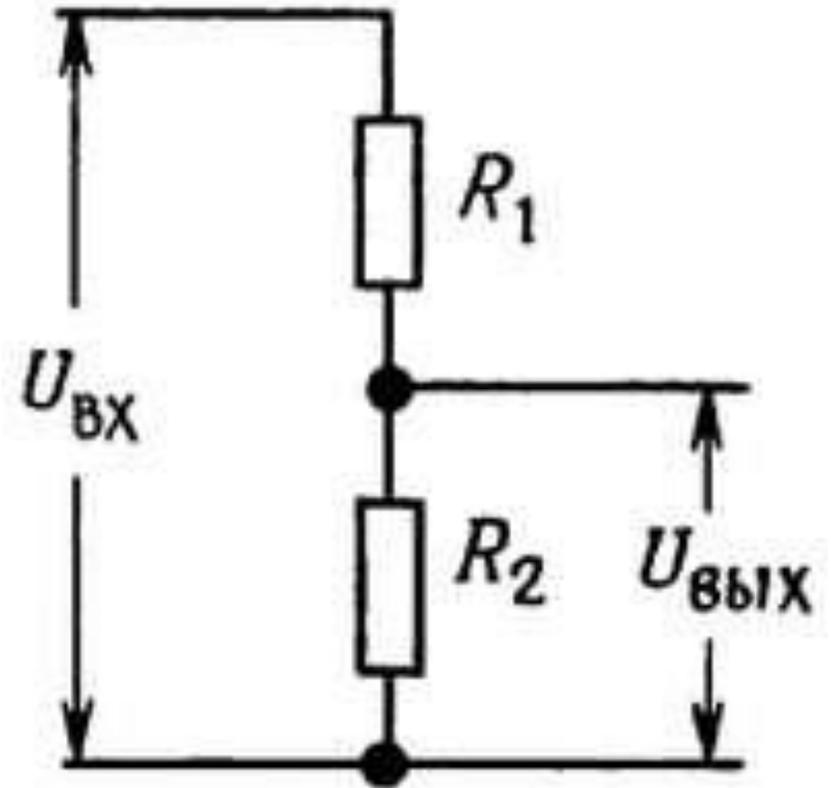
Делители напряжения

Без нагрузки

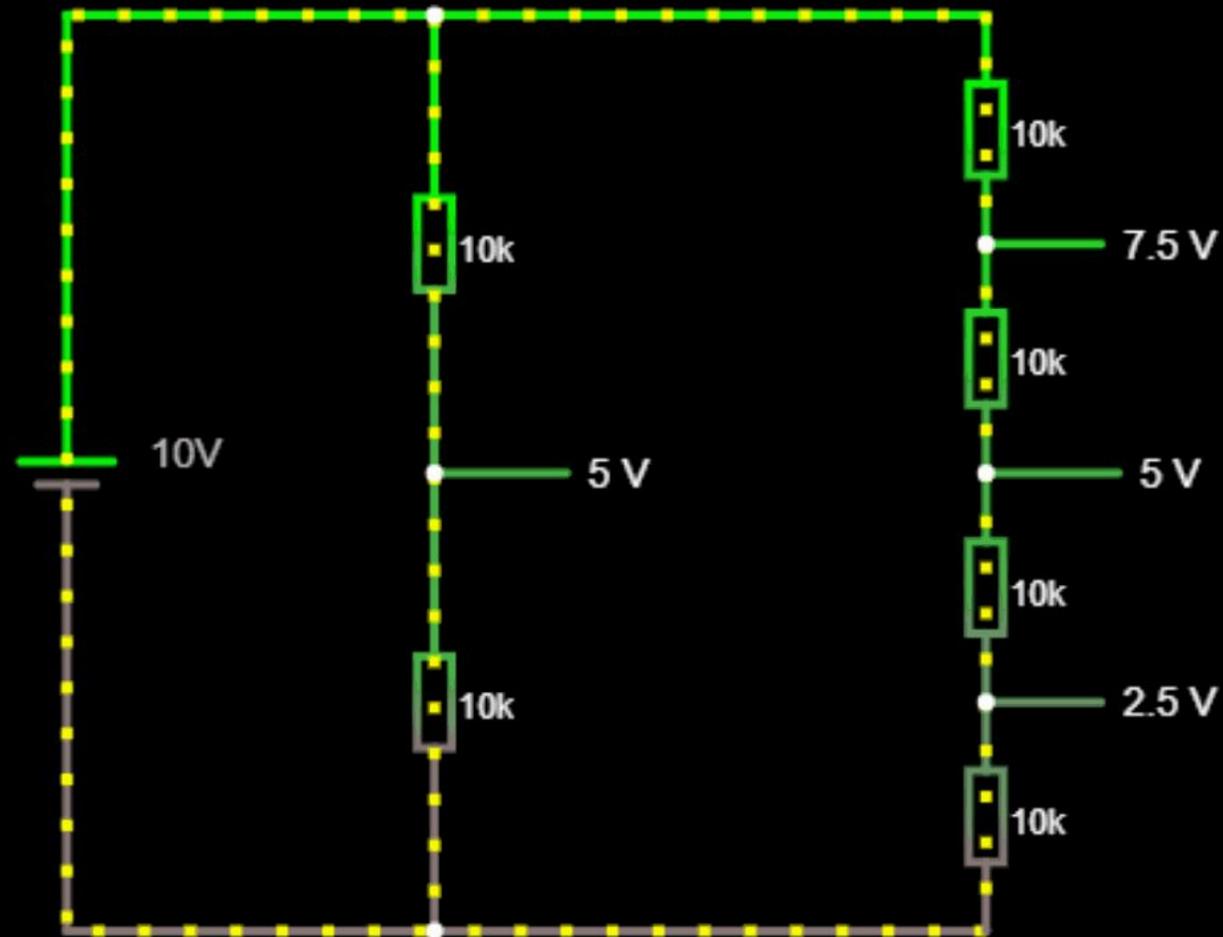
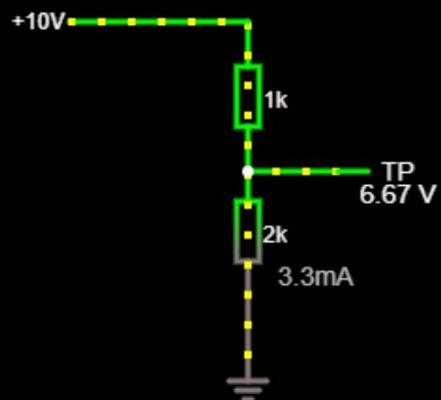
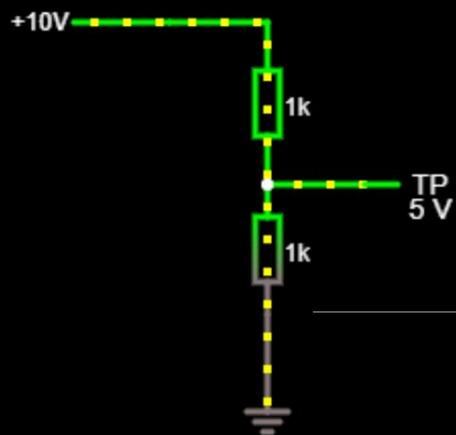
$$I = \frac{U_{\text{ВХ}}}{R_1 + R_2}$$

Тогда для R_2

$$U_{\text{ВЫХ}} = I \cdot R_2 = \frac{U_{\text{ВХ}} R_2}{R_1 + R_2}$$

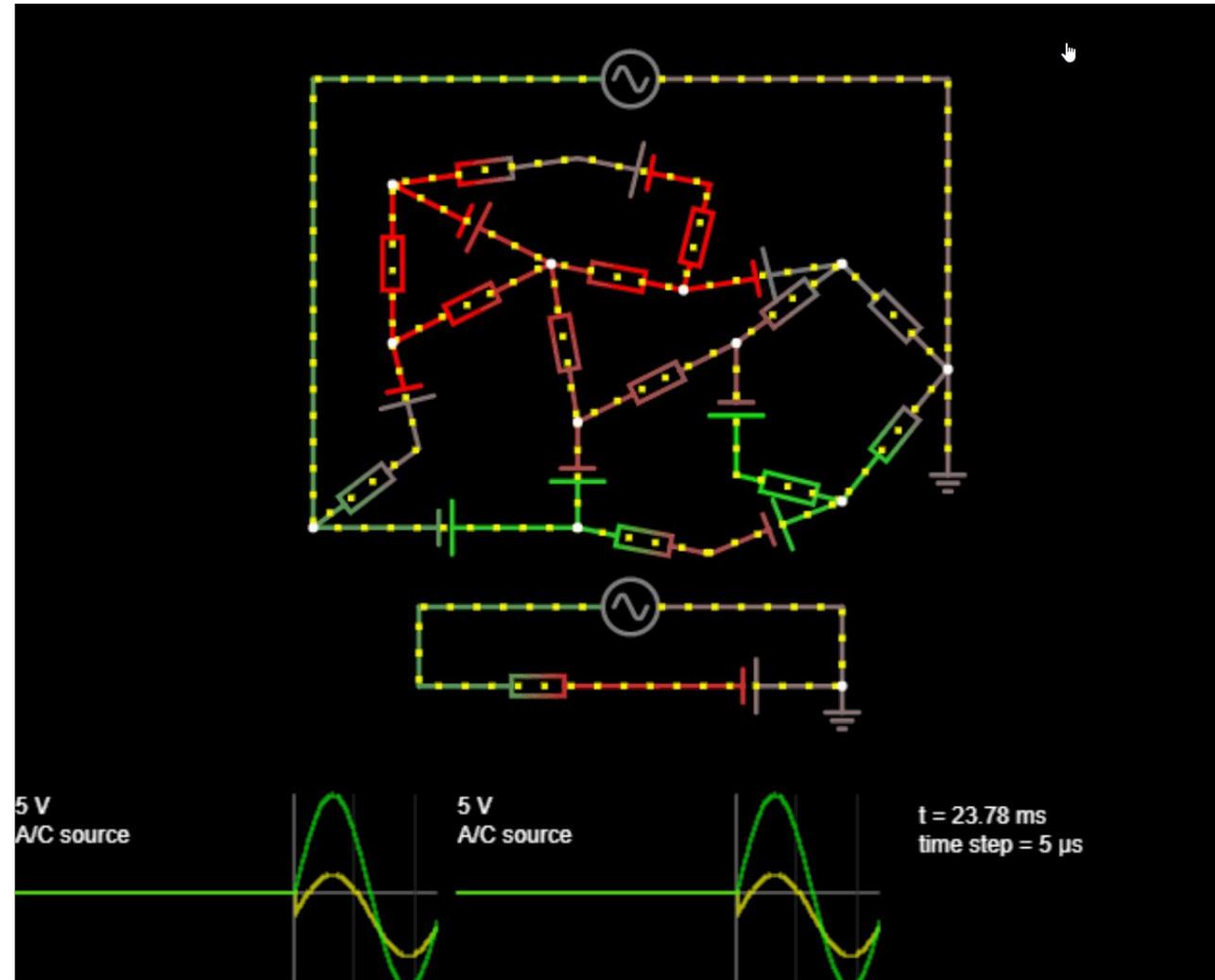


Примеры делителей



Теорема об эквивалентном преобразовании источников (теорема Тевенина)

- Теорема об эквивалентном преобразовании источников утверждает, что всякую схему, состоящую из резисторов и источников напряжения и имеющую два вывода, можно представить в виде эквивалентной схемы, состоящей из одного резистора R , последовательно подключенного к одному источнику напряжения U .



Преобразование делителя напряжения в источник питания

1. Напряжение при разомкнутой цепи:

$$U = U_{\text{ВХ}} \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right]$$

2. Ток замкнутой накоротко цепи:

$$I_{\text{ВХ}} = U / R_1$$

Тогда эквивалентная схема представляет собой источник напряжения

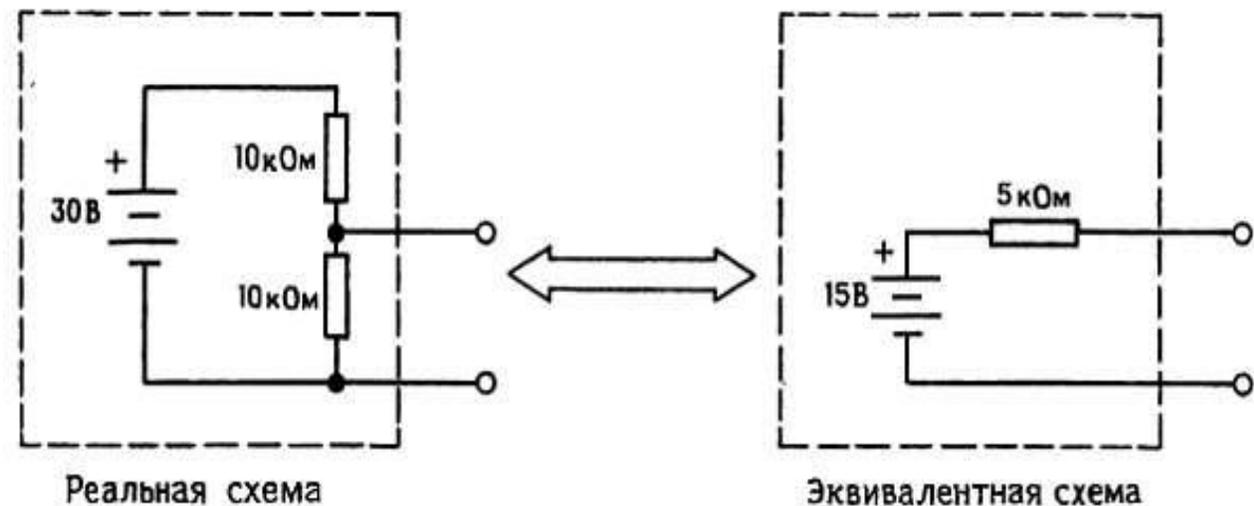
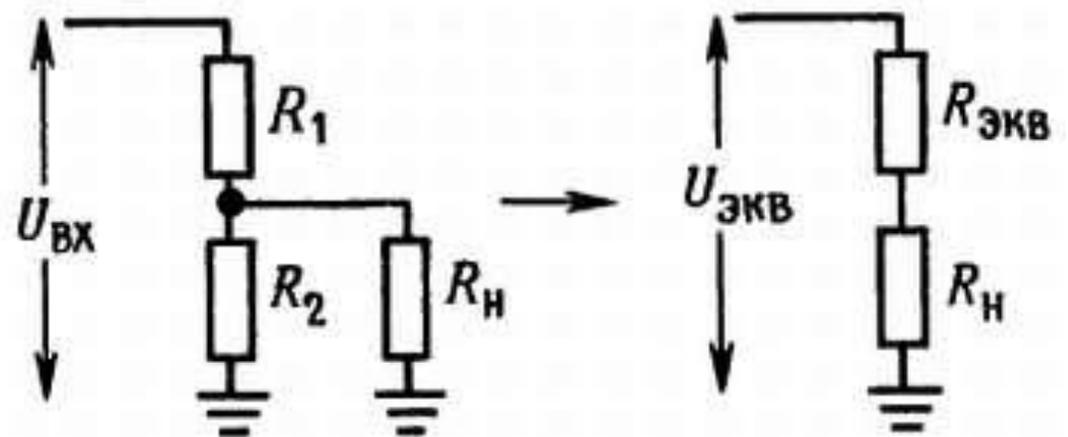
$$U_{\text{ЭКВ}} = U_{\text{ВХ}} \left[R_2 / (R_1 + R_2) \right]$$

к которому последовательно подключен резистор с сопротивлением

$$R_{\text{ЭКВ}} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$

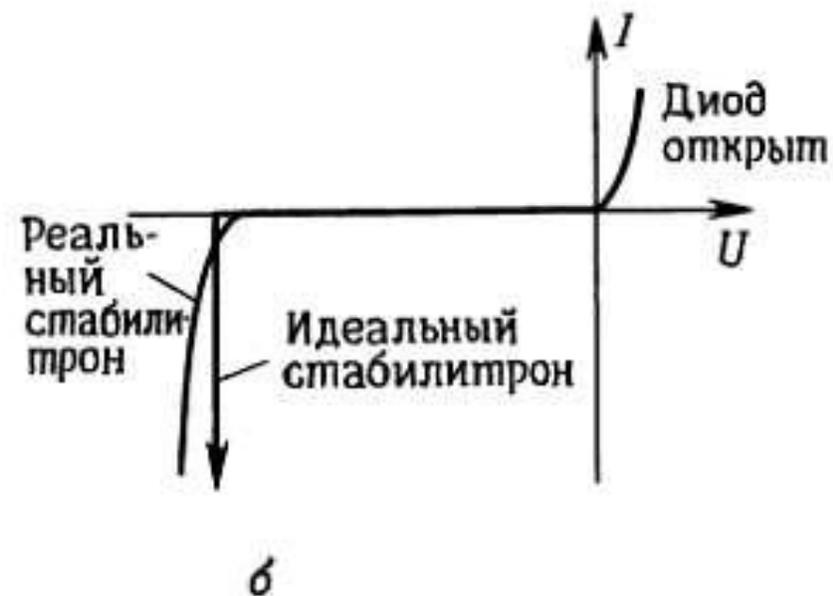
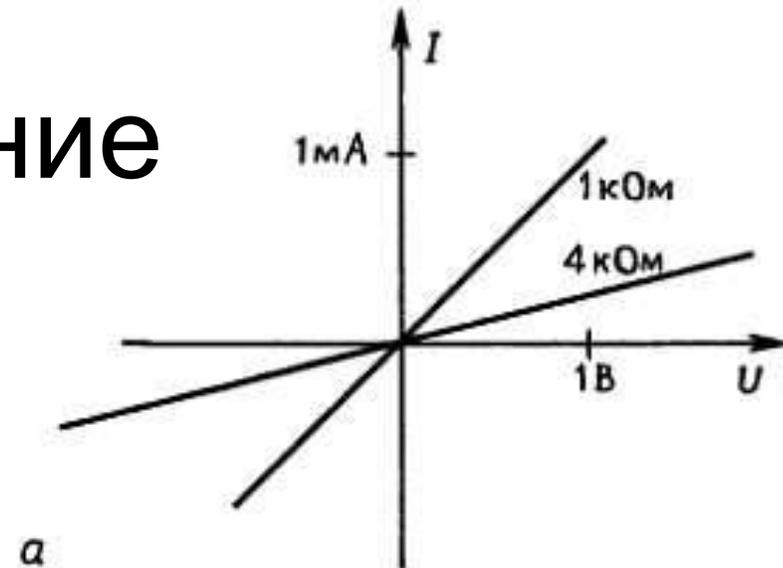
Делитель напряжения не может служить хорошим источником, так как его выходное напряжение существенно уменьшается при подключении нагрузки.

$$R_{\text{Н}} \gg R_{\text{внутр}}$$



Динамическое сопротивление

- Отношение небольшого изменения приложенного напряжения к соответствующему изменению тока через схему: $\Delta U/\Delta I$ (или dU/dI).



Диод Зенера (Стабилитрон)

$$I = \frac{U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}}}{R}$$

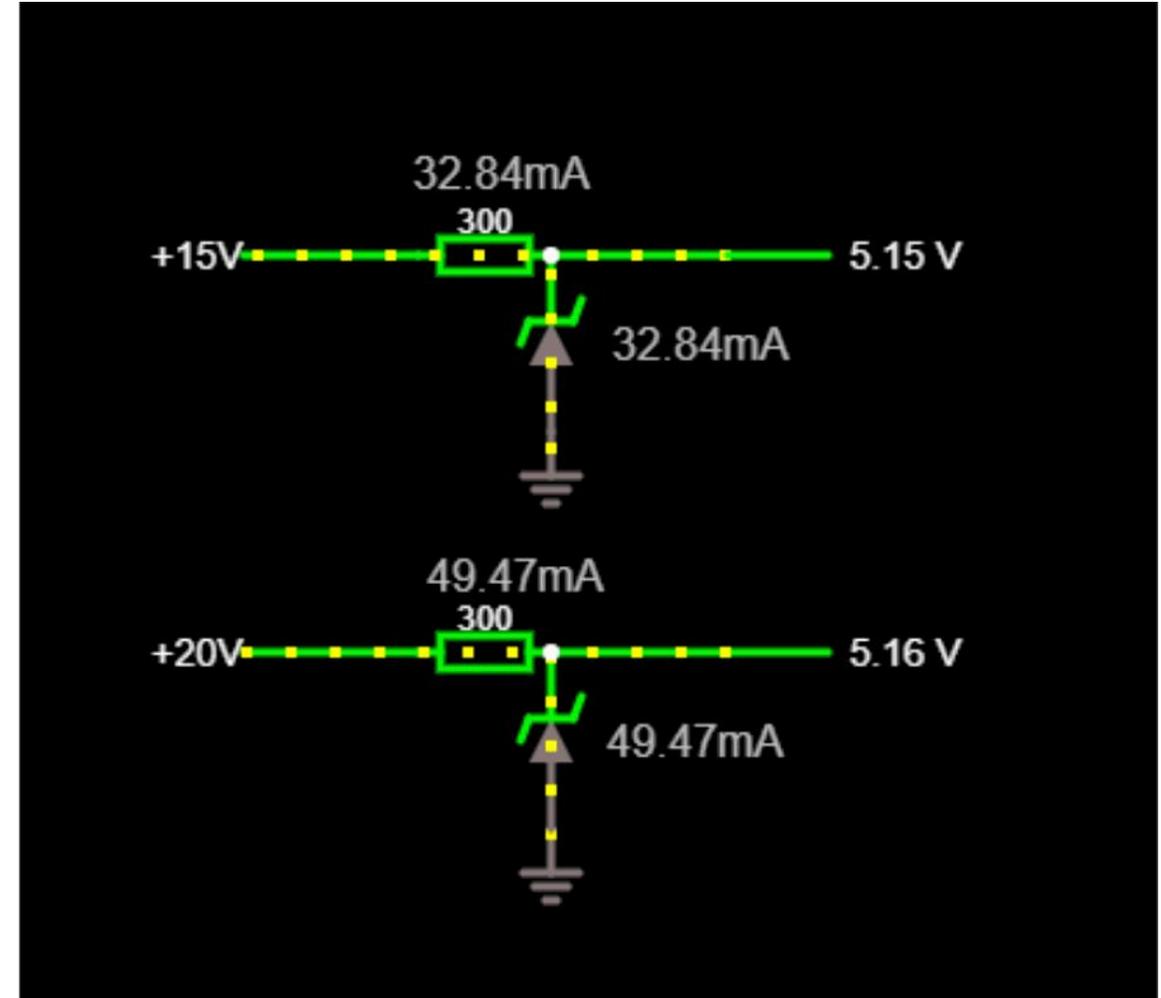
$$\Delta I = \frac{\Delta U_{\text{ВХ}} - \Delta U_{\text{ВЫХ}}}{R}$$

тогда

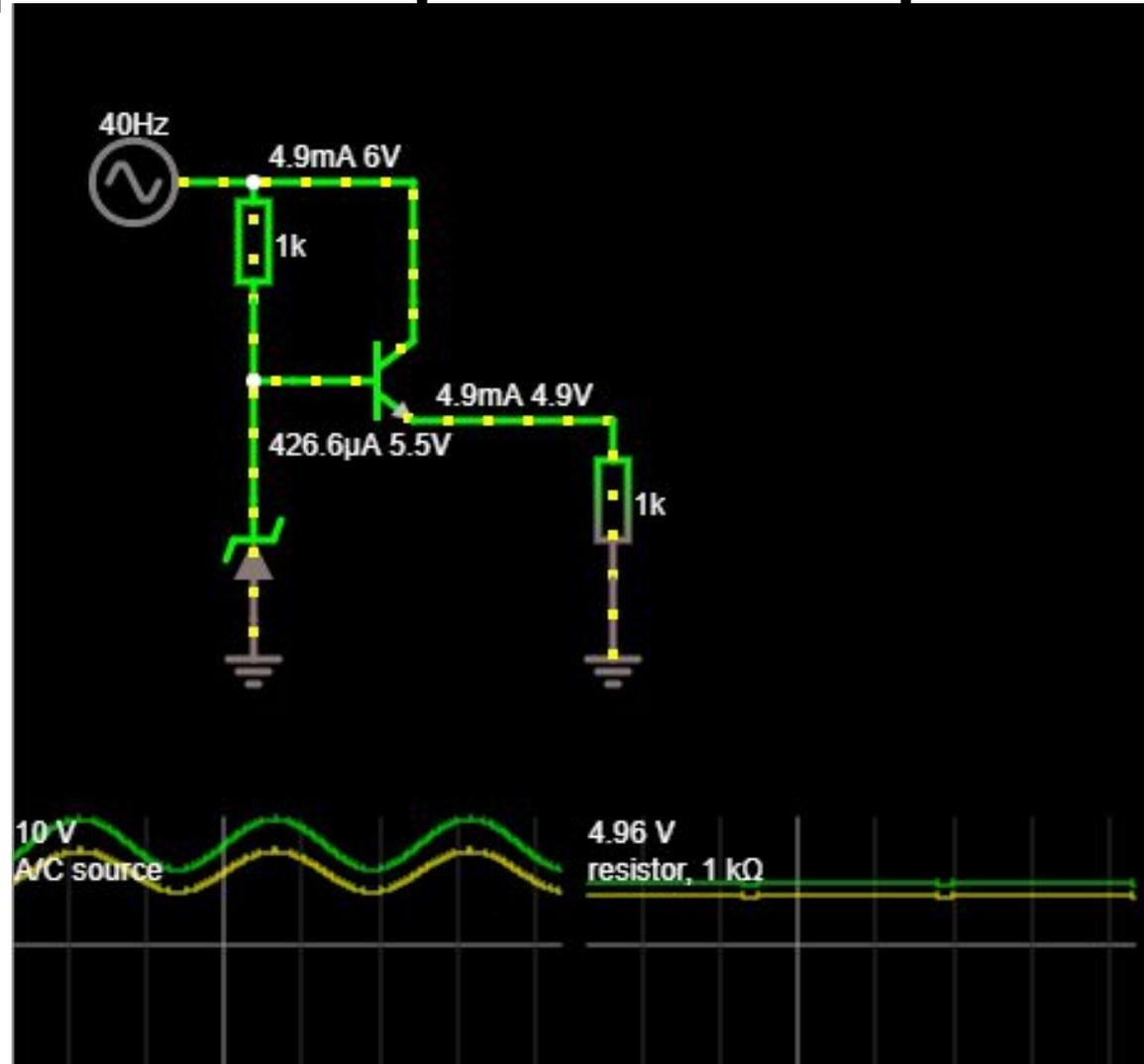
$$\Delta U_{\text{ВЫХ}} = R_{\text{дин}} \Delta I = \left(\frac{R_{\text{дин}}}{R} \right) (\Delta U_{\text{ВХ}} - \Delta U_{\text{ВЫХ}})$$

и наконец, $\Delta U_{\text{ВЫХ}} = \Delta U_{\text{ВХ}} R_{\text{дин}} / (R + R_{\text{дин}})$.

В диапазоне изменения входного напряжения ток через зеновский диод изменяется от 50 мА до 33 мА; изменение тока на 17 мА вызывает изменение напряжения на выходе схемы, равное $\Delta U = R_{\text{дин}} \Delta I$, или 0,012 В.

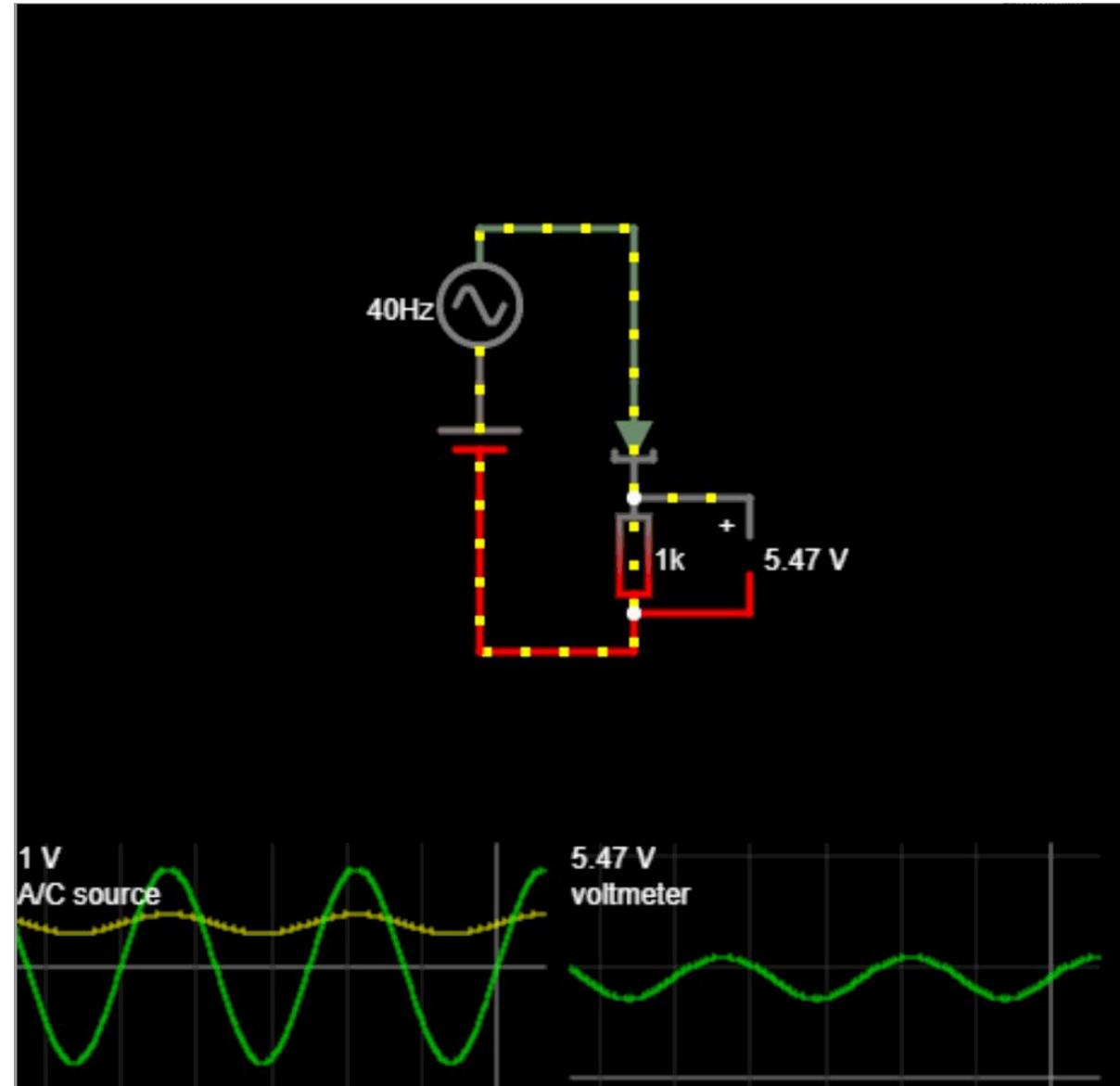
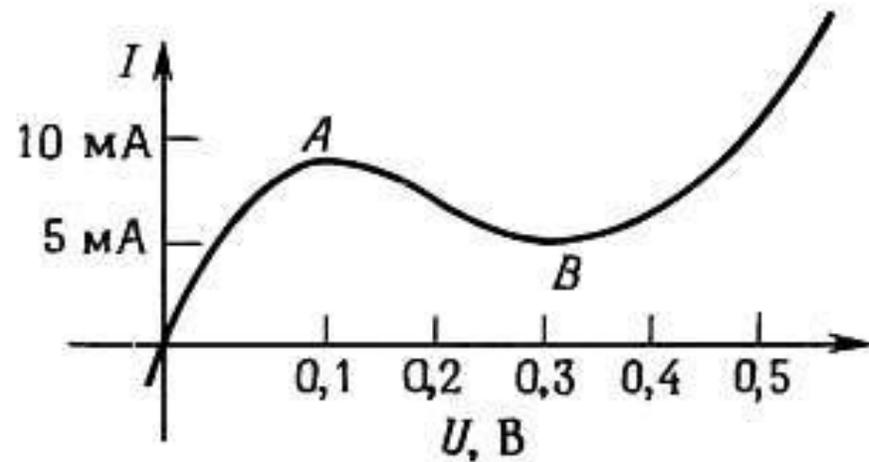


Стабилизатор напряжения на стабилитроне и транзисторе



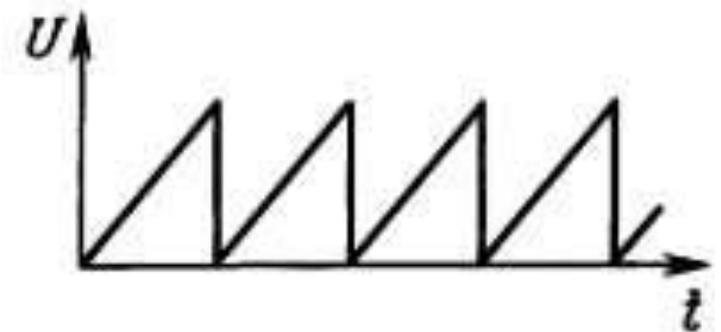
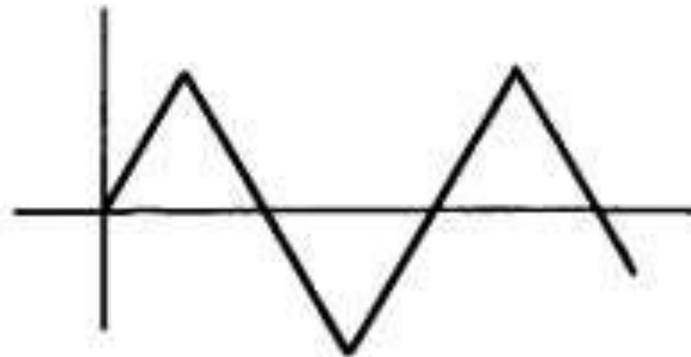
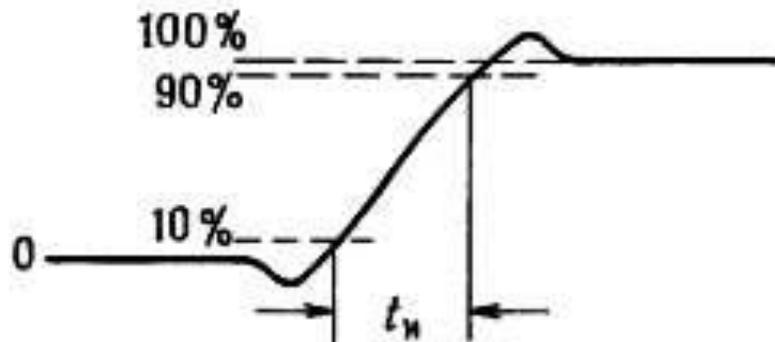
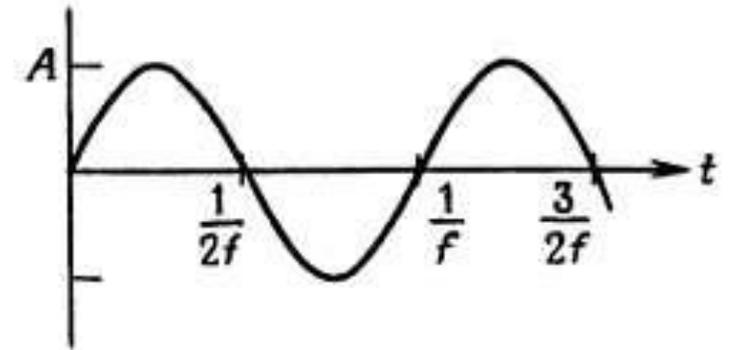
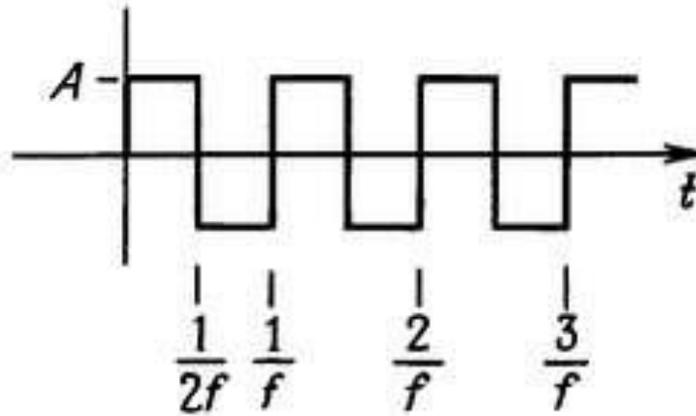
Туннельный диод

- Отрицательное сопротивление. Усиление



Сигналы

- $U = A \sin 2\pi ft$,
- где A – амплитуда,
- f – частота



Эффективное значение

Измерение сигналов

- $G = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_1}{U_2}\right)$, $G = 20 \cdot \lg\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$.
- $G = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$
- $0 \text{ dBV} = 1\text{V}$; (дБВэфф). Относительно эффективного напряжения
- $U_{\text{эфф}} = (1/\sqrt{2})A = 0,707A$. (Только для синуса).
- $0 \text{ dBu} = 0,775\text{V} = \text{dBm}$;
- $\text{dBfs} = \text{dB}$.
- дБВт = в радио 50 ом, в акустике – 600 ом. (0.22 и 0.775 вольт)

Децибелы

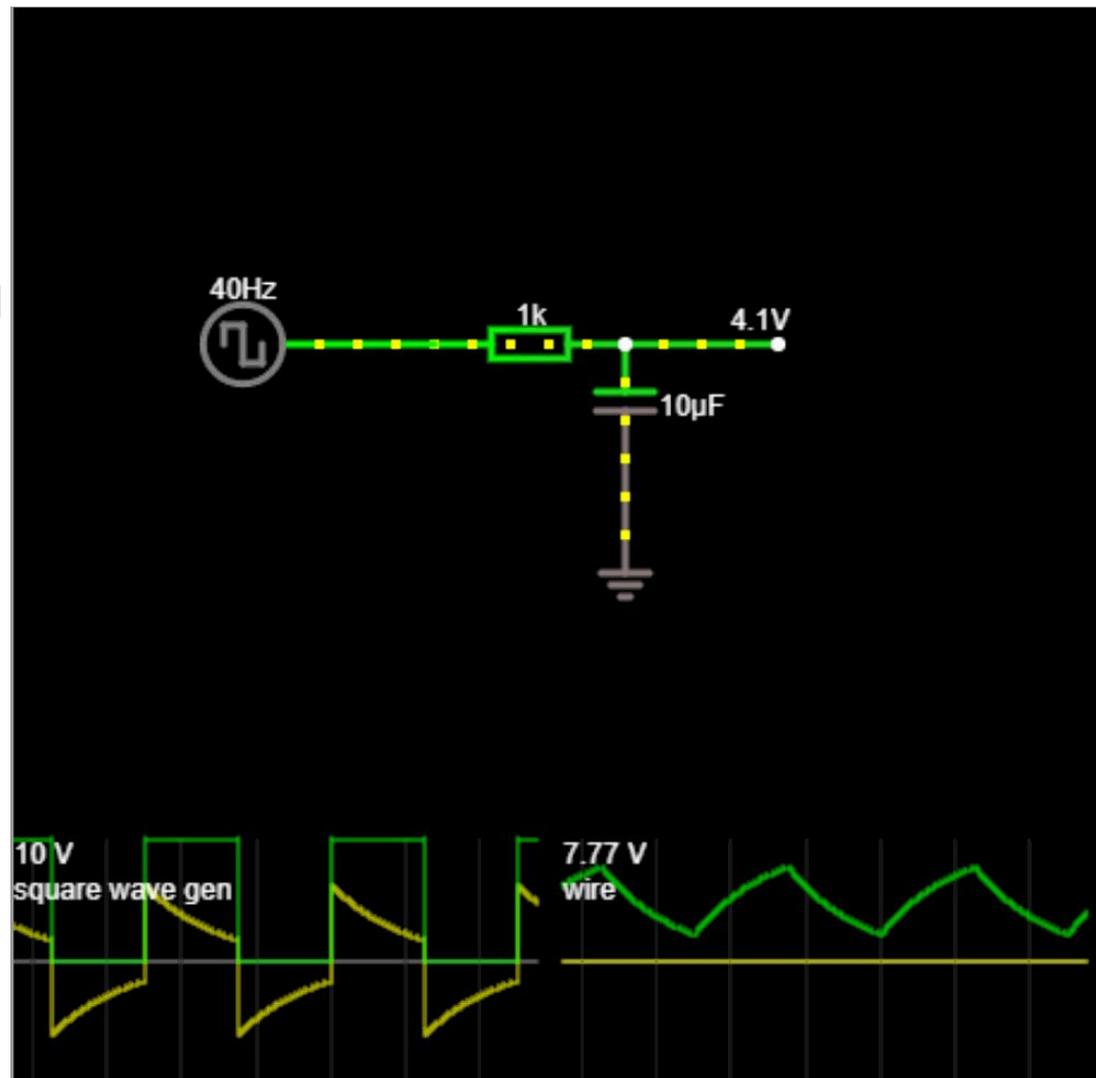
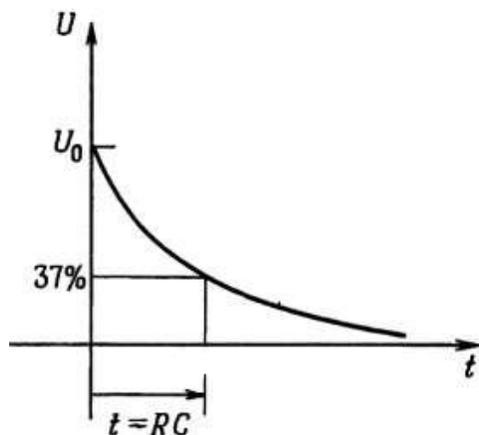
Децибел	Напряжение/ток (множитель)	Мощность (множитель)
0	1	1
1	1.12	1.26
5	1.78	3.16
10	3.16	10
15	5.62	31.6
25	17.8	316
50	316	100 000

RC-схема

- $$U = A \cdot e^{-t/RC}$$
$$U = U_{\text{BX}} + Ae^{-t/RC}$$

Постоянная величина A определяется из начальных условий $U = 0$ при $t = 0$, откуда

$$A = -U_{\text{BX}} \text{ и } U = U_{\text{BX}} (1 - e^{-t/RC}).$$



Дифференцирующая схема

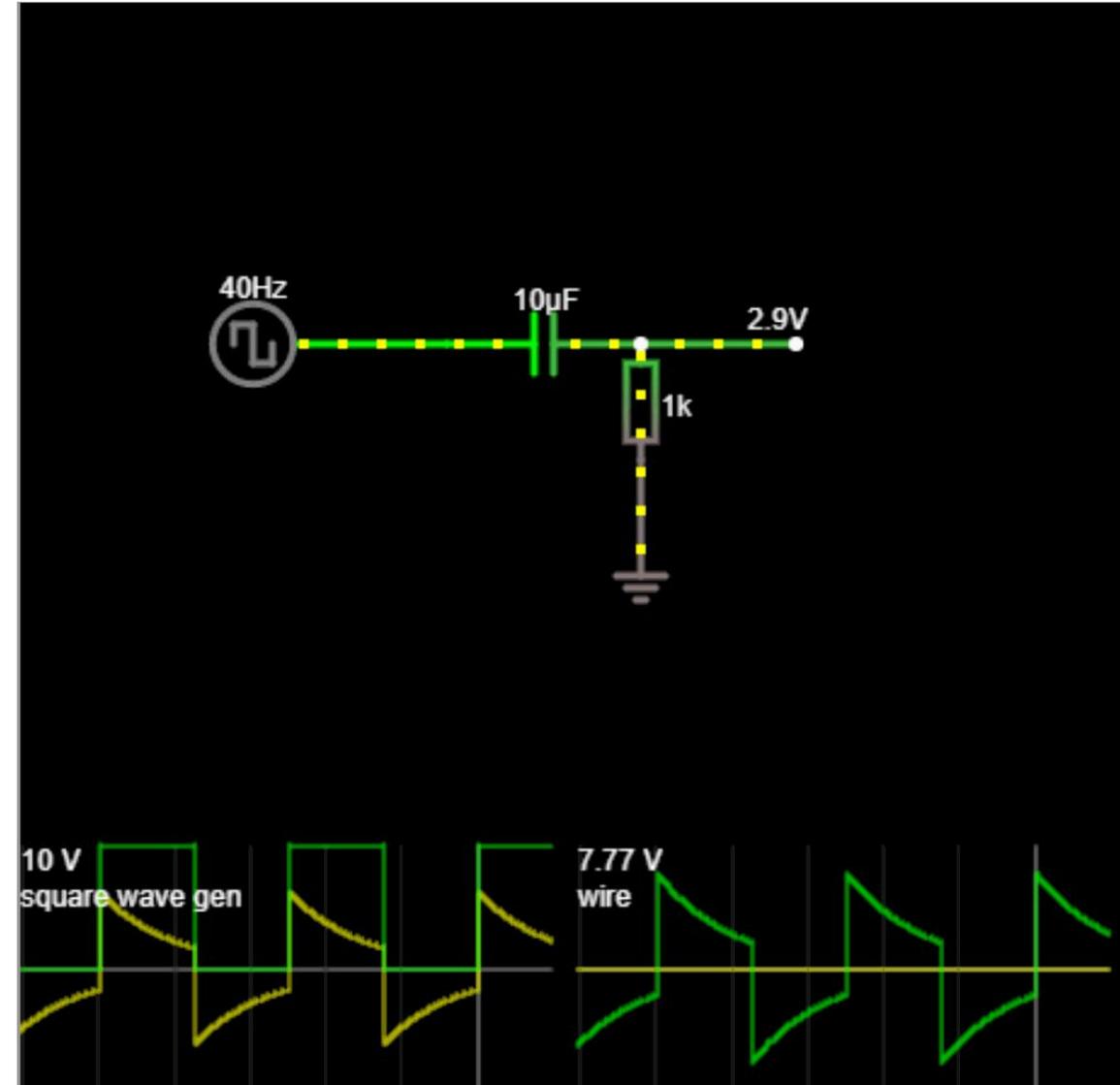
Если резистор и конденсатор выбрать так, чтобы сопротивление R и емкость C были достаточно малыми и выполнялось условие

$dU/dt \ll dU_{вх}/dt$, то

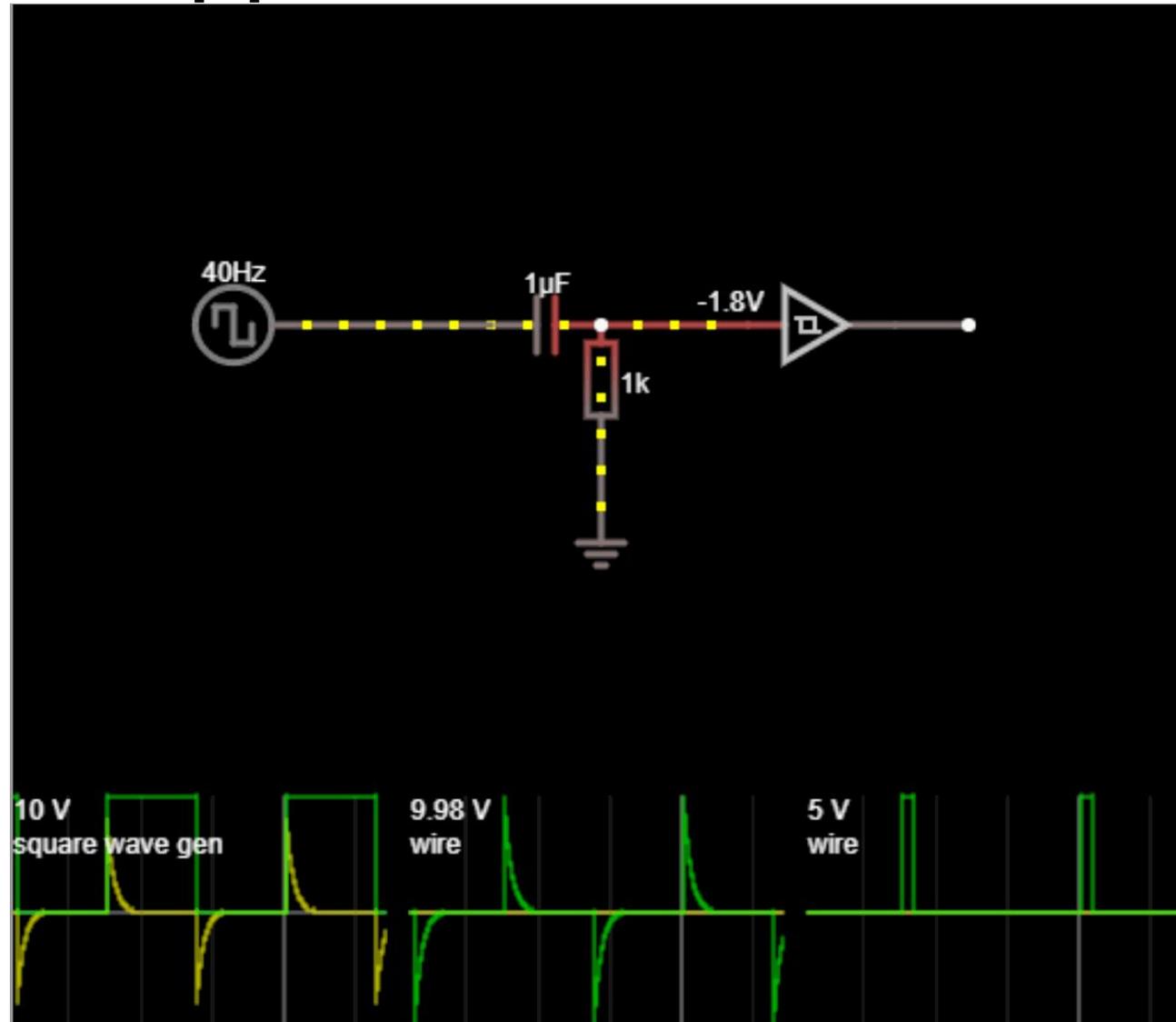
$$C \left(\frac{dU_{вх}}{dt} \right) = \frac{U}{R}$$

или

$$U(t) = RC \left[\frac{dU_{вх}(t)}{dt} \right].$$

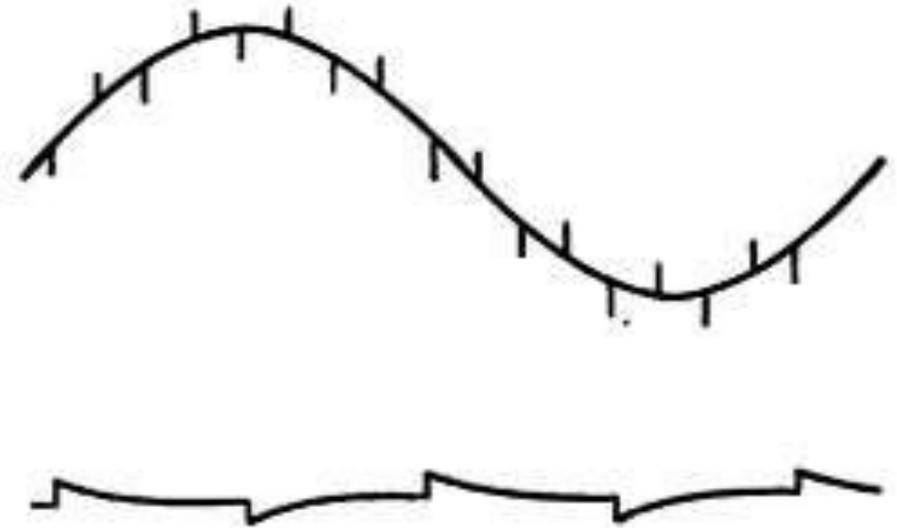


Выделение фронта сигнала



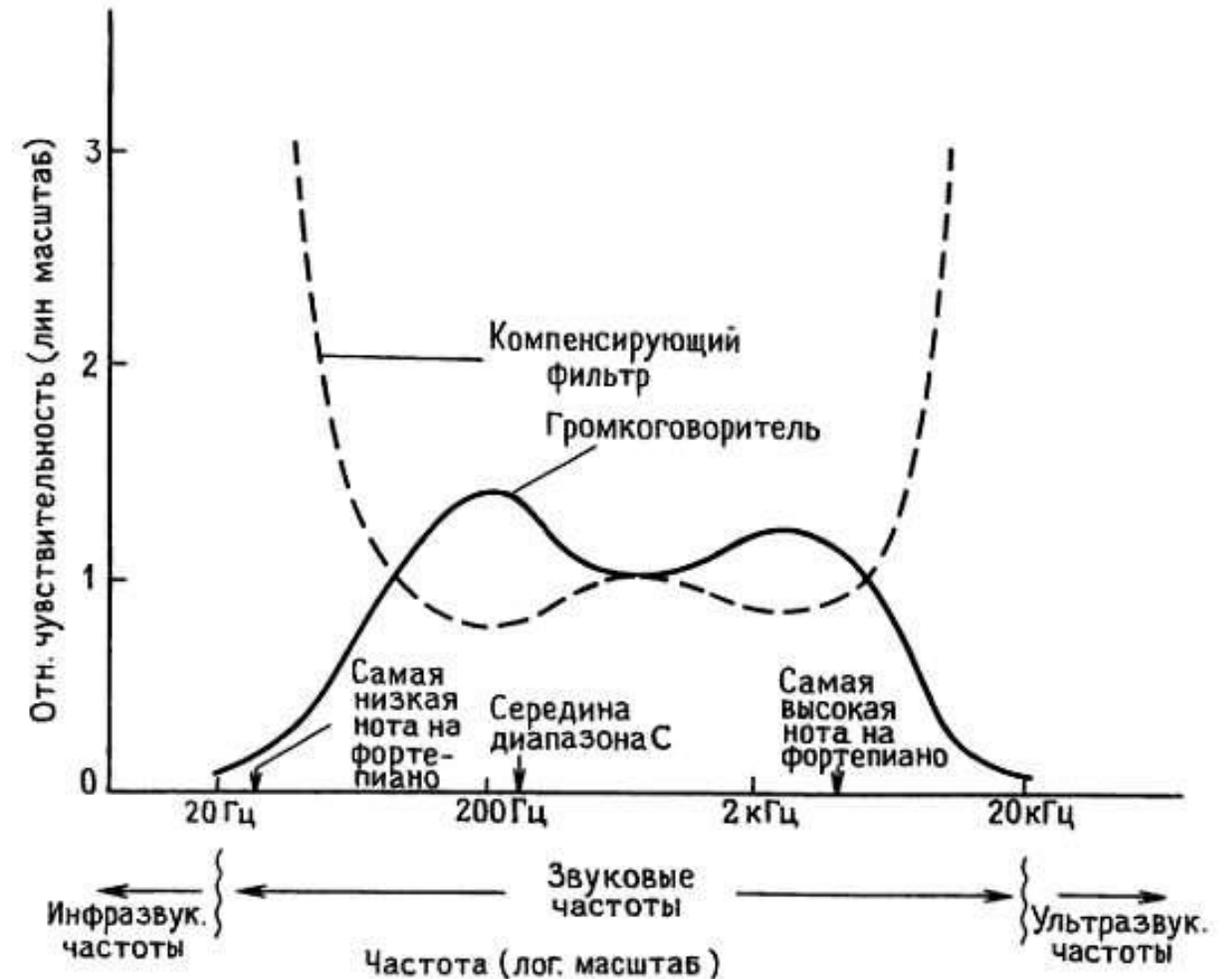
Паразитная емкостная связь

- Импульсная помеха – проверить оконечное сопротивление
- Емкостная помеха – проверить емкость схемы (тестового инструмента)



Полное и реактивное сопротивление

- Линейность компонентов
- Импеданс – полное сопротивление = реактивное сопротивление.



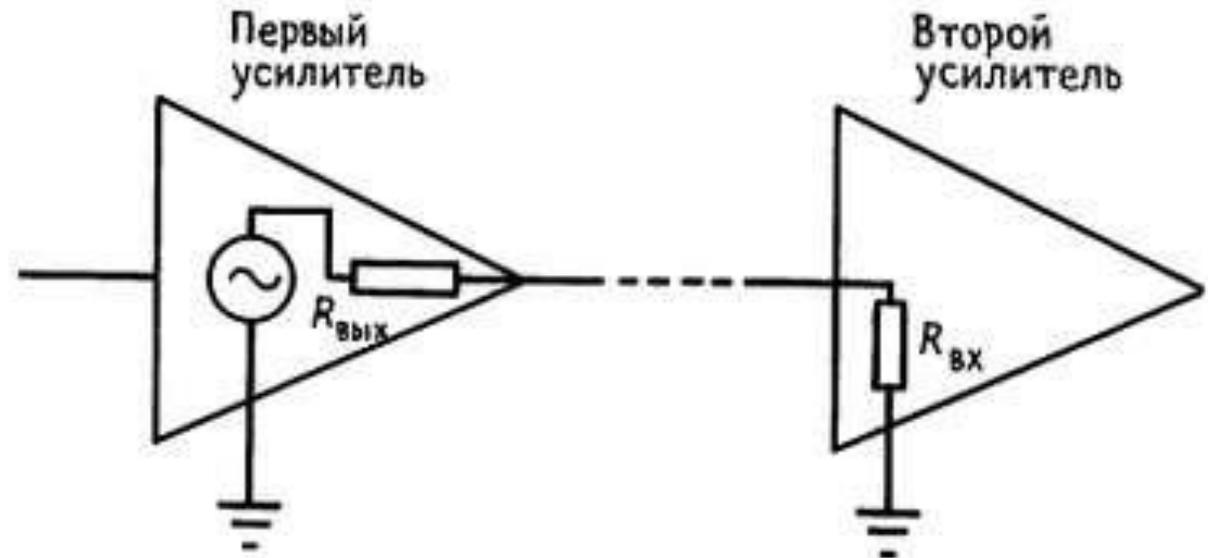
Импеданс источника и нагрузки

$$Z_{\text{вых}} \ll Z_{\text{вх}}$$

$$Z_{\text{вых}} = Z_{\text{вх}}$$

Когда передаваемым сигналом является, ток:

$$Z_{\text{вх}} \ll Z_{\text{вых}}$$



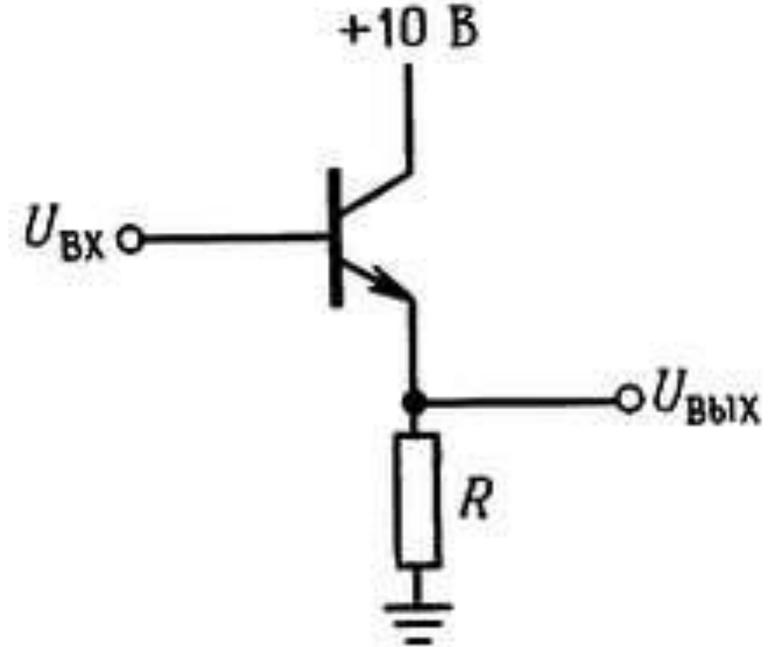
Эмиттерный повторитель

Вход повторителя:

$$Z_{\text{вх}} = (h_{21э} + 1)Z_{\text{нагр}}$$

Выход повторителя:

$$Z_{\text{вых}} = \frac{Z_{\text{ист}}}{h_{21э} + 1}$$



Реактивное сопротивление

Сопротивление индуктивности и емкости в цепи постоянного тока:

$$U = 0;$$
$$R = \frac{U}{I} = \frac{0}{I} = 0;$$

$$I = 0;$$
$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{0} = \infty.$$

Сопротивления в цепи переменного тока

-

$$X_R = R$$
$$X_C = -\frac{j}{\omega C}$$

или

$$X_C = \frac{1}{j\omega C}$$

где $j = \sqrt{-1}$ – мнимое число, $\omega = 2\pi f$, C = емкость в фарадах.

$$X_L = j\omega L$$

где L – индуктивность в генри.

Примеры реактивного сопротивления

Импеданс емкости

$$\begin{aligned}X_C &= -j/\omega C \\ &= -j/(2 * 3,14 * 40(\text{Hz}) * 0,00001(\text{F})) \\ &= -j * 398,887 \text{ Ом}\end{aligned}$$

$$I = U/Z$$

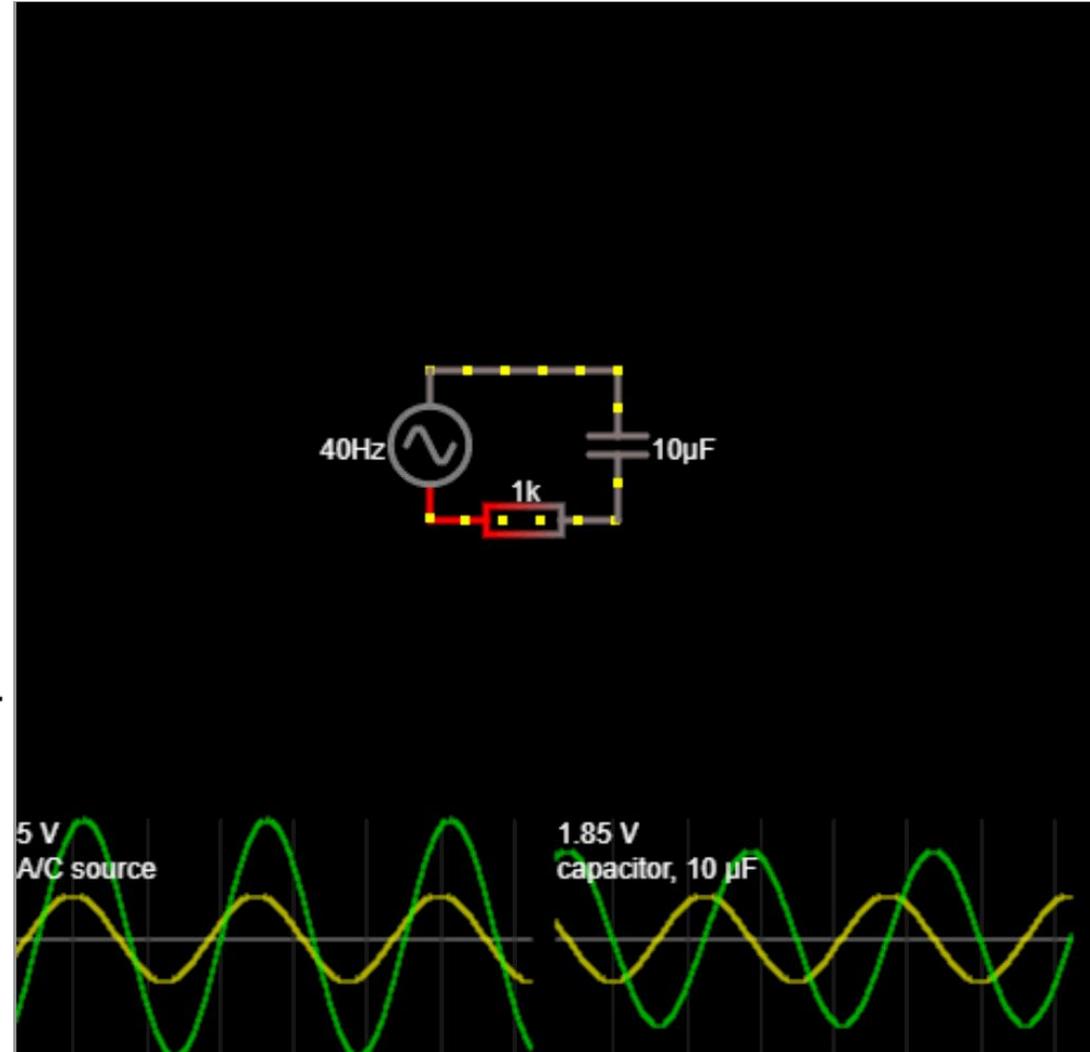
$$U_t = A * \sin(\omega t)$$

где $A = 5\sqrt{2} = 7,07$, тогда

$$I = \frac{7,07}{-398,887j} * \sin(\omega t) = 0,017 * \sin(\omega t) -$$

амплитуда тока – 17 мА, эффективное

значение для синуса = $17 * 1/\sqrt{2} = 12,02$ мА

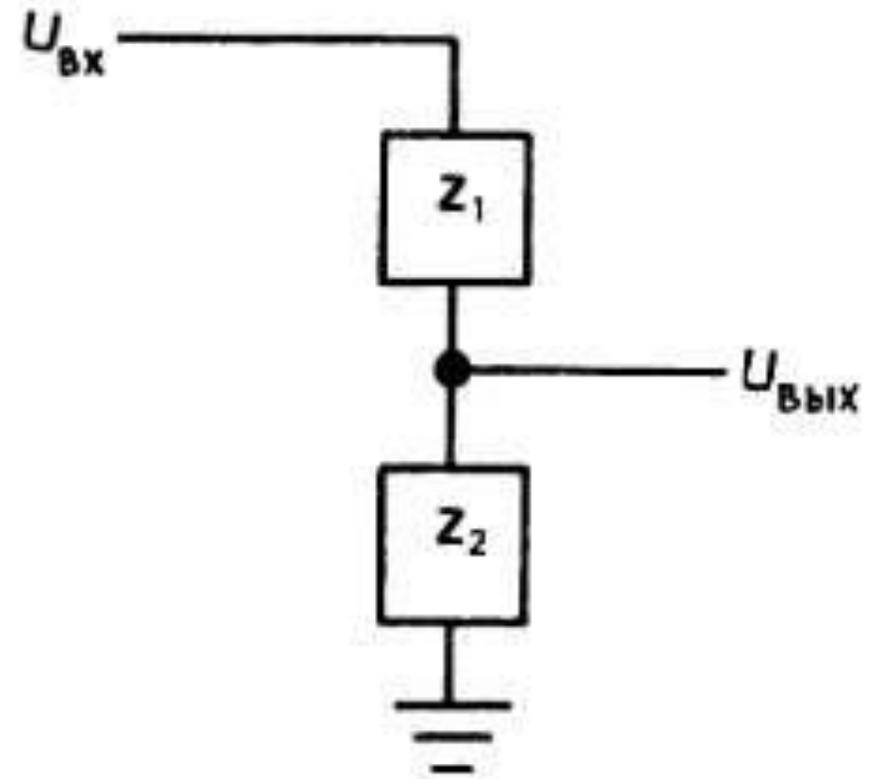


Делители напряжения переменного тока

- $I = U_{\text{ВХ}} / Z_{\text{ПОЛН}}$,

$$Z_{\text{ПОЛН}} = Z_1 + Z_2$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = Z_2 I = U_{\text{ВХ}} \left[\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right]$$



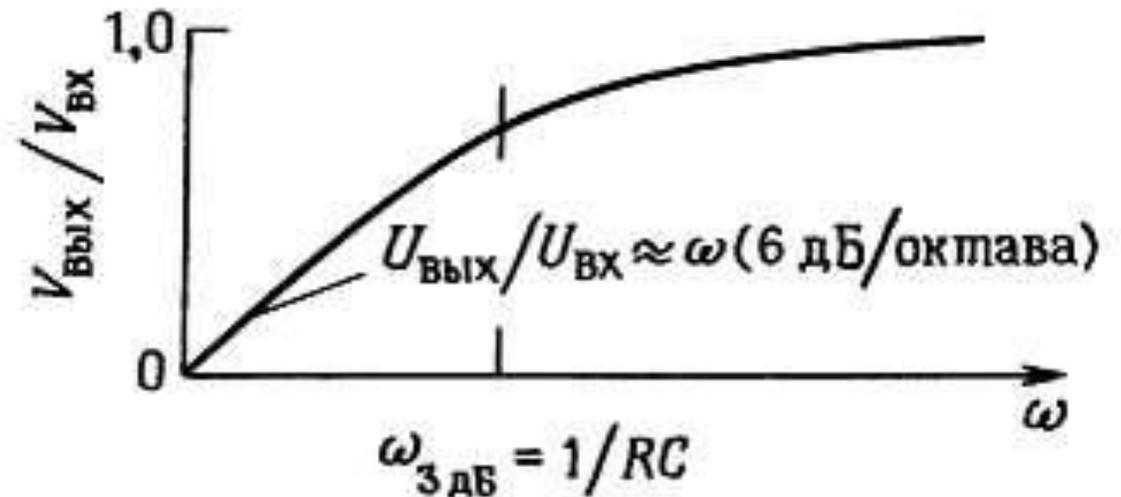
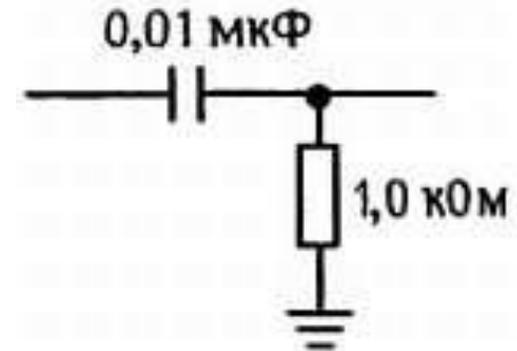
RC – фильтр высоких частот

Если не принимать во внимание сдвиг фаз, а рассматривать только модули комплексных амплитуд, то «отклик» схемы будет определяться следующим образом:

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} * 2\pi f * \frac{RC}{\sqrt{1 + (2\pi f \cdot RC)^2}}$$

Точка излома –3 дБ определяется выражением:

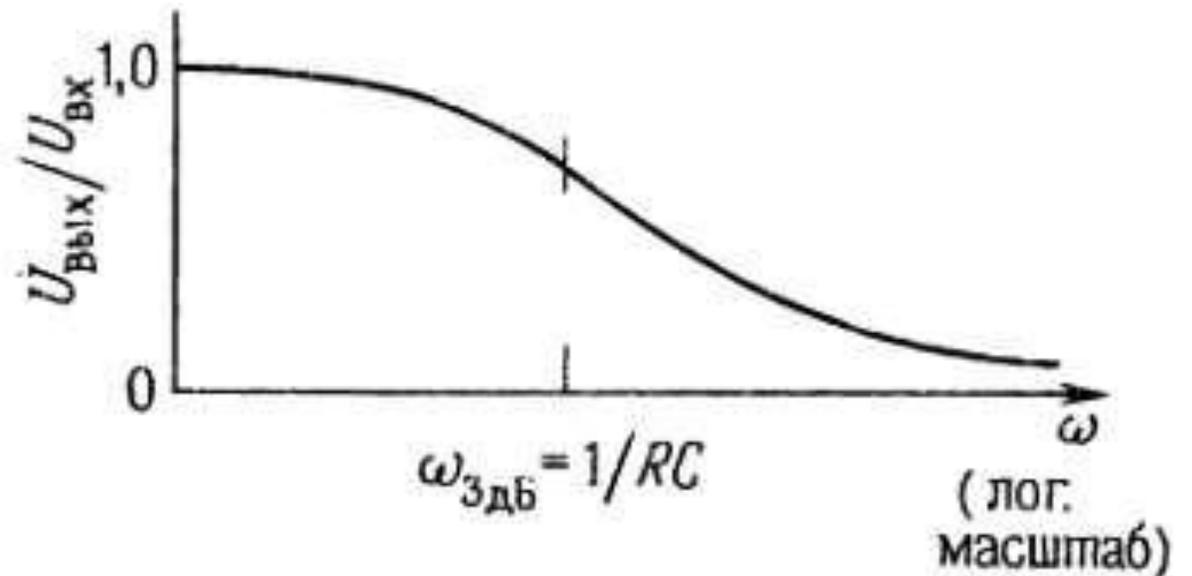
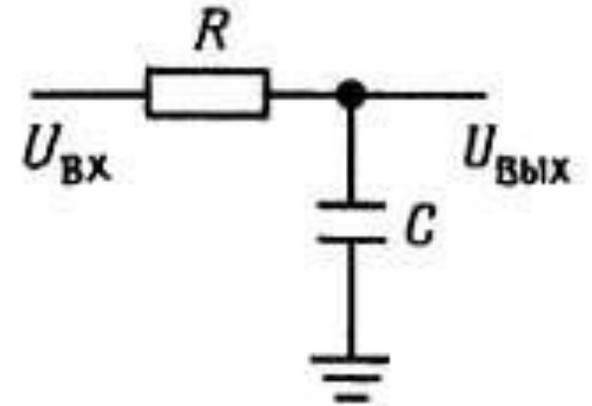
$$f_{\text{ЗДБ}} = 1/2\pi RC$$



Фильтр низких частот

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} * \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 * R^2 * C^2}} \right)$$

Точка -3 дБ на характеристике фильтра находится на частоте $f = 1/2\pi RC$



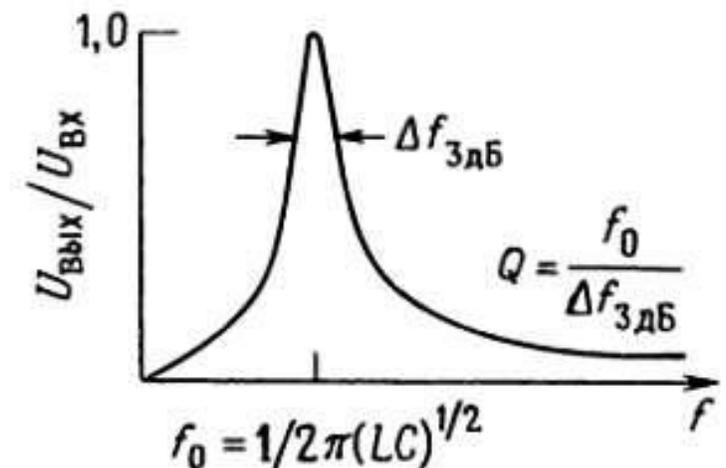
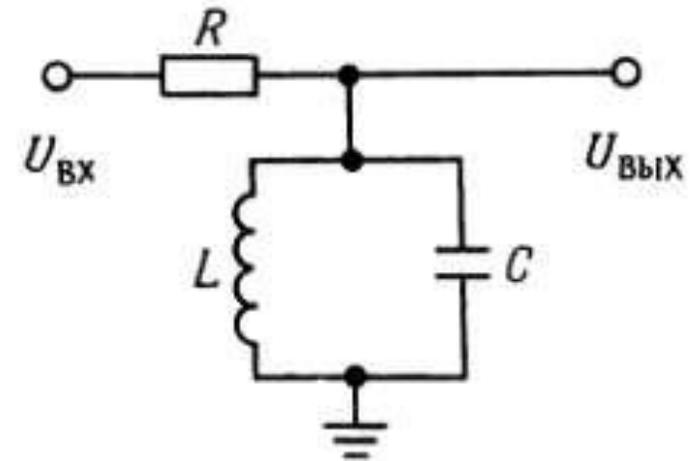
Параллельный LC-фильтр

- На частоте f реактивное сопротивление LC-контура:

$$\frac{1}{Z_{LC}} = \frac{1}{Z_L} + \frac{1}{Z_C} = \frac{1}{j\omega L} - \frac{\omega C}{j} = j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right),$$

или $Z_{LC} = j/[(1/\omega L) - \omega C]$.

- импеданс параллельной LC-цепи на резонансной частоте $f_0 = 1/2\pi(LC)^{1/2}$ стремится к бесконечности
- Для параллельной RLC -схемы добротность $Q = \omega_0 RC$

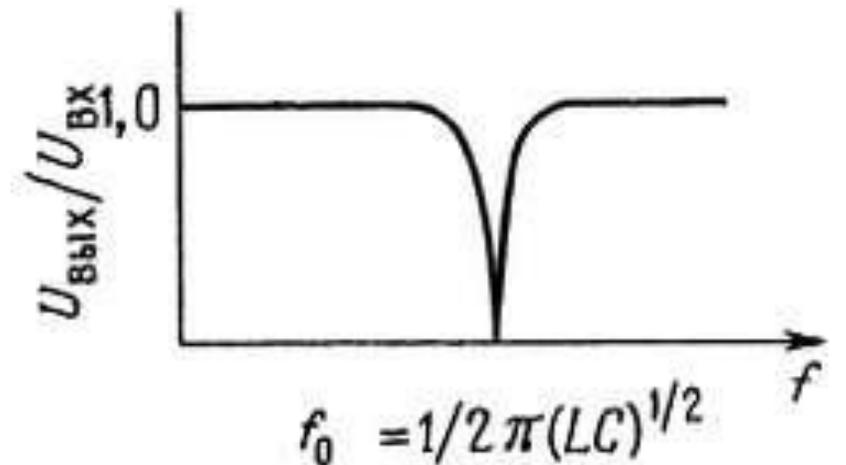
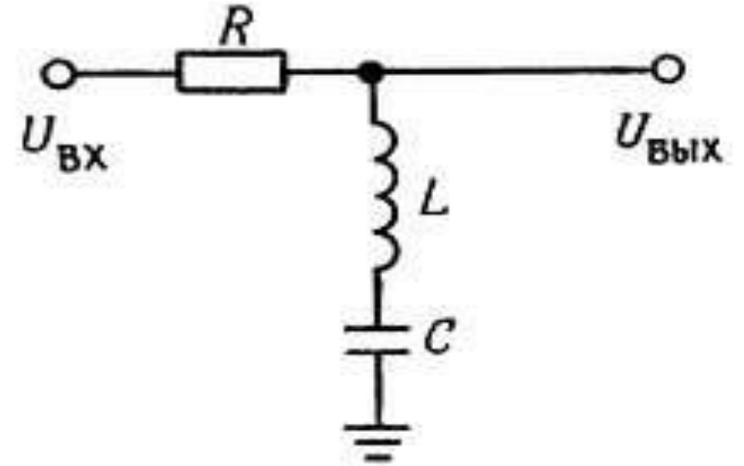


Последовательный LC-фильтр

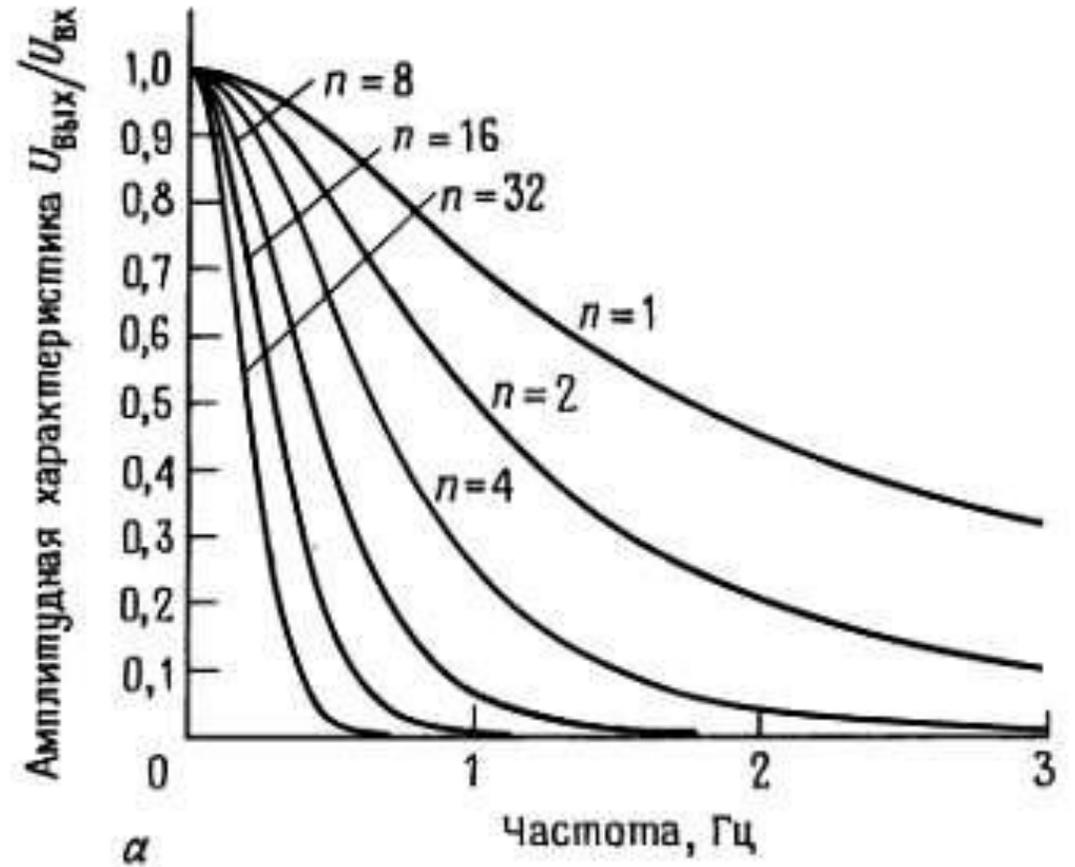
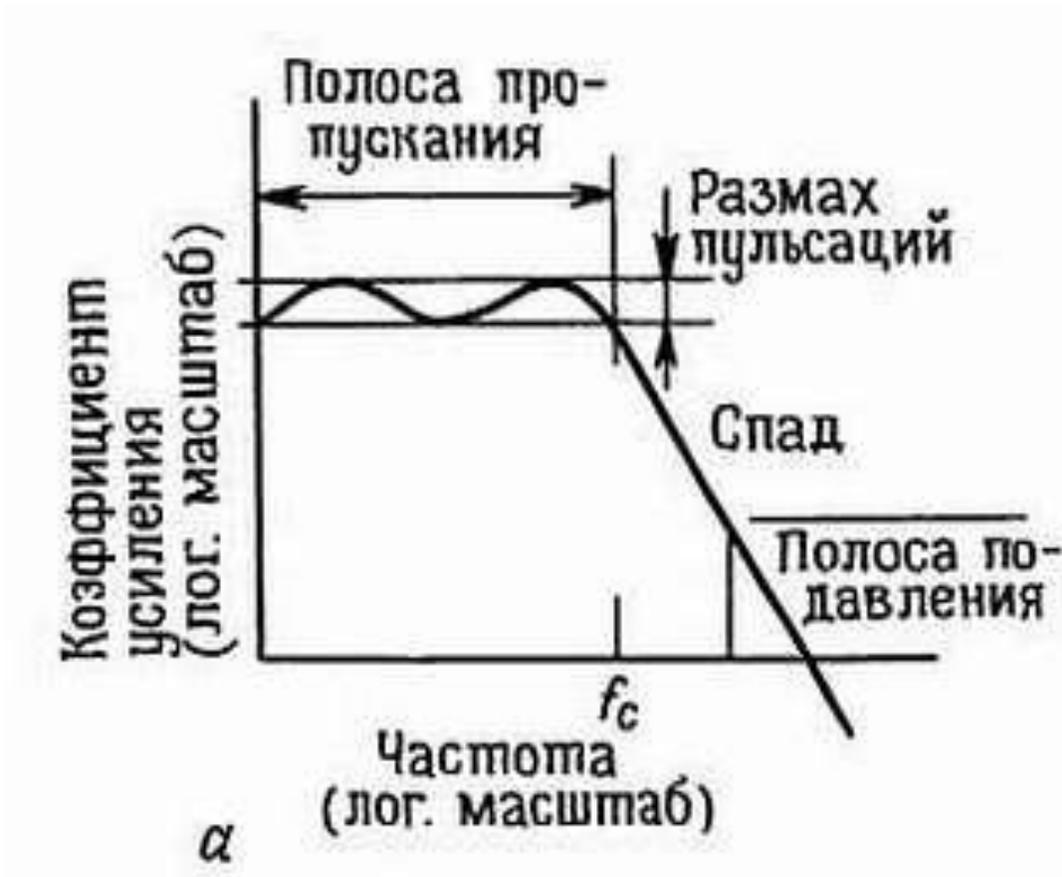
- импеданс последовательной LC-схемы стремится к нулю на частоте

$$f_0 = \sqrt{\frac{1}{2\pi(LC)}}$$

- Для последовательной RLC -схемы $Q = \omega_0 L / R$

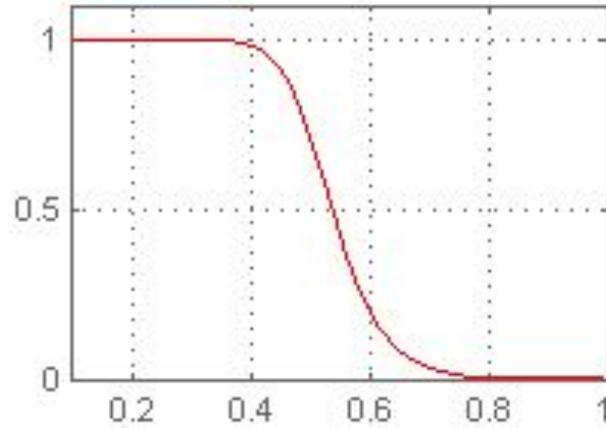


Полоса пропускания и порядок фильтра

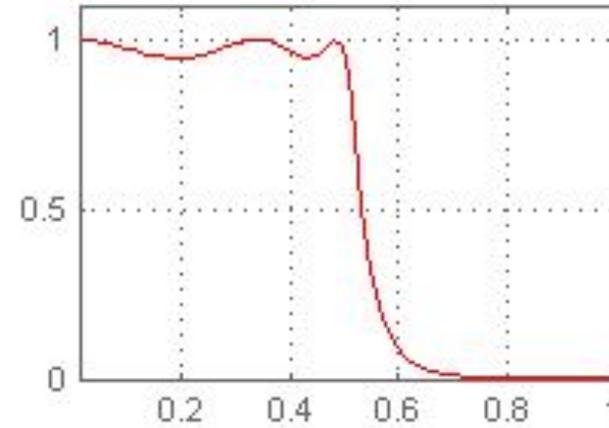


Классические фильтры

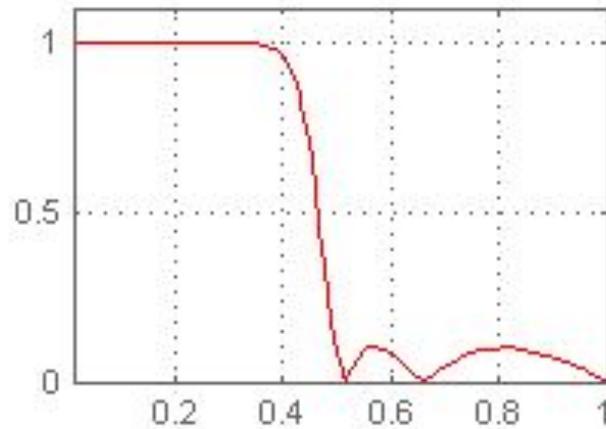
Фильтр Баттерворта



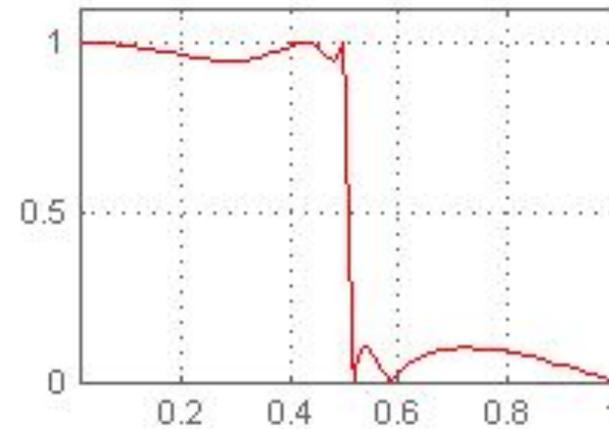
Фильтр Чебышева I рода



Фильтр Чебышева II рода

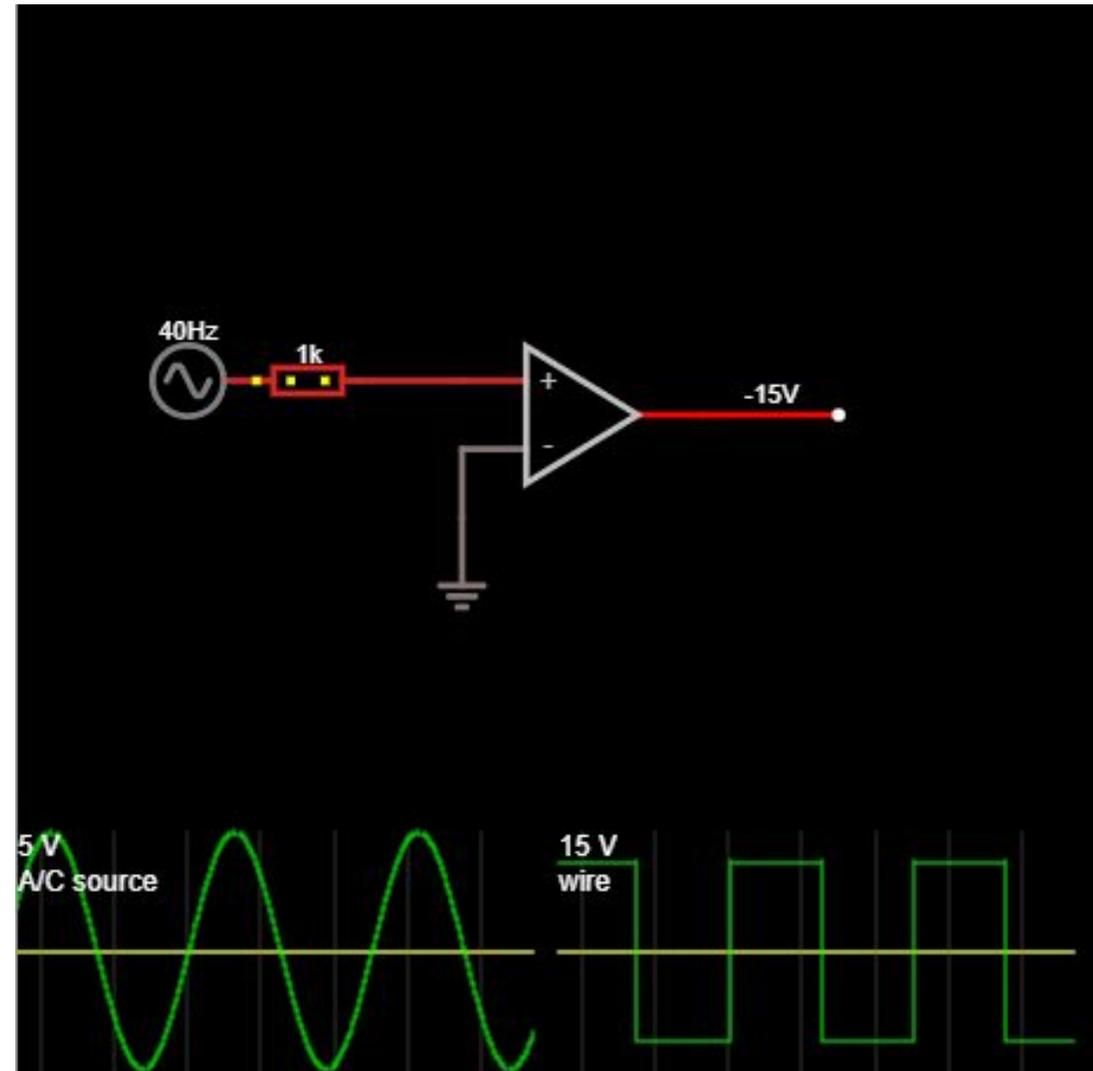
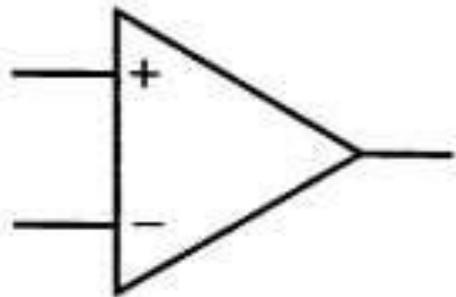


Эллиптический фильтр



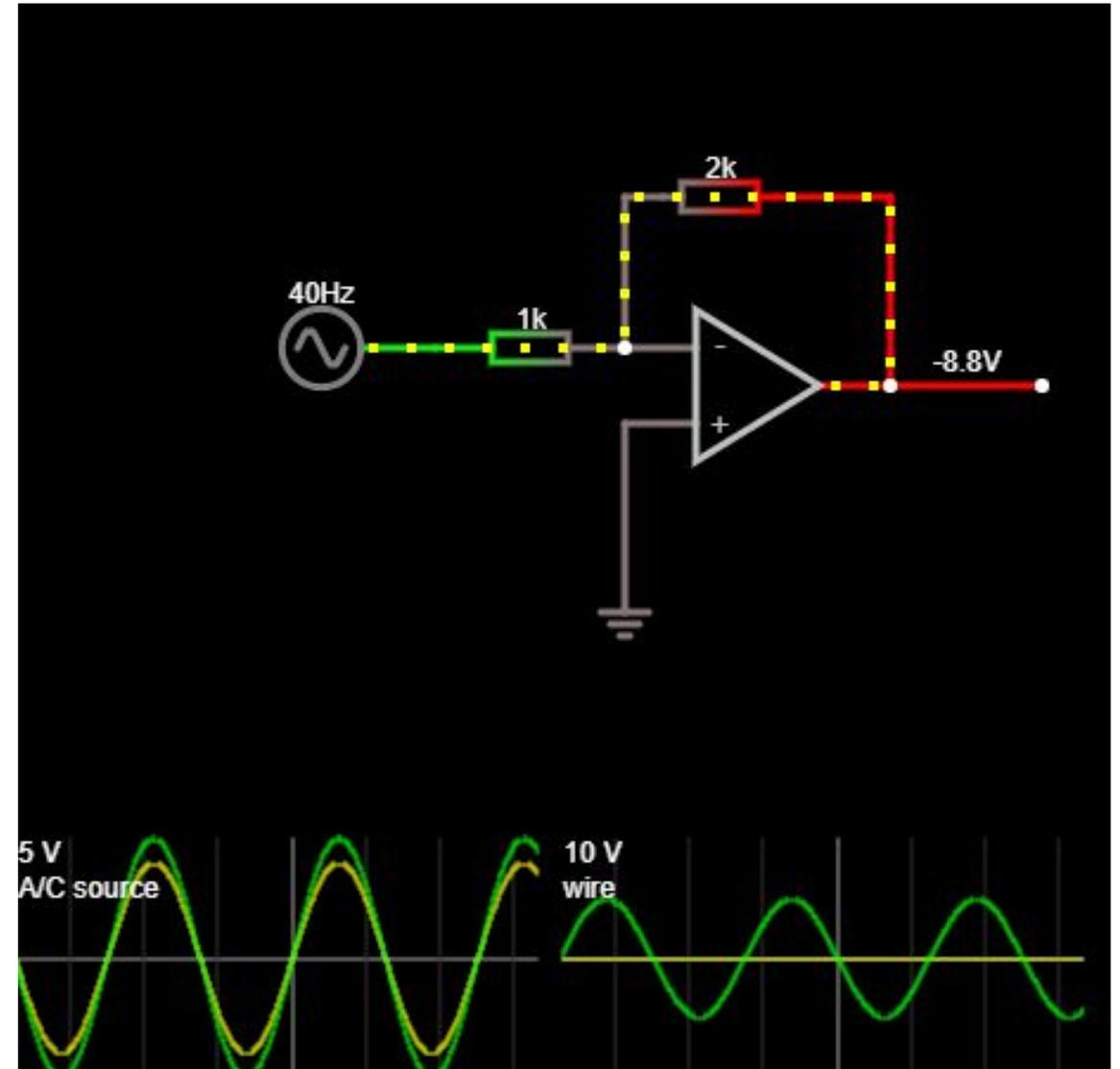
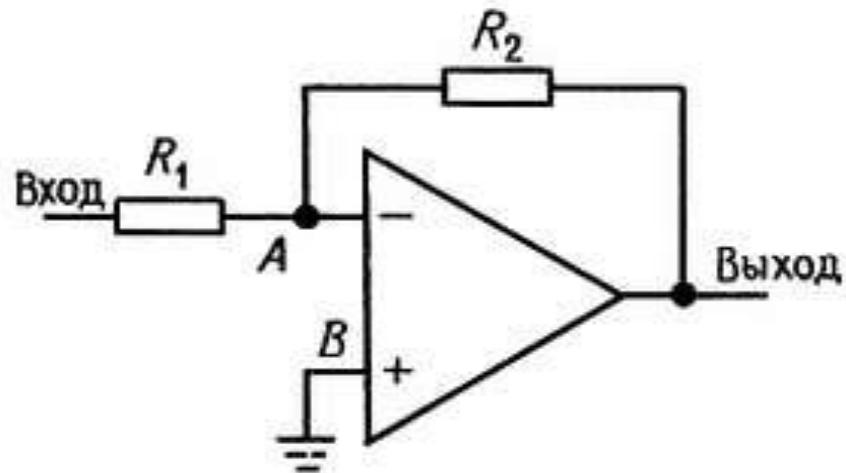
Операционный усилитель

- I. Выход операционного усилителя стремится к тому, чтобы разность напряжений между его входами была равна нулю.
- II. Входы операционного усилителя ток не потребляют.



Инвертирующий усилитель

$$\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

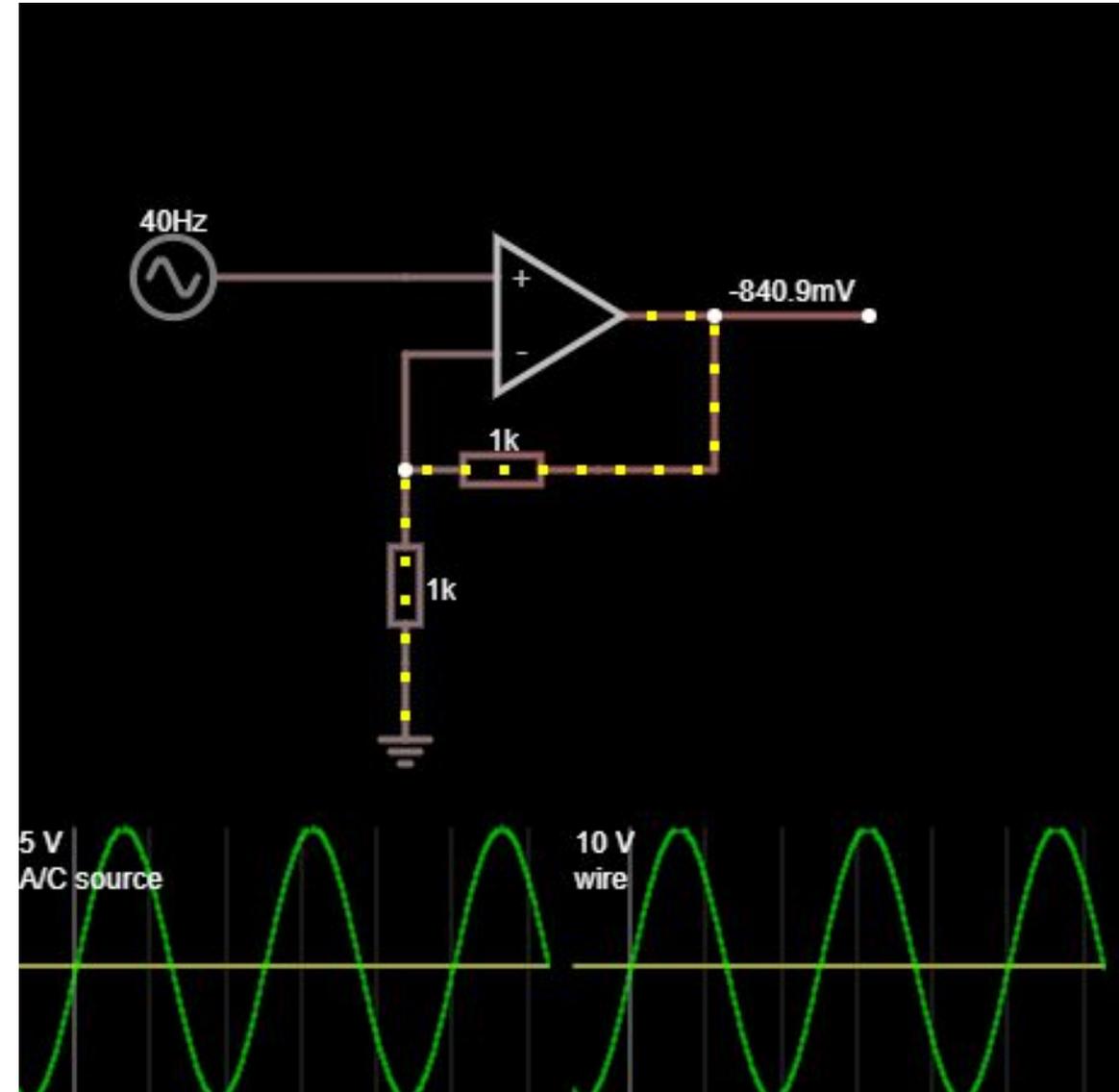


Неинвертирующий усилитель

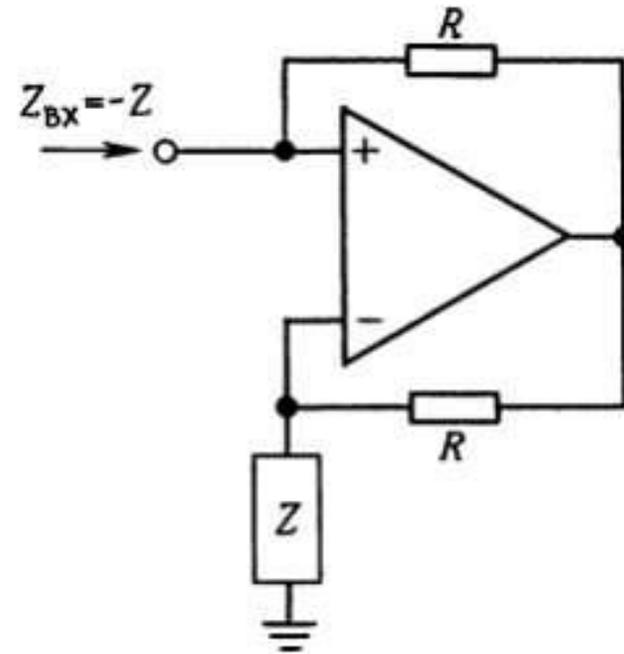
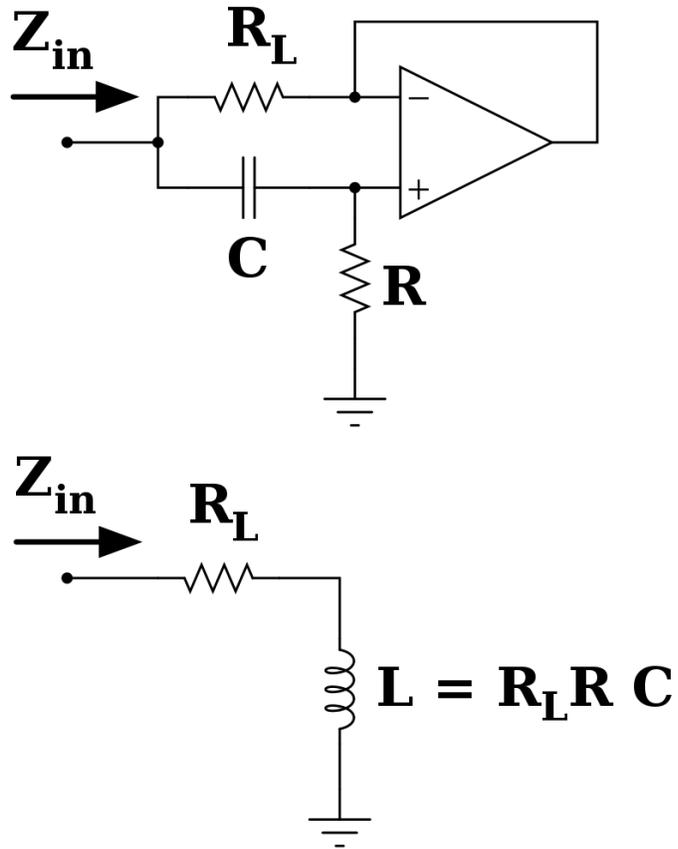
$$\dot{U}_A = \frac{U_{\text{ВЫХ}} R_1}{R_1 + R_2}$$

Если $U_A = U_{\text{ВХ}}$, то коэффициент усиления =

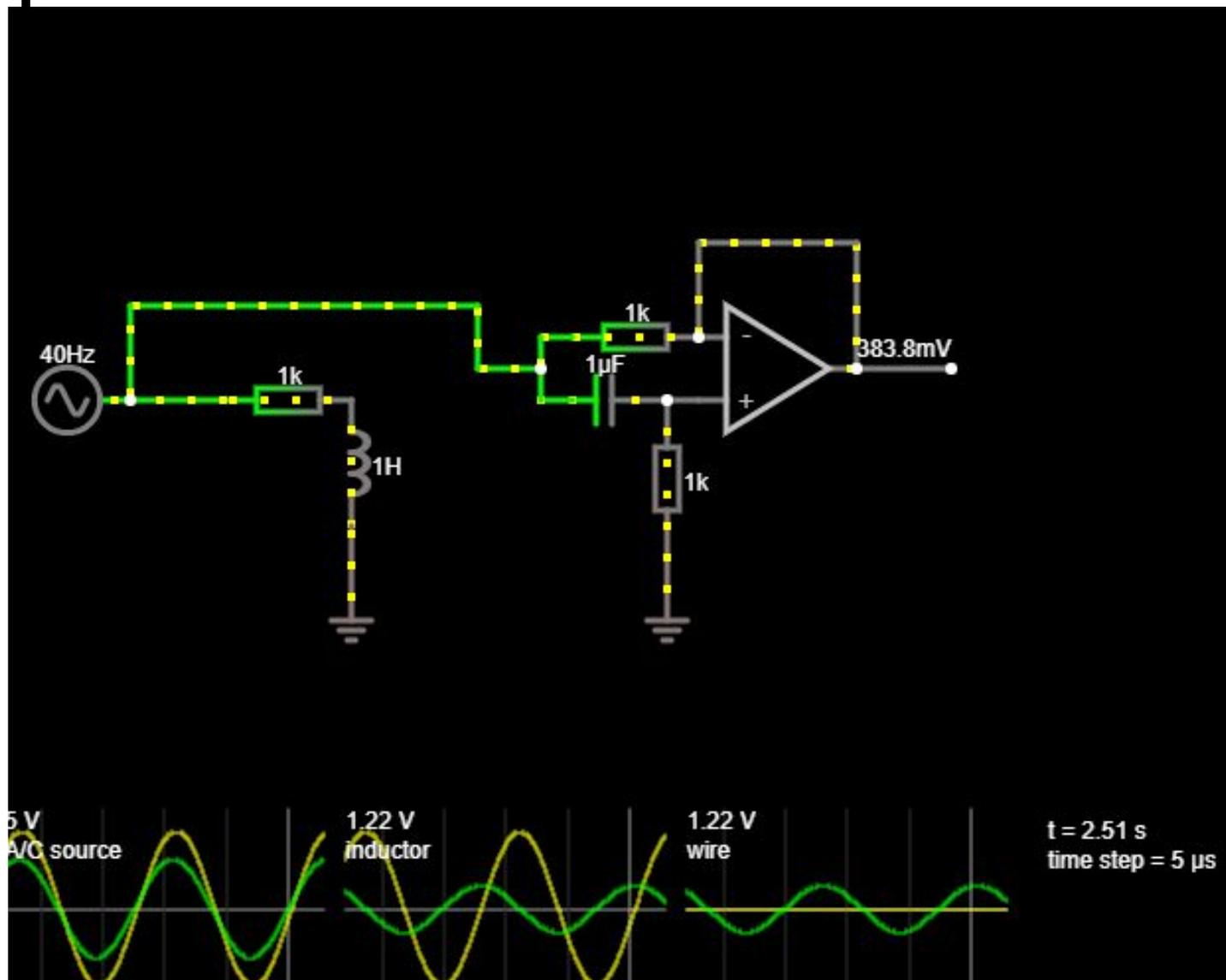
$$\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



Гиратор и преобразователь КОС



Гиратор



Спасибо за внимание!